



ISSN: 1412-3258

PROSIDING

SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022

“Peran Pengawasan Ketenaganukliran
dalam Transisi Energi Hijau dan
Pengelolaan Limbah Radioaktif”



24 Agustus 2022

Gedung Pascasarjana, Universitas Udayana
Bali



SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022

“Peran Pengawasan Ketenaganukliran dalam Transisi
Energi Hijau dan Pengelolaan Limbah Radioaktif”

Bali, 24 Agustus 2022

Diselenggarakan oleh

BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10120

Telp. (021) 638 582 69-70, Fax. (021) 638 582 75

www.bapeten.go.id

Berkolaborasi dengan

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM -
UNIVERSITAS UDAYANA**

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kabupaten Badung, Bali 80361

(0361) 701 954

www.unud.ac.id



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarrokaatuh.

Puji syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2022 ini yang merupakan wujud dari suksesnya acara Seminar Keselamatan Nuklir 2022 yang telah diselenggarakan pada 24 Agustus 2022 secara luring dan daring, bertempat di Gedung Auditorium Pascasarjana Universitas Udayana, Denpasar, Bali.

Seminar Keselamatan Nuklir atau yang biasa disingkat dengan SKN merupakan acara tahunan BAPETEN yang bertujuan untuk memberikan sarana dalam rangka memperkaya ilmu pengetahuan, pertukaran dan penyebaran informasi, mengakomodasi masukan dari para ilmuwan/pakar dan penggiat teknologi keselamatan nuklir. Selain itu, seminar ini diharapkan dapat menjadi sarana untuk sosialisasi ke luar dan penguatan koordinasi dengan institusi lain dalam hal kontribusi keilmuan dan teknologi keselamatan nuklir di Indonesia, serta untuk pembinaan SDM, sinergitas, dan komunikasi yang baik dengan segenap masyarakat dan pemangku kepentingan mengenai perkembangan pengawasan ketenaganukliran.

Pada tahun 2022 ini, SKN terselenggara atas kerja sama antara BAPETEN dan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana (Unud). Ini adalah kali pertama BAPETEN bekerja sama dengan Universitas di luar Jawa. Alasan memilih Unud sebagai mitra kerja sama adalah karena Unud merupakan universitas yang sudah maju dan memiliki banyak sumber daya manusia yang kompeten. Di samping itu, lokasi kampus Unud juga sangat strategis dan sangat representatif bagi Indonesia bagian tengah dan timur, sehingga diharapkan dapat lebih memperkenalkan pengetahuan ketenaganukliran pada masyarakat yang lebih luas.

SKN 2022 ini mengambil tema "Peran Pengawasan Ketenaganukliran dalam Transisi Energi Hijau dan Pengelolaan Limbah Radioaktif". Tema ini diangkat dalam rangka menyambut acara KTT G20 2022 yang diselenggarakan di Bali, dengan tema besar berupa transisi energi, seiring dengan perhatian pemerintah yang lebih besar terhadap isu-isu transisi energi bersih dan pengelolaan limbah. Dari tema tersebut didapatkan 12 kelompok topik yang mengemuka pada makalah yang masuk, yakni peraturan ketenaganukliran, *machine learning* dan *big data processing*, fisika nuklir, keselamatan radiasi dalam bidang medik dan industri, instalasi nuklir dan bahan nuklir, pengelolaan limbah radioaktif, lingkungan, NORM dan TENORM, *cyber security*, kesiapsiagaan dan tanggap darurat nuklir, dan keamanan nuklir. Selain itu, cukup banyak rekomendasi teknis yang disampaikan oleh para pemakalah dan diresumekan oleh tim pereviu SKN 2022. Diharapkan BAPETEN bersama semua institusi terkait dapat menindaklanjutinya dengan menyiapkan strategi dan rencana aksi, sehingga efektivitas pengawasan ketenaganukliran dapat terjaga dan terus ditingkatkan.

Kami menyampaikan apresiasi kepada para pemakalah yang memiliki animo yang tinggi terhadap seminar ini, sehingga tahun ini banyak makalah yang masuk ke sekretariat SKN, yakni terdaftar sebanyak 102 makalah. Kemudian berdasarkan hasil reviu oleh tim pereviu yang berasal dari BAPETEN, BRIN, Unud, ITB, UGM, dan Undip, terpilih 90 makalah, dengan 60 makalah disajikan secara oral dan 30 makalah disajikan dalam bentuk presentasi pendek (*short presentation*). Dari 90 makalah yang lolos, telah terpilih pula 25 makalah yang didaftarkan ke prosiding internasional American Institute of Physics (AIP).

Terima kasih juga kami sampaikan kepada para tim pereviu makalah yang telah bekerja keras untuk mereviu makalah dan memberikan kesempatan bagi pemakalah untuk memperbaiki makalahnya, sehingga pada akhirnya prosiding SKN 2022 ini berisi makalah yang berkualitas dan sesuai dengan tujuan pengawasan.

Terakhir, kami sampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada seluruh panitia dari BAPETEN dan Universitas Udayana atas kerja sama yang baik dan upaya yang maksimal untuk menyukseskan acara SKN 2022.

Atas nama panitia penyelenggara, saya sampaikan permohonan maaf atas kekurangan dan ketidaknyamanan dalam penyelenggaraan SKN 2022 dan atas segala kekurangan yang ada pada Prosiding SKN 2022 ini. Masukan dan saran untuk perbaikan Prosiding SKN 2022 dapat disampaikan kepada kami melalui pos-el p2stpfrzr@bapeten.go.id. Semoga prosiding ini dapat memberi manfaat yang sebesar-besarnya bagi para pembaca.

Wassalamualaikum Warrohmatullahi Wabarrokaatuh.

Taruniyati Handayani

Kepala Pusat Pengkajian Sistem dan
Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat
Radioaktif



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



REKOMENDASI TEKNIS

SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022

TEMA: PERAN PENGAWASAN KETENAGANUKLIRAN DALAM TRANSISI ENERGI HIJAU DAN PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF.

Tema ini terkait dengan pengawasan ketenaganukliran dalam rangka mewujudkan keselamatan radiasi melalui energi yang bersih dan ramah lingkungan, serta melalui pengelolaan limbah radioaktif yang baik dengan tetap memperhatikan proteksi, keselamatan dan keamanan radiasi.

Dari 91 makalah yang dipresentasikan, 60 makalah disajikan secara oral dan 31 makalah secara *short presentation*, dikelompokkan dalam 4 (empat) bidang, yaitu:

- A. Keselamatan radiasi dalam bidang medik dan industri;
- B. Keselamatan radiasi dalam instalasi dan bahan Nuklir, Fisika Nuklir;
- C. Keselamatan radiasi dalam manajemen limbah, pengangkutan, lingkungan, NORM dan TENORM, keamanan nuklir dan bahan lainnya, keamanan siber, *machine learning*, kesiapsiagaan dan kedaruratan; dan
- D. Peraturan, Perizinan, dan Inspeksi.

Dari keempat bidang tersebut, terdapat 4 (empat) isu utama yang disampaikan oleh peserta seminar dan dirumuskan dalam rekomendasi teknis yang perlu ditindaklanjuti oleh BAPETEN bersama-sama dengan para pemangku kepentingan terkait, yaitu:

I. Pelaksanaan Tugas Utama BAPETEN (Peraturan, Perizinan, Inspeksi) di bidang Kesehatan dan Industri

1. Diperlukan telaah urgensi penyusunan Rencana Induk Pengembangan SKKNI Sektor Ketenaganukliran, urgensi kesiapan infrastruktur pengawasan dalam mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca;
2. Diperlukan penyiapan perangkat regulasi yang mengacu pada regulasi BKN sebagai dasar dalam menerapkan analisis jabatan untuk pengelolaan SDM BAPETEN;
3. Diperlukan peningkatan/pengembangan metode inspeksi untuk meningkatkan sistem pengawasan yang lebih baik, seperti: penerapan reviu dan analisis temuan inspeksi yang berulang dan rencana tindak lanjut;
4. Diperlukan pengembangan sistem Balis Infara, termasuk antara lain pemberian notifikasi jika terjadi kejadian/insiden berupa paparan yang tidak diperlukan, dan disediakan pedoman teknis sebagai dukungan terpadu untuk sistem pembelajaran insiden;
5. Diperlukan penyediaan panduan dalam penyusunan dokumen kajian keselamatan sumber di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional;

6. Diperlukan pengembangan sistem pencatatan Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) untuk menjadi sistem peringatan dini terkait potensi pemberian dosis berlebih ke pasien di fasilitas kesehatan, sehingga fasilitas dapat memprediksi tingkat keselamatan yang telah diterapkan;
7. Diperlukan peningkatan dalam pembinaan terkait penerapan proteksi dan keselamatan radiasi bagi personel (terutama pada PPR) pada kegiatan fluoroskopi bagasi, *well logging*, *gauging*, dan radiografi industri;
8. Diperlukan studi skema pendanaan pengelolaan limbah radioaktif di Indonesia untuk minimalisasi masalah keuangan yang mungkin bisa muncul di kemudian hari;
9. Diperlukan pengembangan secara terus-menerus dan pemberian pola edukasi mengenai pentingnya proteksi radiasi bagi staf medis dan pasien melalui bukti-bukti di lapangan; dan
10. Diperlukan pengembangan mekanisme untuk *knowledge management* mengenai pemantauan dosis radiasi untuk personel dan pasien secara lokal, regional, maupun nasional.
11. Isu bertambahnya limbah radioaktif membutuhkan langkah untuk upaya meminimalkannya, untuk itu penerapan konsep klierens menjadi salah satu pilihan utamanya. Hal ini membutuhkan kecukupan payung hukum untuk klierens.

II. Pelaksanaan Tugas Utama BAPETEN (Peraturan, Perizinan, Inspeksi) di bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

1. Diperlukan kajian ketersediaan dan kecukupan peraturan perundang-undangan (PUU) terkait kriteria dekomisioning, klirens, dan kriteria pembebasan tapak;
2. Diperlukan pengembangan sistem simulator PLTN dalam rangka meningkatkan kemampuan personel dalam mempelajari jenis-jenis reaktor nuklir;
3. Diperlukan identifikasi dan penilaian risiko pada tahapan pembangunan sampai pengoperasian PLTN untuk mengembangkan kebijakan dan strategi pengawasan PLTN yang optimal;
4. Diperlukan penentuan jenis dan besaran fluks neutron untuk mengidentifikasi kebutuhan iradiasi yang optimal dan validasi perhitungan distribusi fluks neutron pada proses perizinan/persetujuan perubahan konfigurasi teras pada reaktor TRIGA 2000;
5. Diperlukan pengawasan terhadap kuantitas limbah cair RSG-GAS dan sumbernya untuk memastikan bahwa limbah cair dapat ditangani dengan baik;
6. Diperlukan penerapan pendekatan bertingkat dalam perizinan teknologi NuScale dan reviu fitur-fitur desain NuScale yang tidak sesuai dengan peraturan perizinan di Indonesia;
7. Diperlukan penerapan pendekatan bertingkat dalam evaluasi persyaratan desain keselamatan reaktor nondaya;
8. Diperlukan peningkatan pengawasan dalam evaluasi pertimbangan keselamatan siklus bahan bakar torium reaktor generasi-IV;
9. Diperlukan dilakukan reviu Perka BAPETEN tentang modifikasi reaktor nondaya, khususnya sistem digitalisasi instrumentasi dan kendali;

10. Diperlukan kajian komprehensif PLTN skala kecil dan menengah dengan teknologi generasi IV untuk mendukung penyiapan konsep dan strategi pengawasan yang diperlukan untuk menjadi dasar dalam penyusunan peraturan perundangan, pengembangan sistem perizinan dan inspeksi, termasuk semua hal infrastruktur pendukungnya, seperti kesiapan anggaran, SDM, dan sarana-prasarana lainnya;
11. Untuk kebijakan penggunaan energi hijau, diperlukan persatuan, saling melengkapi, saling menghargai, dan kerja sama bagi para penggiat, komunitas dan kelompok dari berbagai jenis energi hijau, antara lain energi surya, energi bayu, energi biomassa, energi nuklir, dan lainnya, karena kita memiliki tujuan yang sama yaitu energi bersih energi hijau untuk kita semua; dan
12. Kita perlu membuat suatu pernyataan dukungan dalam bentuk membuka investasi dan kerja sama dengan negara maju produsen teknologi PLTN untuk hadir ke Indonesia membawa proyek pembangunan PLTN.

III. Pengawasan TENORM, NORM, dan MORC (*Materials Out of Regulatory Control*)

1. Diperlukan peningkatan pengawasan pemantauan radioaktivitas lingkungan, seperti *fly ash* pada wilayah umum yang berpotensi peningkatan radioaktivitas lingkungan ;
2. Diperlukan konsep awal pengawasan dengan melakukan kajian penilaian dosis dalam mineral terkonsentrasi yang bersifat radioaktif; dan
3. Diperlukan pengawasan pekerja terkait dengan perhitungan estimasi dosis efektif dari paparan radon.

IV. Inovasi Teknologi dan Riset Pengembangan

1. Diperlukan kebutuhan pengembangan fantom manusia acuan Indonesia untuk kebutuhan perhitungan dosis radiasi yang tepat;
2. Seiring dengan berkembangnya teknologi informasi, keamanan siber menjadi suatu kajian yang penting untuk dilakukan dalam rangka pengembangan kebijakan dan atau peraturan terkait keamanan siber;
3. Diperlukan inovasi riset berbasis radionuklida untuk mengantisipasi kekurangan dari kebutuhan radionuklida pada kedokteran nuklir perlu terus ditingkatkan;
4. Diperlukan peningkatan riset inovasi untuk dukungan pemanfaatan tenaga nuklir dalam kontribusinya mengurangi limbah dan mendorong peningkatan keselamatan lingkungan;
5. Diperlukan inovasi dalam penanganan peningkatan jumlah limbah radioaktif cair;
6. Diperlukan studi awal *artificial intelligence* untuk meningkatkan sistem proteksi fisik terhadap ancaman mitigasi pada reaktor penelitian; dan
7. Diperlukan transisi ke teknologi digital untuk pencatatan dan rekaman keselamatan dan keamanan.

Bali, 24 Agustus 2022

Dahlia Cakrawati Sinaga

Deputi Bidang Pengkajian Keselamatan Nuklir



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



DEWAN REDAKSI

- Pengarah : 1. Ir. Sugeng Sumbarjo, M.Eng.
2. Dra. Ni Luh Watiniasih, M.T., Ph.D.
3. Ir. Zainal Arifin, M.T.
- Penanggung Jawab : 1. Dra. Dahlia Cakrawati Sinaga, M.T.
2. Dr. Drs. IGK Gandhiadi, M.T.
- Ketua : Dra. Taruniyati Handayani, M.Sc.
- Wakil Ketua : 1. Dr. Drs. I Wayan Gede Suharta, M.Si.
2. Rusmanto, S.T., M.Si.
3. Titik Kartika, S.Si., M.Si.
- Sekretariat : 1. Sudradjat, S.T., M.Si.
2. Nurhadiansyah, S.Si.
3. Rahmat
4. Ni Kadek Nova Anggarani, S.Si., M.Si.
5. Dr. Gusti Ngurah Sutapa, S.Si., M.Si.
- Fasilitasi Perekui dan Prosiding : 1. Endang Kunarsih, S.Si., M.Si.
2. Ida Bagus Gede Putra Pratama, S.Si.
3. Dr. I Gde Antha Kasmawan, S.Si., M.Si.
4. Dr. I Nengah Sandi, S.Si., M.For.
- Persidangan : 1. Iswandarini, S.Kom.
2. Putri Suryo Dinoto, S.T., M.Eng
3. Retno Agustyah, S.IP.
4. Evin Yuliati, S.T., M.Si.
5. Kuspriyanto, S.Sos
6. Dra. Leily Savitri
7. Zulfahmi, S.Si.
8. Dr. Ida Bagus Made Suryatika, S.Si., M.Si.
9. Dra. I Gusti Agung Ayu Ratnawati, M.Si.
10. Dra. Ni Nyoman Ratini, M.Si.
11. I Ketut Putra, S.Si., M.Si.
12. Ni Luh Putu Trisnawati, S.Si., M.Si.
13. I Made Yuliara, S.Si., M.T.
- Data dan Jaringan : Hermansyah, S.Kom.
- Bendahara : Rieza Ghusnul Waluyawan, A.Md.

- Pereviu : 1. Dr. Ir. Khoirul Huda, M.Eng.
2. Rusmanto, S.T., M.Si.
3. Ir. Budi Rohman, M.Sc.
4. Haendra Subekti, M.T.
5. Ir. Bintoro Aji, M.T.
6. Dr. Nanang Triagung Edi Hermawan, M.T.
7. Ahmad Ciptadi Syuryavin, ST, MT, Ph.D.
8. Endang Kunarsih, S.Si., M.Si.
9. Prof. Dr. Ir. Hery Suyanto, M.T.
10. Prof. Dr. Drs. Anak Agung Ngurah Gunawan, M.T.
11. Prof Ni Nyoman Rupiasih, S.Si., M.Si., Ph.D.
12. Prof. Abdul Waris, M.Eng., Ph.D.
13. Dr.rer.nat. Freddy Haryanto
14. Dr.-Ing. Ir. Sihana
15. Dr. rer. Biol. Hum. Heru Prasetio
16. Dr. Julwan Hendry Purba, M.App.IT.
17. Dr. Choirul Anam, S.Si., M.Si.

Alamat Redaksi : Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR)
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)
Gedung B Lantai V, Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat 10120
surel: p2stpfrzr@bapeten.go.id
situs: <https://idrl.bapeten.go.id/>



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
REKOMENDASI TEKNIS	III
DEWAN REDAKSI	VI
DAFTAR ISI	VIII

MAKALAH PRESENTASI ORAL

PENGARUH VARIASI <i>SLICE THICKNESS</i> TERHADAP KUALITAS CITRA CT-SCAN DENGAN <i>WATER PHANTOM</i> DI RSU BALI JIMBARAN <i>Desy Rohmah Nurhasanah, Gusti Ngurah Sutapa, Rozi Irhas</i>	1
ANALISIS <i>TYPICAL VALUE</i> PEMERIKSAAN CT-SCAN TORAKS NON-KONTRAS DAN KONTRAS <i>Hanendya Disha Randy Raharja, dr. Nina ISH Supit, Sp.Rad (K)</i>	7
METODE PERHITUNGAN TEBAL DINDING PENAHAN RADIASI BUNKER BRAKITERAPI RSD MANGUSADA KABUPATEN BADUNG <i>I Nyoman Pranditayana, Made Padma Puspita</i>	14
KAJIAN DOSIS EFEKTIF PEKERJA RADIASI BERDASARKAN PROFESI DI RUMAH SAKIT <i>Rini Anggraeni, Irma D. Rahayu, Egnés Ekaranti</i>	20
KAJIAN PELAKSANAAN PENGUJIAN KEBOCORAN ZAT RADIOAKTIF DENGAN METODE UJI USAP DI INDONESIA <i>Egnés Ekaranti, Irma Dwi Rahayu, Rini Anggraeni</i>	27
UNNECESSARY MEDICAL EXPOSURES IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY: A GUIDELINE FOR CONTROLLING AND PREVENTING IN INDONESIA <i>Endang Kunarsih, Rusmanto</i>	34
DISTRIBUSI DOSIS EFEKTIF PADA PEMERIKSAAN CT SCAN THORAX BERDASARKAN USIA DI RSUP SANGLAH DENPASAR <i>Putu Suwitri Candini Putri, Gusti Ngurah Sutapa, Nurul Athira</i>	41
TINJAUAN AWAL PELAKSANAAN KAJIAN KESELAMATAN SUMBER DI FASILITAS RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL <i>Leily Savitri, Hermansyah, Zulfahmi, Rusmanto</i>	45
PEMANTAUAN ESTIMASI DOSIS MATA PEKERJA RADIASI PADA PEMERIKSAAN FLUOROSKOPI DI RADIOLOGI RS MITRA KELUARGA KELAPA GADING <i>Adi Andhika, Mariatul Kiftia</i>	51

DIGITALISASI PENGUKUR TEMPERATUR SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR KARTINI UNTUK INTERNET REACTOR LABORATORY	
<i>Wahyu Nur Hidayat, Argo Satrio Wicaksono, Resa Satria Adi Kuswandrata, Aldhan Dewanto Putra</i>	56
PEMODELAN DAN PERHITUNGAN DISTRIBUSI ALIRAN PENDINGIN DI SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR TRIGA DENGAN ATHLET	
<i>Daddy Setyawan</i>	63
PRELIMINARY STUDY ON THE EFFECT OF CLADDING MATERIAL ON THE ²⁰⁸ PB- BI EUTECTIC-COOLED FAST REACTOR CRITICALITY	
<i>Nina Widiawati, Nuri Trianti, Hakimul Wafda, Nanda Nagara, Ahmad Mudzakir Efendi, Zaki Su'ud</i>	71
INVESTIGATION OF VARIATION THERMAL POWER FOR LONG-LIFE CANDLE- GFR CORE DESIGN	
<i>Helen Raflis, Zaki Su'ud, Abdul Waris, Dwi Irwanto</i>	77
PRELIMINARY STUDY OF NEUTRONIC ANALYSIS OF MIXED OXIDE (U,PU)O ₂ FUEL IN GAS-COOLED FAST REACTOR (GFR) USING OPENMC	
<i>M.A. Kurniawan, M. Ariani, F. Monado, H. Raflis</i>	84
PEMBUATAN DATABASE DAYA VS FRAKSI BAKAR PADA BAHAN BAKAR RSG- GAS MENGGUNAKAN FRAMEWORK LARAVEL	
<i>Arif Isnaeni</i>	90
SAFETY CONSIDERATIONS IN THORIUM FUEL CYCLE: FROM FUEL PRODUCTION, OPERATION TO WASTE DISPOSAL	
<i>Petit Wiringgali, Yudi Pramono, Bintoro Aji</i>	99
PENGEMBANGAN APLIKASI FORM DIGITAL LOGBOOK OPERASI REAKTOR KARTINI MENGGUNAKAN WINDOWS FORM	
<i>Bagus Agul Triyandi, Argo Satrio Wicaksono, Okviandra Putrianti</i>	107
ANALISIS MEKANISME SUMBER GEMPA PADA CALON TAPAK PLTN, KALIMANTAN BARAT	
<i>Akhmad Muktaf Haifani, Nur Siwhan, Arifin Muhammad Susanto</i>	113
RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING SCHEME IN INDONESIA: LESSON LEARNED FROM OTHER COUNTRIES	
<i>Vatimah Zahrawati</i>	121
SOURCE TERMS TRANSPORT BEHAVIOR DURING NORMAL OPERATION OF DIRECT-CYCLE GAS TURBINE HTR: CURRENT UNDERSTANDING AND REMAINING ISSUES	
<i>I Wayan Ngarayan, Jepri Sutanto</i>	130
A PRELIMINARY STUDY OF HUMAN GAIT-BASED ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR INSIDER THREAT MITIGATION AT THE RESEARCH REACTOR	
<i>Sri Sundari Retnoasih, Rezky Mahardika Saryadi</i>	140
ANALISIS KEAMANAN JARINGAN LISTRIK DALAM INTRODUKSI PLTN KE DALAM SISTEM KELISTRIKAN KALBAR SEBAGAI UPAYAPEMENUHAN TARGET ENERGI HIJAU	
<i>Citra Candranurani, Elok S. Amitayani, Hartadhi, Nurlaila</i>	145

PENINGKATAN PERAN I-CONSEP DALAM PENGEMBANGANKAPASITAS NASIONAL DALAM SISTEM KEAMANAN NUKLIR MORC	
<i>Khoirul Huda, Agus Yudhi Pristianto, Zulkarnain</i>	<i>154</i>
TINJAUAN PEMODELAN BIAYA PEMANTAUAN PADA STASIUN PEMANTAUAN RADIASI DI INDONESIA	
<i>Nurhadiansyah, Putri S. Dinoto, Pandu Dewanto, Angga Kautsar</i>	<i>164</i>
ANALISIS TINGKAT RADIOAKTIVITAS UDARA PADA DAERAH KERJA KAWASAN NUKLIR BANDUNG DENGAN PENCACAH BETA-TOTAL DAN SPEKTROMETER GAMMA	
<i>Haryo Seno, Afida Ikawati, Annita Nurhayati, Aprilia Nur Kholifah, Dani Muliawan, Dikdik Sidik Purnama, Rezky Anggakusuma.....</i>	<i>172</i>
THE IMPLEMENTATION OF A PLC BASED CONTROLLER ON SAFETY SYSTEM OF CS-30 CYCLOTRON	
<i>Heranudin, Kristianto Hidayat, Fyndi Abdi Wibowo, I Wayan Widiانا, Rajiman, Syefudin Ichwan, Edi Slamet Riyanto, Parwanto</i>	<i>182</i>
PENGEMBANGAN MANAJEMEN PROYEK EVALUASI IZIN TAPAK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE)	
<i>Alfa Gunawan Zulqarnain, Budi Rohman, Wiryono, Tiar Fridianto.....</i>	<i>187</i>
STUDY ON FORMAT AND CONTENT NUCLEAR REACTOR OPERATING EXPERIENCES PROGRAM	
<i>Liliana Yetta Pandi, Bintoro Aji, Diah Hidayanti Sukarno.....</i>	<i>195</i>
STANDARD REVIEW FOR THE FINANCIAL GUARANTEE IN THE NUCLEAR POWER PLANT CONSTRUCTION LICENSES	
<i>Imron Tarsono Rusmanatmojo, Bintoro Aji , Alfa Gunawan Zulqarnain</i>	<i>204</i>
THE ROLE OF INDONESIA IN THE ASEANTOM REGIONAL COOPERATION FORUM YEAR 2013-2021	
<i>Auzan Shadiq, Indah Annisa.....</i>	<i>210</i>
ANALISIS KEDUDUKAN SURAT EDARAN SEBAGAI DISKRESI OLEH BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR TERHADAP PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN KETENAGANUKLIRAN	
<i>Muhammad Sujana Prawira, Vatimah Zahrawati.....</i>	<i>216</i>
DUALISME POLITIK HUKUM KETENAGANUKLIRAN PASCA BERLAKUNYA UU CIPTA KERJA: TANTANGAN PENGAWASAN KETENAGANUKLIRAN DAN PARADIGMA KEMUDAHAN BERUSAHA	
<i>Donni Taufiq, Anri Amaldi Ridwan</i>	<i>222</i>
URGENSI PENYUSUNAN RENCANA INDUK PENGEMBANGAN STANDAR KOMPETENSI KERJA NASIONAL INDONESIA SEKTOR KETENAGANUKLIRAN	
<i>I Made Ardana, Aris Sanyoto, Vatimah Zahrawati, Daniel Rawinala Meiga.....</i>	<i>229</i>
TINJAUAN KESELAMATAN RADIASI PADA PEMANFAATAN FLUOROSKOPI BAGASI DI PELABUHAN	
<i>Sri Mulyati, Rini Indrati, Rasyid, Jeffri Ardiyanto, Luthfi Rusyadi</i>	<i>235</i>
PEMANFAATAN TEKNOLOGI NUKLIR UNTUK PENGAWETAN PANGAN: ANTARA REGULASI DAN STANDAR PANGAN IRADIASI	
<i>Ika Wahyu Setya Andani, Anggraini Ratih Kumaraningrum, Jepri Sutanto.....</i>	<i>243</i>

EVALUASI KECUKUPAN REGULASI DI INDONESIA TENTANG KRITERIA KLIERENS DAN PEMBEBASAN TAPAK UNTUK MEMFASILITASI DEKOMISIONING	
<i>Anggoro Septilarso, Reno Alamsyah.....</i>	250
ANALISIS KEMAMPUAN TERAPAN PERATURAN BAPETEN NO 3 TAHUN 2022 TERHADAP REAKTOR JENIS GARAM LEBUR	
<i>Rahmat Edhi Harianto, Bintoro Aji, M.Rifqi Harahap.....</i>	257
MAKALAH PRESENTASI SINGKAT	
KAJIAN KETIDAKSESUAIAN DALAM INDIKATOR KESELAMATAN DAN KEAMANAN DI PUSAT STANDARDISASI DAN MUTU NUKLIR	
<i>Yulaida Maya Sari, Irvan Dwi Junianto.....</i>	265
TINJAUAN PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI PADA PEMERIKSAAN RADIOLOGI DIAGNOSTIK TULANG MANUS	
<i>Sudradjat</i>	272
MINIMALIZING THE RADIATION-INDUCED SKIN REACTIONS/DERMATITIS (LOCAL/CUTANEOUS RADIATION INJURY): LITERATURE REVIEW	
<i>Yuliana.....</i>	279
PENGARUH TINGKAT PENERIMAAN DOSIS RADIASI TERHADAP HASIL PEMERIKSAAN KESEHATAN PEKERJA DI INSTALASI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA - KAWASAN NUKLIR SERPONG	
<i>Melly Risky Sarpriani, Yanni Andriani, Adelili Hermana.....</i>	283
STUDI KOMPARASI PEMANFAATAN UMPAN BALIK PENGALAMAN OPERASI UNTUK MENINGKATKAN KESELAMATAN PLTN DI BEBERAPA NEGARA PENGOPERASI PLTN	
<i>Rahmat Edhi Harianto, Bintoro Aji, Arifin M. Susanto.....</i>	290
EVALUASI DESAIN KESELAMATAN REAKTOR SMR TIPE NUSCALE	
<i>Muhammad Rifqi Harahap, Helen Rafлис, Azizul Khakim.....</i>	299
DOPPLER REACTIVITY COEFFICIENT CALCULATION ANALYSIS ON NUSCALE REACTOR WITH OPENMC CODE	
<i>Lilis Riyanti, Helen Rafليس.....</i>	308
PENGENDALIAN RADIASI DAERAH KERJA DI REAKTOR TRIGA 2000	
<i>Tri Cahyo Laksono, Aprilia Nur Kholifah, Rezky Anggakusuma, Afida Ikawati, Dani Muliawan, Rini Heroe Oetami.....</i>	312
STUDI PENDAHULUAN IDENTIFIKASI PROSES DALAM PEMBUATAN APLIKASI SISTEM INFORMASI KESELAMATAN NUKLIR	
<i>Rahmat Edhi Harianto, M.Rifqi Harahap, Decky D. Dharmaperwira, Bintoro Aji.....</i>	321
PENGAWASAN ASPEK LINGKUNGAN DARI LIMBAH PENCUCIAN FILM RADIOGRAFI PADA KEGIATAN SERTIFIKASI PERSONIL UJI RADIOGRAFI	
<i>Widjanarko, Khusnul Khotimah.....</i>	332
PENDEKATAN SIRKULAR NIRLIMBAH UNTUK HASIL SAMPING INDUSTRI PENGOLAHAN MINERAL	
<i>Farid Noor Jusuf.....</i>	337

STUDI LITERATUR PENENTUAN METODE IDENTIFIKASI RISIKO TAHAP OPERASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR	
<i>Yulaida Maya Sari, Irvan Dwi Junianto</i>	344
THE URGENCY OF DEVELOPING A REFERENCE STANDARD DATABASE FOR COMPUTATIONAL HUMAN PHANTOMS IN INDONESIA	
<i>Francesca Putri, Muhammad Arya Hanif, Sita Gandes Pinasti</i>	350
REVIEW KEAMANAN SIBER FASILITAS NUKLIR DARI SUDUT PANDANG FUNGSI DAN ZONA KRITIS	
<i>Dian Septikasari</i>	355
PENENTUAN STRATEGI PENGAWASAN PLTN DI INDONESIA MENGGUNAKAN METODE ANALISIS SWOT	
<i>Winda Sarmita, Danung Rismawan, Rizal Palapa, Anggoro Septilarso</i>	362
KAJIAN KELAYAKAN DAN KESELAMATAN PEMANFAATAN TANGKI PELARUTAN YELLOW CAKE DI-301 SEBAGAI EVAPORATOR LIMBAHCAIR DI PILOT CONVERSION PLANT (PCP)	
<i>Putra Oktavianto, Ade Saputra, Anita Sari, Nelsa Rahmita, Imam Abdurrosyid, Mu'nisatun Sholikhah</i>	370
PENILAIAN KETERPERCAYAAN (<i>THRUSTWORTHINESS</i>) PADA SISTEM KEAMANAN KOMPUTER NUKLIR	
<i>Djoko Hari Nugroho</i>	377
TINJAUAN LITERATUR <i>NATURAL OCCURRING RADIOACTIVE MATERIAL (NORM)</i> DALAM PEMANFAATAN PANAS BUMI	
<i>Hermawan Puji Yuwana, Chrisantus Aristo W.D.</i>	384
PERAN PEMANFAATAN NUKLIR DALAM MENDUKUNG PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA: TINJAUAN LITERATUR	
<i>Indah Annisa, Hermawan Puji Yuwana</i>	392
EVALUASI KESELAMATAN TERHADAP KUANTITAS LIMBAH RADIOAKTIF CAIR TINGKAT SEDANG DARI PENGOPERASIAN REAKTOR RSG-GAS	
<i>Jaja Sukmana, Puspitasari Ramadania, M Gading Permadi</i>	399
KAJIAN SUBSTANSI TEKNIS DALAM PENGEMBANGAN PERATURAN BAPETEN MENGENAI DESAIN INSTALASI NUKLIR TERHADAP ASPEK KEGEMPAAN	
<i>Catur Febriyanto S., Fery Putrawan Cusmanri</i>	406
KEADILAN RESTORATIF DALAM PENEGAKAN HUKUM KETENAGANUKLIRAN	
<i>Reza Fahlevi</i>	417
THE IMPLEMENTATION OF THE GRADED APPROACH IN THE SAFETY DESIGN REQUIREMENTS OF RESEARCH REACTORS	
<i>Diah Hidayanti Sukarno, Sri Budi Utami</i>	423
IMPLEMENTASI ANALISIS JABATAN DI BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR	
<i>Rizky Dimas Satria Mutter, Ratna Sari S., Adinda Ayu Mahardhika, Dwi Lailatul Fitri</i>	432
PERAN PENGHARMONISASIAN RANCANGAN PERATURAN BADAN DALAM MENDUKUNG FUNGSI PENGAWASAN BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR	
<i>Rr. Silvi Habsari Duria Sumariyastuti</i>	439

GAP ANALISIS REGULASI KAJIAN ASPEK TAPAK KEGEMPAAN PEMBANGUNAN
PLTN

Widjanarko, Arisya Julviana, Khusnul Khotimah 446

USULAN PENINGKATAN KEMAMPULAKSANAAN PERATURAN KEPALA
BAPETEN NO. 7 TAHUN 2013 KAITANNYA TERHADAP PEMANTAUAN LEPASAN
ZAT RADIOAKTIF KE UDARA PADA FASILITAS NUKLIR

Pandu Dewanto, Nurhadiansyah 453

PELAKSANAAN PROGRAM KEANDALAN MANUSIA (PKM) SEBAGAI
PERLINDUNGAN KESELAMATAN DAN KEAMANAN DI FASILITAS REAKTOR
SERBA GUNA G.A. SIWABESSY

Dicky Tri Jatmiko, Endang Kristuti, Fatmuanis Basuki 460



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENGARUH VARIASI *SLICE THICKNESS* TERHADAP KUALITAS CITRA CT-SCAN DENGAN WATER *PHANTOM* DI RSU BALI JIMBARAN

Desy Rohmah Nurhasanah¹, Gusti Ngurah Sutapa², Rozi Irhas²

^{1,2}*Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361.*

³*Fisika Medis, RSU Bali Jimbaran, Jl. Raya Kampus Unud No. 52, Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361*

Email

^{a)}*rohmahnurhasanahdesy@unud.ac.id*

^{b)}*sutapafis97@unud.ac.id*

Abstrak. Telah dilakukan Penelitian di Instalasi Radiologi RSU Bali Jimbaran dengan judul “Pengaruh Variasi *Slice Thickness* Terhadap Kualitas Citra CT-Scan dengan *Water Phantom* Di RSU Bali Jimbaran”. CT *Scan* sebagai alat pencitraan diagnostik yang menggunakan sinar-X, perlu melakukan program *Quality Control* (QC) untuk menjamin kualitas citra yang dihasilkan dengan tetap menjaga batas dosis pasien berada diawah batas dosis yang diperbolehkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* dari CT *number* terhadap citra CT *Scan* menggunakan *water phantom* masih berada pada standar kualitas citra BAPETEN. Eksperimen dilakukan dengan variasi *slice thickness* yaitu 3 mm, 5 mm, dan 8 mm, tegangan tabung 130 kV, arus tabung 220 mAs, serta ROI berupa bundaran dengan ukuran 2 cm. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai keseragaman CT *number* CT *number* yaitu 1,1 HU; 0,8 HU; dan 0,4 HU dengan nilai lolos uji ≤ 2 . Dan untuk nilai keseragaman *noise* terhadap CT *number* ialah 0,728 HU; 0,583 HU; dan 0,272 HU serta nilai lolos uji ≤ 2 . Hasil Penelitian menunjukkan bahwa variasi *slice thickness* yang digunakan berpengaruh terhadap keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* kualitas citra CT *Scan* menggunakan *water phantom* serta hasil uji menunjukkan nilai keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* memenuhi standar kualitas citra BAPETEN.

Kata Kunci: CT *Scan*, *Slice Thickness*, CT *number*, ROI, *water phantom*

Abstract. Research has been carried out at the Radiology Installation of Bali Jimbaran General Hospital with the title "The Effect of *Slice Thickness* Variations on CT-Scan Image Quality with *Water Phantom* at Bali Jimbaran General Hospital". CT *Scan* as a diagnostic imaging tool that uses X-rays, needs to carry out a *Quality Control* (QC) program to ensure the quality of the resulting image while keeping the patient's dose limit below the allowable dose limit. This study aims to determine the uniformity of the CT *number* and the uniformity of noise from the CT *number* to the CT *Scan* image using a *water phantom* which is still at the BAPETEN image quality standard. Experiments were carried out with variations in *slice thickness*, namely 3 mm, 5 mm, and 8 mm, tube voltage 130 kV, tube current 220 mAs, and ROI in the form of a circle with a size of 2 cm. From the measurement results, the CT *number* uniformity value of the CT *number* is 1.1 HU; 0.8 HU; and 0.4 HU with the value of passing the test 2. And for the noise uniformity value to the CT *number* is 0.728 HU; 0.583 HU; and 0.272 HU and the value passed the 2 test. The results showed that the variation of *slice thickness* used had an effect on the uniformity of CT *number* and noise uniformity of CT *Scan* image quality using *water phantom* and the test results showed that the uniformity of CT *number* and noise uniformity met BAPETEN image quality standards.

Keywords: CT *Scan*, *Slice Thickness*, CT *number*, ROI, *water phantom*

PENDAHULUAN

Computed Tomography Scan atau CT *Scan* disebut sebagai alat pencitraan diagnostik yang pada awalnya diperkenalkan tahun 1972 dan sudah berkembang menjadi alat yang sangat diperlukan dalam beberapa penerapan di bidang medis. Perkembangan tersebut berupa perbaikan kualitas citra CT *Scan* dan proses akuisisi data [1]. CT *Scan* dalam prinsip kerjanya memakai sumber radiasi berupa sinar-X yang bersumber dari tabung yang letaknya berhadapan dengan sejumlah detektor dan berputar mengelilingi pasien sebagai objek yang

ditempatkan diantara keduanya [2]. Sinar-X pada CT Scan dapat dipusatkan pada satu objek atau organ saja, serta letak objek secara akurat dan tepat dapat ditunjukkan dari perolehan gambar CT Scan [3].

Program *Quality Control* (QC) diperlukan oleh pesawat CT Scan sebagai penjamin kualitas citra CT Scan dengan tetap menjaga batas dosis pasien berada di bawah batas dosis yang diperbolehkan [2]. Pelaksanaan QC pada pesawat CT Scan yaitu dengan pengujian kualitas citra CT Scan pada berbagai posisi *phantom* berupa CT number yang dinyatakan dalam satuan *Hounsfield Unit* (HU) [4]. Pengujian CT scan dilakukan dengan menggunakan *water phantom* yang terbuat dari bahan akrilik berbentuk bulat yang berisi air maka dari itu hasil pengujian diharapkan dapat menghasilkan CT number yang nilainya tetap mendekati 0 HU karena sifat absorpsi yang dimiliki air [5]. CT number dapat ditentukan dengan menggunakan bahan air karena selain jadi bahan rekomendari, 70% tubuh manusia terdiri dari air sebagai penyusun jaringan lunak, mudah di dapat dan mudah dibentuk [4].

Berdasarkan pada Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia (BAPETEN) Nomor 2 Tahun 2018 tentang uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional yaitu nilai lolos uji pesawat CT Scan khususnya pada kualitas citra CT number air berada pada interval $-4 \text{ CT} \leq 4$ untuk *Region of interest* (ROI) rata-rata di pusat (CT_{pusat}), sedangkan keseragaman pusat dan tepi atau biasa disebut dengan keseragaman CT number sebesar $CT \leq 2 \text{ CT}$ dan untuk keseragaman *noise* CT Scan sebesar $SD \leq 2 \text{ CT}$.

Rumah Sakit Umum Bali Jimbaran merupakan rumah sakit di Kabupaten Badung, menyediakan Instalasi Radiologi dengan menggunakan pesawat CT Scan untuk pemeriksaan secara cepat pasien-pasien yang diduga mengalami luka dalam. CT Scan dapat digunakan untuk menggambarkan atau menampilkan hampir seluruh bagian dari tubuh manusia dan dapat menentukan diagnosis cedera atau penyakit. Berdasar pada latar belakang tersebut dilaksanakan Penelitian berkenaan tentang Pengaruh Variasi *Slice Thickness* Terhadap Kualitas Citra CT-Scan dengan *Water Phantom* Di RSUD Bali Jimbaran.

MATERIAL DAN METODOLOGI

Sinar-X

Wilhelm Conrad Roentgen pada tahun 1895 menemukan sinar-X untuk pertama kali. Saat eksperimen dilakukan dengan menggunakan sinar katoda, sinar fluorisensi tampak terlihat pada kristal Barium. Tabung Gookes Hitrof dengan planitosianida yang mana terdapat listrik yang mengalir didalamnya. Tidak membutuhkan waktu yang lama ditemukan bahwasanya sinar itu merupakan sinar baru yang disebut sinar X. Gelombang panas, radio, cahaya, serta sinar ultraviolet yang seragam dengan pancaran gelombang elektromagnetik disebut sinar-X. Namun panjang gelombangnya terbilang pendek yakni sebesar $1/10.000$ dari panjang gelombang cahaya yang terlihat [6].

Energi radiasi dapat dipengaruhi oleh salah satu faktor yaitu beda potensial diantara katoda serta anoda atau tabung sinar-X. Kuadrat tegangan tabung sinar-X berbanding lurus dengan energi radiasi. Tingginya energi radiasi sinar-X yang dikeluarkan disebabkan karena besarnya tegangantabung yang dipakai, begitupun sebaliknya [7].

CT Scan

Pesawat CT Scan dikenal sebagai alat yang dipakai untuk mendiagnosa penyakit yang ada pada bagian dalam tubuh manusia dan dipakai untuk mengetahui adanya kelainan didalam tubuh manusia [8]. Selain itu CT Scan disebut sebagai pengembangan radiologi modern yang menggunakan prinsip tomografi serta mesin sinar-X bentuknya menyerupai cincin (*gantry*) yang bergerak memutar pasien dengan posisi pasien tidur terlentang. Suatu citra dari jaringan yang diteliti terbentuk dari informasi yang didapat. Gambar seperti pembuluh darah serta tulang dari objek di dalam tubuh diperoleh dari pesawat CT Scan. Gambar yang dihasilkan dapat digunakan untuk mendiagnosis stroke, kanker, penyakit jantung dan lain-lain. Selain itu, dibandingkan dengan pesawat sinar-X konvensional, pesawat CT Scan memiliki hasil citra yang jauh lebih teliti [1].

CT Scan merupakan pemanfaatan sinar-X. Citra CT Scan dibentuk dengan memanfaatkan intensitas radiasi terusan yang melewati suatu objek. Berbeda dengan radiografi konvensional, CT Scan menghasilkan citra yang tidak tumpang tindih (*overlap*) sehingga mampu menghasilkan gambar yang bisa diamati bukan seperti pada foto rontgen yaitu bidang tegak lurus berkas sinar, CT Scan dapat menghasilkan citra yang dapat menampilkan informasi penampang lintang objek. Sehingga lebih mudah dianalisis dibandingkan gambar yang diperoleh dengan Teknik radiografi konvensional [9].

Saat ini, CT Scan digunakan dalam radiologidiagnostik dan telah menjadi alat yang sangat penting dalam pemeriksaan medis. Teknik sinar-X tradisional memiliki banyak keterbatasan seperti tidak dapat membedakan antara otot, ligament atau pembuluh darah dan jaringan lain. Kerugian utama lainnya adalah superposisi dan kompresi informasi 3D menjadi gambar 2D. Dibandingkan dengan teknik sinar-X tradisional, CT Scan merupakan teknologi yang lebih akurat yang menambahkan teori rekonstruksi matematis suatu objek dari proyeksinya hingga pemindaian sinar-X multi sudut. CT melibatkan kehadiran komputer, memproses informasi yang diterima melalui pancaran sinar-X pada area anatomis. Manfaat pencitraan CT scan diantaranya kecepatan, akurasi, dan waktu pemindaian yang cepat [10].

Komponen CT Scan

Meja pasien

Pemeriksaan dilakukan di pertengahan *gantry* secara horizontal dengan posisi pasien tidur terlentang diatas meja pasien. Meja tersebut dapat digerakkan turun, naik, mundur dan maju sesuai dengan lambang tombol yang dipilih [11].

Gantry

Gantry berbentuk seperti cicin yang dapat berputar 360° yang nantinya dipakai untuk mendapatkan informasi. Dengan waktu rotasi sebesar 0,20 sekon serta kecepatan putarannya sebesar 5 putaran perdetik [11]. Tabung sinarX ialah komponen dari CT Scan yang terdapat didalam *gantry* berperan sebagai pembangkit sinarX, serta berperan sebagai detektor/pendeteksi sinarX. Posisi detektor terletak berhadapan dengan sumber sinar-X [12].

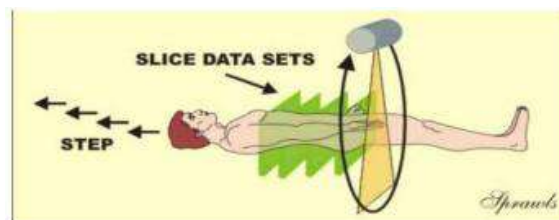
Komputer

Komputer digunakan sebagai sistem *imaging*. Pada CT Scan, komputer memiliki fungsi sebagai kontrol akuisisi data, rekonstruksi data, rekonstruksi citra dan menyimpan data hasil *scan* [13].

Slice Thickness

Tebal irisan (*Slice Thickness*) ialah objek yang telah melakukan pemeriksaan (*scanning*). Dalam teknologi *multi slice* (MSCT) menggunakan ketebalan 0,5 mm – 10 mm tergantung dari keperluan klinis [13]. Resolusi kontras rendah dapat disebabkan karena ukuran yang tebal, begitupun sebaliknya. Apabila tebal irisan yang digunakan bernilai tinggi akan menimbulkan gambar yang kurang bagus seperti munculnya garis dan apabila terlalu tipis gambar akan terlihat tidak halus [14].

Slice thickness tebal dapat meningkatkan kontras resolusi. Namun *spatial* resolusi serta *noise* akan menurun. Apabila *slice thickness* tipis hingga dimensi *voxel* hendak tereduksi maka dari itu *spatial* resolusi serta *noise* hendak bertambah sementara kontras resolusi menyusut. [14]. Rekonstruksi *slice thickness* pada pasien dapat dilihat seperti pada Gambar 1 berikut.



GAMBAR 1. Rekonstruksi *slice thickness* pada pasien [13]

Pada pemeriksaan kelainan dengan ukuran yang sangat kecil dapat menggunakan *slice thickness* yang tipis. Begitupun sebaliknya dengan pemeriksaan kelainan yang ukurannya besar bisa menggunakan *slice thickness* yang tebal. Besar *slice thickness* diatur oleh kolimator *pre patient*. Kolimator tersebut diatur sampai membuat *slice thickness* untuk pemeriksaan dapat digunakan [13].

Region Of Interest (ROI)

ROI ialah *marker* penanda atau bagian yang bentuknya bulat yang fungsinya untuk menandai jumlah *pixel* yang akan direkonstruksi. Masing-masing *pixel* tersebut akan ditunjukkan pada monitor dengan tingkatan terang atau gelap sesuai densitas objek. Bentuk ROI akan terdapat pada pesawat CT Scan dibagian monitor dengan cara membuat bulatan kecil sesuai dengan menu control yang tersedia. Dalam ROI mengandung nilai maximum, nilai minimum CT *number*, rata-rata CT *number*, standar deviasi dan besar area *scan* yang nantinya akan digunakan untuk mencari nilai CT *number* dari kualitas citra yang dihasilkan oleh *water phantom* [13].

Menurut Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 penilaian dan standar toleransi pada pengujian CT *number* air dengan ROI rata-rata di pusat (CT_{pusat}) adalah $-4 \leq CT \leq 4$. Kemudian untuk keseragaman CT *number*nya yaitu $CT \leq 2 \Delta CT$ dimana ΔCT merupakan batas nilai dari selisih ROI rata-rata di pusat dengan ROI rata-rata tepi. Nilai standar deviasi yang didapat akan dipakai untuk mengetahui nilai keseragaman *noise*, apabila berdasar pada BAPETEN nilai lolos uji keseragaman *noise* yaitu sebesar $CT \leq 2 \Delta CT$ [15].

Keseragaman CT Number dan Noise

Keseragaman CT *number* dipakai untuk mencari kehomogenan variasi intensitas citra. Nilai keseragaman CT *number* gambar akan relatif besar apabila variasi intensitas citra menurun atau ragam keabuan pada citra mengecil [16]. Penentuan keseragaman CT *number* dapat menggunakan persamaan berikut [15]:

$$\Delta CT = \text{nilai ROI pusat} - \text{nilai ROI tepi} \quad (2.1)$$

Sedangkan *Noise* merupakan fluktuasi (standar deviasi) diantara nilai *pixel* pada materi yang homogen. Nilai *noise* dipresentasikan dengan nilai HU dan berhubungan dengan nilai dosis radiasi yang diterima. *Noise* dipengaruhi faktor-faktor sebagai berikut yaitu mAs, *scan time*, *slice thickness*, ukuran objek serta kV. Semakin tinggi SD nilai CT *number* maka *noise* akan semakin tinggi, ini mempengaruhi kontras resolusi yang menyebabkan resolusi citra akan menurun [13].

Efek *Noise* dan Ketebalan Irisan pada Citra CT Scan

Nilai *slice thickness* ditentukan oleh operator sesuai dengan syarat pemeriksaan klinis; untuk variasi ketebalan *slice thickness* mulai dari 1 hingga 10 mm. *Noise* gambar berbanding terbalik dengan variasi akar kuadrat dalam ketebalan balok (*slice thickness*). *Slice thickness* yang lebih tipis dapat meningkatkan *noise* pada gambar [17].

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan di RSUD Bali Jimbaran dengan CT Scan Siemens tipe M-CT-160 dan *water phantom* dengan no. Model 10355224 berdiameter 20 cm yang dibuat dengan bahan akrilik berisi air murni. Faktor ekspose diatur dengan menggunakan konsol pengendali untuk melakukan *scanning* dan mencari ROI dari citra yang dihasilkan. Tahapan pertama dalam pengambilan data, pengambilan gambar pada pemindaian *water phantom* dengan pengaturan parameter tegangan tabung 130 kV, arus waktu sebesar 220 mAs dan *slice thickness* 3 mm, 5 mm dan 8 mm. Dari hasil pemindaian tersebut dilakukan pengukuran nilai HU pada sisi tengah citra *phantom* dengan luaran area ROI (*region of interest*). ROI ditentukan dengan membuat pola lingkaran yang diameternya 2 cm di 5 titik berbeda pada citra yang kemudian diletakkan pada pusat slice, bagian tepi searah jarum jam pukul 12, pukul 3, pukul 6 dan pukul 9. Kemudian dilakukan berulang pada *slice thickness* yang berbeda-beda. Dari hasil Penentuan ROI akan diketahui nilai min max, *mean*, serta SD atau Standar Deviasi. Nilai SD tersebut akan dipakai untuk menentukan keseragaman *noise*. Kemudian hasil pengukuran dicatat dan dimasukkan ke dalam tabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pengukuran nilai keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* dari CT *number* berupa nilai ROI yaitu *mean* dan standar deviasi (SD) dari ketiga *slice thickness* yang berbeda dengan tegangan dan arus-waktu tetap sebesar 130 kV dan 220 mAs. Adapun hasil pengukuran dapat diketahui seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil proses ROI pada *slice thickness* 3 mm, 5 mm, dan 8 mm.

Posisi ROI	Slice Thickness (mm)					
	3		5		8	
	Mean (HU)	SD (HU)	Mean (HU)	SD (HU)	Mean (HU)	SD (HU)
Pusat	1,00	4,10	0,40	3,00	0,50	2,30
Arah pukul 12	-0,10	3,10	0,10	2,60	0,20	2,40
Arah pukul 3	0,60	2,80	-0,40	2,20	0,20	2,00
Arah pukul 6	0,30	3,20	-0,40	2,30	0,10	2,00
Arah pukul 9	0,60	3,00	0,20	2,30	0,30	2,20

Pada Tabel 1 kemudian dicari nilai keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* citra CT *scan* menggunakan *water phantom* sehingga didapatkan hasil seperti yang terdapat di Tabel 2 dan Tabel 3.

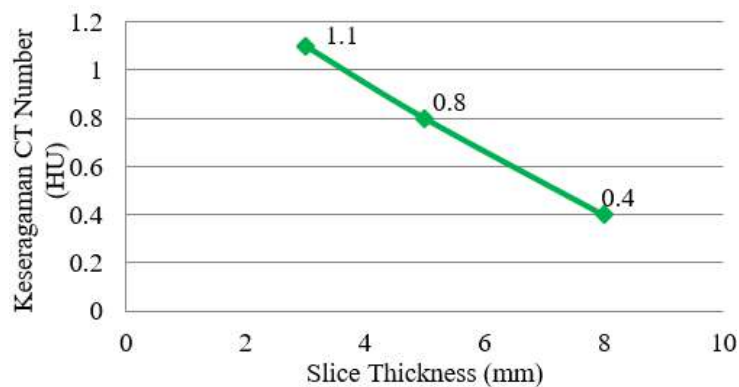
Tabel 2. Nilai keseragaman CT *number* dan Keseragaman *Noise*

Slice Thickness (mm)	Keseragaman CT <i>number</i> (HU)	Keseragaman <i>Noise</i> (HU)	Nilai Lolos Uji	Kesimpulan
3	1,10	0,728		
5	0,80	0,583	≤2	sesuai
8	0,40	0,272		

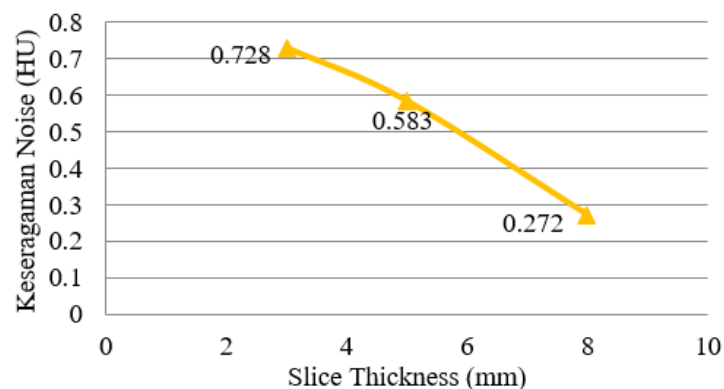
Pembahasan

Pada PKL ini dilakukan pengambilan data dengan cara mengubah variasi parameter *slice thickness* untuk memperoleh kualitas citra dengan hasil CT *number* tidak melampaui nilai lolos uji dari BAPETEN. *Setting* parameter untuk tegangan tabung yang digunakan sebesar 130 kV dengan arus-waktu 220 mAs dan variasi *slice thickness* sebesar 3 mm, 5 mm dan 8 mm. Berdasarkan parameter tersebut diperoleh dua hasil yang akan dianalisis yaitu nilai keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* dari hasil citra *water phantom*.

Nilai keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* yang diperoleh dari variasi *slice thickness* pada Tabel 2 dan Tabel 3 dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



GAMBAR 1. Grafik hubungan antara *slice thickness* terhadap nilai keseragaman CT *Number*



GAMBAR 2. Grafik hubungan antara *slice thickness* terhadap nilai keseragaman *noise* CT *Number*

Berdasarkan pada Tabel 1 didapatkan nilai keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara *slice thickness* terhadap nilai CT *Number* seperti pada Gambar 2. dapat kita amati apabila semakin kecil nilai *slice thickness* yang dipakai akan semakin besar pula nilai CT *number* dari keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* yang dihasilkan dari citra CT *scan* menggunakan *water phantom*. Nilai CT *number* keseragaman *noise* pada Gambar 2. menunjukkan hal yang sama seperti pada keseragaman CT *number* citra CT *Scan* menggunakan *water phantom* yaitu CT *number* yang didapat semakin besar apabila nilai *slice thickness* yang digunakan semakin kecil karena ukuran yang tipis akan menghasilkan resolusi kontras yang tinggi. Apabila menggunakan *slice thickness* dengan nilai terlalu tipis gambar akan terlihat tidak halus. Kontras resolusi dapat meningkat apabila *slice thickness* yang digunakan nilainya tinggi. Namun *spatial* resolusinya dapat menurun dan mengakibatkan berkurangnya *noise*.

Untuk mengetahui ada tidaknya penyimpangan dari nilai keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* yang didapat maka dilakukan perbandingan dengan nilai lolos uji BAPETEN untuk kedua parameter tersebut. Untuk keseragaman gambar dan hasil yang diperoleh dapat dinyatakan masih dalam keadaan baik. Hal ini terbukti dalam pengukuran nilai lolos uji BAPETEN menunjukkan selisih ROI pusat dengan ROI tepi yaitu ≤ 2 HU. Dosis radiasi pasien berhubungan dengan nilai CT *number*, yang tidak melebihi toleransi juga berhubungan dengan dosis radiasi pada pasien, apabila nilai CT *number* ≤ 2 HU maka ambang dosis untuk jaringan tidak melebihi yang sudah ditentukan karena jika nilai intensitas radiasi yang sampai ke detektor melebihi batas toleransi dapat diketahui bahwa penyerapan juga lebih tinggi sehingga akan menimbulkan efek biologi radiasi pada pasien.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Variasi *slice thickness* yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini sangat berpengaruh terhadap keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* pada kualitas citra pesawat CT *scan* menggunakan *water phantom*. Nilai CT *number* pada keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise* menunjukkan penurunan seiring dengan nilai *slice thickness* yang semakin besar. Sehingga semakin besar nilai *slice thickness* yang digunakan semakin seragam citra yang dihasilkan serta *noise* akan berkurang dan citra yang paling optimal yaitu pada *slice thickness* 5 mm. Kemudian untuk Nilai keseragaman CT *number* CT *Number* pada ketebalan slice yang berbeda yaitu 1,1 HU; 0,8 HU; dan 0,4 HU dengan nilai lolos uji ≤ 2 . Sedangkan nilai CT *number* keseragaman *noise* yaitu 0,728 HU; 0,583 HU; dan 0,272 HU dengan nilai lolos uji ≤ 2 . Maka dinyatakan bahwa nilai CT *number* dari keseragaman CT *number* dan keseragaman *noise*

terhadap kualitas citra CT Scan menggunakan *water phantom* masih berada pada standar kualitas citra BAPETEN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Direktur Utama RSUD Bali Jimbaran beserta semua yang bertugas di RSUD Bali Jimbaran karena telah memberikan ijin serta kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan Penelitian. Kepada dosen di Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana atas bimbingan yang telah diberikan untuk publikasi ini. Serta semua pihak yang ikut terlibat untuk membantu terselesaikannya jurnal ini.

REFERENSI

- [1] Syamsidar, Analisis Akurasi dan Keseragaman CT Number Dari Citra CT-Scan Menggunakan Phantom Gammex (Universitas Hasanuddin, Makassar, 2017)
- [2] Makmur, I.W.A. Setiabudi, W. Anam, C, Evaluasi Ketebalan Irisan (Slice Thickness) pada Pesawat CT Scan Single Slice (Jurnal Sains dan Matematika, 2013) Vol. 21 (2): 42-47.
- [3] Ayu, R. G, Analisis Noise Berdasarkan Slice Thickness Dengan Teknik Irisan Axial Pada Citra Computed Tomography Scan (Ct-Scan) (Universitas Jember, Jember, 2018)
- [4] Ariyani S, A. Setiabudi, W. Anam, C, Pengaruh Perubahan Tegangan Tabung (kVp) Terhadap CT Number dan Uniformitasnya pada Pesawat CT Scan (Jurnal Sains dan Matematika, 2012) Vol. 20 (3): 77-80.
- [5] Mas'uul, A. R. Susanto, H, Uji Kesesuaian CT Number Pada Pesawat CT Scan Multi Slice di Unit Radiologi Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI (Youngster Physics Journal, 2014) Vol. 3 (4): 335-340.
- [6] Dabukke, Hotmasari, Pengujian Iluminasi, Kolimasi, Ketegaklurusan dan Kualitas Berkas Pesawat Sinar-X Radiografi Umum dengan Radiografi Mobile (Universitas Sumatra Utara, Medan, 2018)
- [7] Fakhurreza, M., dan Mujidah, P. K, Pengaruh Banyaknya Radiasi dan Perubahan Energi Sinar-X terhadap Peningkatan Pembentukan Radikal Bebas pada Air, (JHeS (Journal of Health Studies, 2018)
- [8] Siregar, E. S., Sutapa, N., & Sudarsana, I. W. B, Penentuan Dosis Efektif Pada Pemeriksaan CT Scan Kepala Anak Dengan Software Indose CT (Kappa Journal, 2019) 3(2), 113-117.
- [9] Yogantara, P. G. A. K., Sutapa, G. N., & Yuliara, I. M, Effective Dose Analysis on Computer Tomography (CT) Head Scan at Gianyar Sanjiwani Hospita (BULETIN FISIKA, 2020) 22(2), 53-59.
- [10] Diwakar, M., dan Kumar, M, A review on CT image noise and its denoising (Biomedical Signal Processing and Control, 2018) 42, 73–88. <https://doi:10.1016/j.bspc.2018.01.010>
- [11] Bushberg, Jerrold, T, The Essential Physics of Medical Imaging 3rd Edition (Lippincot William & wilkins Philadelphina, USA, 2012)
- [12] Nariswari, N. N, Analisis Variasi Faktor Eksposi dan Ketebalan Irisan Terhadap CTDI dan Kualitas Citra Pada Computed Tomography (CT) Scan (Universitas Jember, Jember, 2018)
- [13] Putu, I. A., Hutami, A., Sutapa, G. N., Bagus, I., & Paramarta, A, Analisis Pengaruh Slice Thickness Terhadap Kualitas Citra Pesawat CT Scan Di RSUD Bali Mandara. (Buletin Fisika, 2021) 22(2), 77–83.
- [14] Ilyas, Muhammad, Monitoring Kendali Mutu (Quality Control) Pada Citra CT Scan Berdasarkan Standard Pengujian (Universitas Sumatra Utara, Medan, 2017)
- [15] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) 2018. Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Jakarta.
- [16] Vincentia, V. Nurhasanah. Sanubary, I, Deteksi Awal Retinopati Hipertensi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Pada Citra Fundus Mata (Jurnal Fisika, 2019) 9-20.
- [17] Alshipli, M., dan Kabir, N. A, Effect of slice thickness on image noise and diagnostic content of single-source-dual energy computed tomography (Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2017) Vol. 851, No. 1, p. 012005



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



ANALISIS *TYPICAL VALUE* PEMERIKSAAN CT-SCAN TORAKS NON-KONTRAS DAN KONTRAS

Hanendya Disha Randy Raharja¹, dr. Nina ISH Supit, Sp.Rad (K)¹

¹Departement Radiology, MRCCC Siloam Hospitals Semanggi, Jakarta, 12930, Indonesia

^{a)}Email:hanendya.contact@gmail.com, nina_supit@yahoo.co.uk

Abstrak. Modalitas CT-Scan telah banyak digunakan untuk pemeriksaan toraks sebagai alat penegakan diagnosa pasien pada indikasi klinis seperti metastasis, bronkiektasis, interstitial lung disease (ILD) dan infeksi paru. Telah dilakukan penelitian analisis typical value pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dan kontras pada bulan Maret tahun 2022 di MRCCC Siloam Hospitals Semanggi untuk mengetahui profil dosis pasien yaitu Computed Tomography Dose Index Volume (CTDIvol) dan Dose Length Product (DLP) menggunakan modalitas CT-Scan merk Philips iBrilliance 256 slice. Dari data informasi dosis pasien CTDIvol dan DLP 25 pasien kelompok umur dewasa ≥ 15 tahun pria dan wanita pada pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dan kontras diperoleh hasil typical value atau median (Q2) data CTDIvol dan DLP pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras berturut-turut adalah 9.2 mGy dan 422.1 mGy.cm serta typical value CTDIvol dan DLP pemeriksaan CT-Scan toraks kontras berturut-turut adalah 9.6 mGy dan 1454.4 mGy.cm. Typical value digunakan sebagai tingkat panduan diagnostik di satu fasilitas untuk satu jenis pemeriksaan tertentu dan dibandingkan dengan tingkat panduan diagnostik atau Diagnostic Reference Level (DRL) nasional yaitu kuartil atas (Q3) data nasional untuk digunakan sebagai evaluasi audit dosis. Jika typical value dibawah tingkat panduan diagnostik nasional maka harus menjaga dan memastikan citra memiliki kualitas diagnostik dan jika typical value diatas tingkat panduan diagnostik nasional maka perlu melakukan investigasi penyebab dan melakukan optimisasi dengan membuat skenario optimisasi yaitu mengubah protokol penyinaran atau faktor eksposi untuk mengupayakan agar dosis yang diterima oleh pasien serendah-rendahnya yang dapat dicapai dan masih masuk akal dengan kualitas diagnostik. Keputusan Kepala BAPETEN tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia nomor 1211/K/V/2021, tingkat panduan diagnostik nasional CTDIvol dan DLP pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras berturut-turut adalah 11 mGy dan 430 mGy.cm serta tingkat panduan diagnostik nasional CTDIvol dan DLP pemeriksaan CT-Scan toraks kontras berturut-turut adalah 16 mGy dan 810 mGy.cm, dari hasil studi awal audit dosis perbandingan typical value dengan tingkat panduan diagnostik nasional maka di MRCCC Siloam Hospitals Semanggi sangat perlu dilakukan optimisasi pada pemeriksaan CT-Scan toraks kontras.

PENDAHULUAN

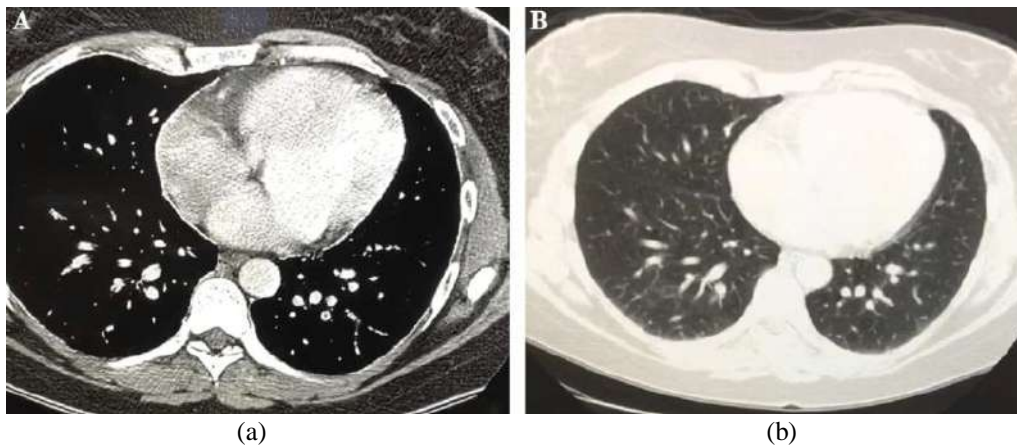
Pelayanan radiologi adalah pelayanan kesehatan yang memanfaatkan sumber radiasi pengion atau bahan zat radioaktif sehingga memiliki manfaat dan dampak, yaitu dapat bermanfaat bagi penegakan diagnosa oleh dokter spesialis radiologi dan terapi penyakit kepada pasien namun di sisi lain juga berisiko memberikan dampak kerusakan biologis yaitu efek deterministik dan efek stokastik yang dapat berbahaya jika pemanfaatan sumber radiasi pengion tidak tepat dan tidak terkendali.

Semua pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia wajib memenuhi persyaratan keselamatan radiasi seperti yang tercantum dalam Pasal 4 Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [1]. Tujuan dari diterbitkannya peraturan pemerintah tersebut adalah untuk mengatur keselamatan radiasi terhadap pekerja radiasi, masyarakat dan lingkungan hidup, keamanan sumber radioaktif dan inspeksi dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Salah satu persyaratan keselamatan radiasi adalah persyaratan proteksi radiasi yang meliputi asas proteksi radiasi yaitu asas justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir oleh dokter spesialis radiologi, asas limitasi dosis bagi pekerja radiasi dan masyarakat, dan asas optimisasi dosis untuk keselamatan pasien.

Selain memperhatikan asas justifikasi dan asas limitasi dalam proteksi radiasi, fisikawan medik berperan memperhatikan asas optimisasi yaitu mengupayakan agar dosis yang diterima oleh pasien serendah-rendahnya yang dapat dicapai dan masih masuk akal (*as low as reasonably achievable, ALARA*) dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi. Salah satu penerapan asas optimisasi dalam proteksi radiasi adalah penggunaan tingkat panduan diagnostik atau *Diagnostic Reference Level (DRL)* yang berguna untuk memberikan panduan kepada pekerja radiasi sebagai acuan dalam mengidentifikasi penerimaan dosis pasien

untuk satu jenis pemeriksaan tertentu. Tingkat panduan diagnostik bertujuan untuk meningkatkan proteksi radiasi pasien yang menerima paparan medik untuk mengupayakan agar dosis yang diterima oleh pasien serendah-rendahnya yang dapat dicapai dan masih masuk akal dengan kualitas diagnostik.

Pemeriksaan CT-Scan telah banyak digunakan sebagai evaluasi pencitraan diagnostik pada deteksi awal kanker dibandingkan radiografi konvensional [2]. Secara umum, protokol pemeriksaan toraks menggunakan CT-Scan yaitu CT-Scan toraks non-kontras dan CT-Scan toraks dengan kontras.



GAMBAR 1. Citra pemeriksaan CT-Scan toraks (a) dengan kontras dan (b) non-kontras

Penggunaan kontras iodine melalui intravena bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas organ dalam tubuh pasien. Indikasi klinis yang sering terjadi pada pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras adalah suspek atau tindak lanjut dari metastasis, bronkiektasis, *interstitial lung disease* (ILD) dan infeksi paru. Perbedaan mendasar pemeriksaan CT-Scan toraks kontras dengan CT-Scan toraks non-kontras adalah pemberian bahan kontras melalui intravena dengan injektor dan bolus [4].

Teknik bolus *tracking* pada pemeriksaan CT-Scan toraks kontras berpotensi meningkatkan dosis pasien karena terdapat beberapa *sequence* pemindaian atau akuisisi citra. Pada teknik bolus *tracking* CT-Scan melakukan pemindaian atau akuisisi citra berdasarkan *region of interest* (ROI) berbentuk lingkaran secara otomatis ketika nilai *Hounsfield Unit* (HU) mencapai nilai yang sudah ditetapkan (50-150 HU) pada pembuluh darah [5]. Pada pemeriksaan CT-Scan toraks kontras menggunakan 2 fase yaitu arteri dan vena. Tujuan pemberian kontras adalah untuk mempertegas diagnosa apabila ada kelainan seperti tumor, metastasis dan volume atau massa organ. Saat ini *Computed Tomography Dose Index Volume* (CTDI_{vol}) dan *Dose Length Product* (DLP) adalah parameter yang paling umum digunakan untuk memperkirakan dosis radiasi pasien pada pemeriksaan CT-Scan [6]. Pemberian kontras pada pemeriksaan CT-Scan dapat meningkatkan dosis radiasi yang diterima pasien.

Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, tingkat panduan paparan medik sesuai pasal 35 poin b diterapkan untuk optimisasi dan pasal 39 mewajibkan menggunakan tingkat panduan medik dalam melaksanakan prosedur radiologidagnostik dan intervensional [1]. Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensial juga mewajibkan pemegang izin menerapkan optimisasi proteksi radiasi dengan tingkat panduan diagnostik [7].

Tingkat panduan diagnostik telah terbukti bermanfaat dalam penerapan asas proteksi radiasi yaitu optimisasi dosis pasien. Proses penerapan tingkat panduan diagnostik merupakan suatu siklus berkelanjutan yang melibatkan kolaborasi antar profesi yaitu radiografer berperan dalam proses dokumentasi data survei pasien, fisikawan medik berperan dalam proses analisis data dosis pasien dan dokter spesialis radiologi berperan sebagai justifikasi citra diagnostik pasien [8].

Tingkat panduan diagnostik berlaku untuk populasi dan tidak berlaku bagi individu sehingga perlu ditentukan tingkat panduan diagnostik pada satu fasilitas. Dalam terminologi menurut ICRP No. 135, *typical value* adalah tingkat panduan diagnostik satu jenis pemeriksaan pada satu fasilitas kesehatan, nilainya adalah median (Q2) dari data dosis pasien. Tingkat panduan diagnostik lokal adalah kuartil atas (Q3) di satu area yang terdapat 10 hingga 20 fasilitas kesehatan. *Typical value* suatu jenis pemeriksaan ditetapkan sebagai tingkat panduan diagnostik fasilitas dan dibandingkan dengan tingkat panduan diagnostik nasional yang ditetapkan oleh Badan Pengawas yaitu kuartil atas (Q3) dari data nasional untuk menentukan perlu tidaknya dilakukan optimisasi dari hasil audit dosis [9]. Tingkat panduan diagnostik pada pemeriksaan CT-Scan sesuai rekomendasi ICRP adalah rata-rata CTDI_{vol} per *sequence* dan total DLP. Hasil audit dosis perbandingan *typical value* dengan tingkat panduan diagnostik nasional dapat dijadikan dasar acuan untuk menerapkan optimisasi untuk mengupayakan agar dosis yang diterima oleh pasien serendah-rendahnya yang dapat dicapai dan masih masuk akal dengan kualitas diagnostik. Jika *typical value* berada dibawah tingkat panduan diagnostik nasional harus memastikan citra berkualitas diagnostik dan jika *typical value* berada diatas tingkat panduan diagnostik nasional maka harus melakukan investigasi untuk mengetahui penyebab sehingga dapat menerapkan skenario optimisasi yang sesuai.

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) telah menyediakan alat bantu database berbasis *web* Si-Intan yang mampu menghitung *typical value* dari data satu jenis pemeriksaan sesuai kelompok usia pada modalitas yang diunggah oleh pekerja radiasi di suatu fasilitas dan digunakan untuk memantau penerimaan dosis pasien di seluruh Indonesia sebagai bahan kajian dalam merumuskan kebijakan yang berkaitan dengan pemanfaatan sumber radiasi penganon bidang radiologi diagnostik dan intervensional.

Diperlukan evaluasi pelayanan radiologi pada pemeriksaan CT-Scan di MRCCC Siloam Hospitals Semanggi sebagai studi awal upaya penerapan asas optimisasi pada proteksi radiasi yaitu dengan tingkat panduan diagnostik, audit dosis yang dilakukan yaitu penentuan *typical value* dan membandingkan dengan tingkat panduan diagnostik nasional. Tindaklanjut evaluasi audit dosis dapat berupa strategi optimisasi dengan melakukan perubahan faktor eksposi pada pemeriksaan CT-Scan jika diperoleh *typical value* diatas tingkat panduan diagnostik nasional untuk satu jenis pemeriksaan tertentu. Dalam penelitian ini, dilakukan audit dosis penentuan *typical value* dan membandingkan dengan tingkat panduan diagnostik nasional pada pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dan kontras.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di MRCCC Siloam Hospitals Semanggi dengan modalitas CT-Scan merk Philips iBrilliance 256 Slices dengan nilai penyimpangan CTDI_{vol} terukur dibanding dengan konsol adalah 4.72% lebih rendah sesuai hasil uji kesesuaian pada 24 September 2020 (batas toleransi nilai penyimpangan CTDI_{vol} terukur dibanding dengan konsol < 20%). Data yang diolah adalah informasi dosis pasien yaitu rata-rata CTDI_{vol} per *sequence* dan total DLP pada pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dan kontras kelompok usia dewasa ≥ 15 tahun pria dan wanita pada bulan Maret tahun 2022 sebanyak 25 pasien, jenis kelamin pasien, usia pasien dan berat badan pasien. Tingkat panduan diagnostik pada pemeriksaan CT-Scan sesuai rekomendasi ICRP adalah rata-rata CTDI_{vol} per *sequence* dan total DLP. Informasi dosis pasien CTDI_{vol} dan DLP diperoleh dari data DICOM pasien pada konsol CT-Scan. Secara matematis, rata-rata CTDI_{vol} per *sequence* dapat dihitung dengan persamaan (1) dan total DLP dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$\bar{x} \text{CTDI}_{vol} = \frac{\text{CTDI}_{vol1} + \text{CTDI}_{vol2} + \text{CTDI}_{voln} \dots}{\sum \text{Sequence}} \quad (1)$$

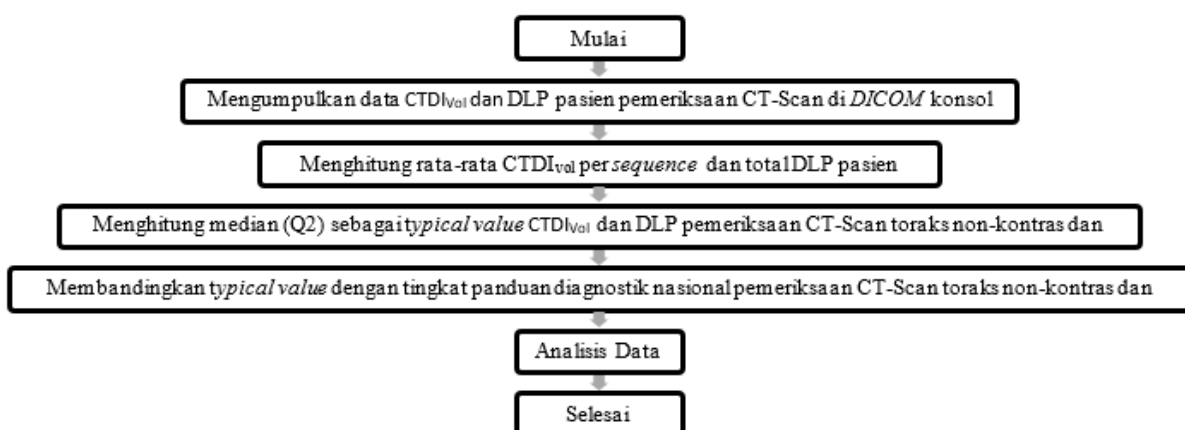
$$\sum \text{DLP} = \text{DLP}_1 + \text{DLP}_2 + \text{DLP}_n \dots \quad (2)$$

dengan jumlah *sequence* tidak menyertakan *surview*. Untuk mendapatkan *typical value* yaitu median (Q2) pada sebaran data ke-n, secara matematis dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$\text{Median (Q2)} = \frac{1}{2} (n+1) \quad (3)$$

dengan n adalah jumlah data.

Setelah memperoleh *typical value* CTDI_{vol} dan DLP pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dan kontras, *typical value* kemudian dibandingkan dengan tingkat panduan diagnostik nasional sesuai Keputusan Kepala BAPETEN tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia nomor 1211/K/V/2021 untuk mengetahui hasil audit dosis sehingga diketahui perlu tidaknya dilakukan optimisasi pada pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dan kontras di MRCCC Siloam Hospitals Semanggi.



GAMBAR 2. Diagram Alir Penelitian

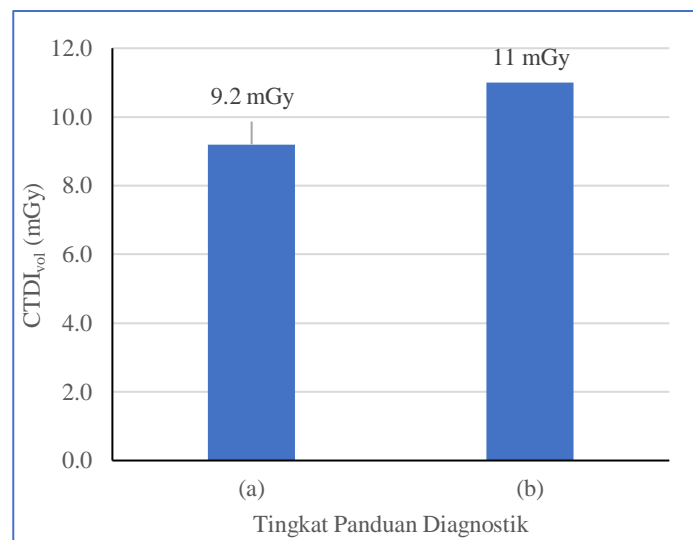
HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan pengumpulan data survei sejumlah 25 pasien kategori usia dewasa ≥ 15 tahun pria dan wanita jenis pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras pada Tabel 1.

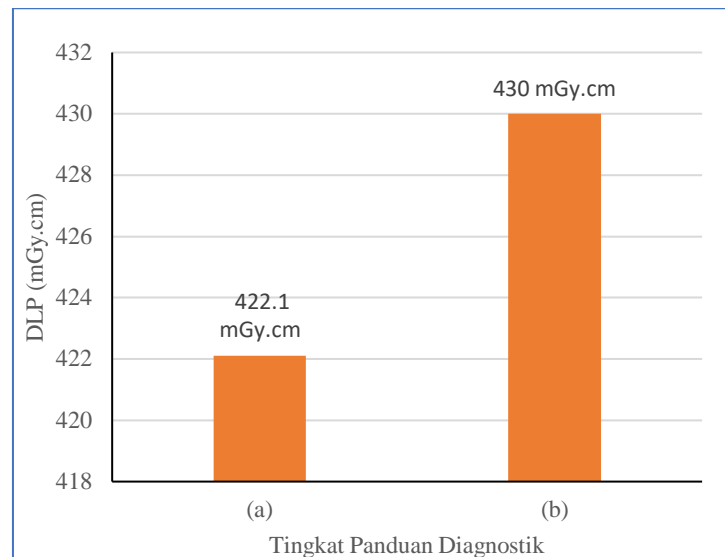
Tabel 1. Data Survei Pasien Pemeriksaan CT-Scan Toraks Non-kontras

No	Pasien	Jenis Kelamin	Usia (Tahun)	Berat Badan (Kg)	Σ Sequence	\bar{x} CTDI _{vol} (mGy)	Σ DLP (mGy.cm)	Median (Q2)
1	Pasien 1	Wanita	79	98	1	13	592.7	CTDI _{vol}
2	Pasien 2	Pria	54	80	1	17.5	896.5	9.2 mGy
3	Pasien 3	Pria	34	74	1	12	622.3	
4	Pasien 4	Wanita	45	59	1	7.5	338.1	DLP
5	Pasien 5	Wanita	41	50	1	13.6	556.1	422.1
6	Pasien 6	Wanita	58	41	1	6.5	327.7	mGy.cm
7	Pasien 7	Wanita	62	83	1	16.3	734.4	
8	Pasien 8	Wanita	35	50	1	6.7	324.3	
9	Pasien 9	Wanita	39	55	1	8.2	372.9	
10	Pasien 10	Wanita	51	62	1	10.1	487.1	
11	Pasien 11	Wanita	44	60	1	8.8	404.4	
12	Pasien 12	Wanita	89	70	1	8.2	347.4	
13	Pasien 13	Wanita	58	70	1	8.1	370.7	
14	Pasien 14	Pria	64	55	1	9.2	422.1	
15	Pasien 15	Wanita	59	60	1	8.1	316.9	
16	Pasien 16	Wanita	44	45	1	6.8	302.3	
17	Pasien 17	Pria	52	65	1	7.4	371.8	
18	Pasien 18	Wanita	50	70	1	9.2	435.7	
19	Pasien 19	Pria	71	61	1	9.3	519.9	
20	Pasien 20	Wanita	37	45	1	5.9	291.1	
21	Pasien 21	Wanita	48	70	1	18	741.5	
22	Pasien 22	Wanita	53	65	1	10.7	521.9	
23	Pasien 23	Pria	43	86	1	23.5	1172	
24	Pasien 24	Pria	54	68	1	11	508.2	
25	Pasien 25	Pria	40	62	1	8.1	402	

Dari data informasi dosis pasien pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras pada Tabel 1, diketahui *typical value* adalah data ke-13 dari sebaran sejumlah 25 data setelah diurutkan dari data terendah hingga tertinggi. *Typical value* CTDI_{vol} dan DLP pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras berturut-turut adalah 9.2 mGy dan 422.1 mGy.cm. Tingkat panduan diagnostik nasional CTDI_{vol} dan DLP sesuai Keputusan Kepala BAPETEN tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia nomor 1211/K/V/2021 pada pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras berturut-turut adalah 11 mGy dan 430 mGy.cm. Dapat disimpulkan bahwa *typical value* CTDI_{vol} dan DLP pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dibawah tingkat panduan diagnostik nasional dengan selisih masing-masing berturut-turut adalah 19.6 % dan 1.8 %.



GAMBAR 3. Grafik perbandingan (a) *typical value* CTDI_{vol} dengan (b) tingkat panduan diagnostik nasional CTDI_{vol} pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras



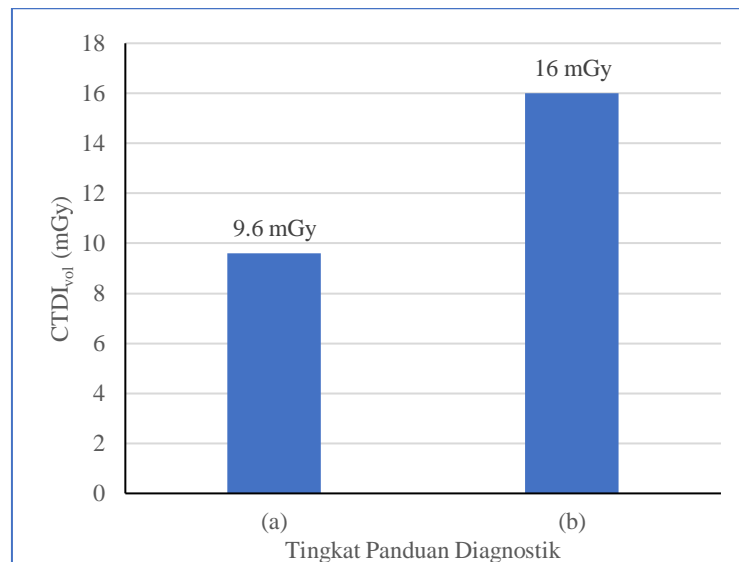
GAMBAR 4. Grafik perbandingan (a) *typical value* DLP dengan (b) tingkat panduan diagnostik nasional DLP pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras

Dan telah dilakukan pengumpulan data survei sejumlah 25 pasien kategori usia dewasa ≥ 15 tahun pria dan wanita jenis pemeriksaan CT-Scan toraks kontras pada Tabel 2.

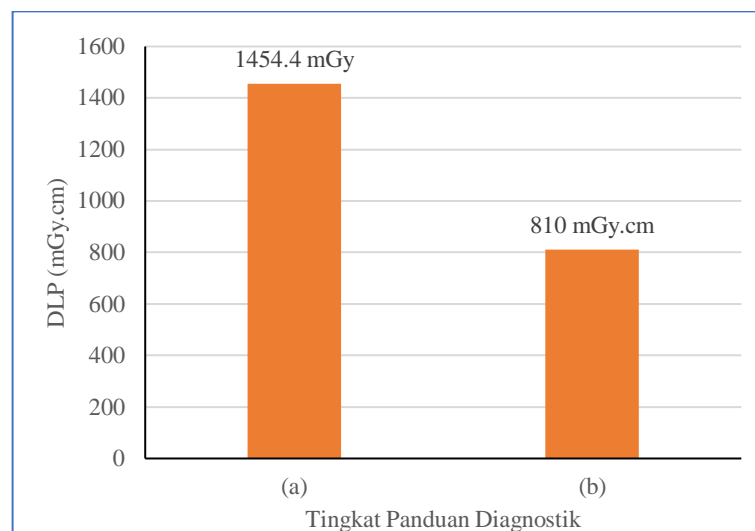
Tabel 2. Data survei pasien pemeriksaan CT-Scan toraks kontras

No	Pasien	Jenis Kelamin	Usia (Tahun)	Berat Badan (Kg)	Σ Sequence	\bar{x} CTDI _{vol} (mGy)	Σ DLP (mGy.cm)	Median (Q2)
1	Pasien 1	Wanita	73	42	5	8.2	927	CTDI _{vol}
2	Pasien 2	Wanita	54	57	5	12.1	1820	9.6 mGy
3	Pasien 3	Wanita	52	55	5	2	1549	
4	Pasien 4	Wanita	64	83	5	15.4	2981.5	DLP
5	Pasien 5	Wanita	59	65	5	11.3	1561	1454.4
6	Pasien 6	Wanita	60	71	5	12	1453.8	mGy.cm
7	Pasien 7	Wanita	52	67	5	15.8	3083.7	
8	Pasien 8	Wanita	63	47	5	7.2	1002.3	
9	Pasien 9	Wanita	71	59	5	9.1	1237.8	
10	Pasien 10	Wanita	57	55	5	8	1137.2	
11	Pasien 11	Pria	47	146	5	18.7	12108.7	
12	Pasien 12	Pria	73	62	5	9.7	1444.5	
13	Pasien 13	Wanita	46	40	5	15.8	2910.9	
14	Pasien 14	Wanita	58	51	5	1.9	1222.9	
15	Pasien 15	Wanita	65	51	5	8.4	997.7	
16	Pasien 16	Wanita	63	62	5	11.2	1628	
17	Pasien 17	Pria	56	58	5	11.7	1454.4	
18	Pasien 18	Pria	65	60	5	5.4	1538.5	
19	Pasien 19	Pria	59	57	5	2.4	1998.5	
20	Pasien 20	Wanita	48	42	5	12.1	1752.6	
21	Pasien 21	Wanita	55	60	5	9.6	1494.5	
22	Pasien 22	Wanita	54	49	5	8.6	1144.3	
23	Pasien 23	Pria	42	43	5	1.3	1092.5	
24	Pasien 24	Wanita	45	48	5	8.5	1194.3	
25	Pasien 25	Pria	62	54	5	10.1	1386.9	

Dari data informasi dosis pasien pemeriksaan toraks kontras pada Tabel 2, diketahui *typical value* adalah data ke-13 dari sebaran sejumlah 25 data setelah diurutkan dari data terendah hingga tertinggi. *Typical value* CTDI_{vol} dan DLP CT-Scan toraks kontras berturut-turut adalah 9.6 mGy dan 1454.4 mGy.cm. Tingkat panduan diagnostik nasional CTDI_{vol} dan DLP sesuai Keputusan Kepala BAPETEN tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia nomor 1211/K/V/2021 pada pemeriksaan CT-Scan toraks kontras berturut-turut adalah 16 mGy dan 810 mGy.cm. Dapat disimpulkan bahwa *typical value* CTDI_{vol} CT-Scan toraks kontras dibawah tingkat panduan diagnostik nasional dengan selisih 66.7 % tapi *typical value* DLP CT-Scan toraks kontras diatas tingkat panduan diagnostik nasional dengan selisih 79.6 %.



GAMBAR 5. Grafik perbandingan (a) *typical value* CTDI_{vol} dengan (b) tingkat panduan diagnostik nasional CTDI_{vol} pemeriksaan CT-Scan toraks kontras



GAMBAR 6. Grafik perbandingan (a) *typical value* DLP dengan (b) tingkat panduan diagnostik nasional DLP pemeriksaan CT-Scan toraks kontras

Dari analisis data dapat diketahui bahwa dosis pasien pemeriksaan CT-Scan toraks kontras mendapat dosis lebih tinggi dari pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras karena jumlah *sequence* pemindaian citra pemeriksaan CT-Scan toraks kontras lebih banyak yaitu *surview*, non-kontras, *locator*, *tracker*, fase arteri dan fase vena (lima *sequence*) namun pada pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras jumlah *sequence* pemindaian atau akuisisi citra hanya *surview* dan non-kontras (satu *sequence*). Dosis pada *sequence* *surview* tidak signifikan. Selain jumlah *sequence*, dosis pasien pada CT-Scan dipengaruhi oleh tebal irisan, kolimasi berkas utama, *field of view* (FOV) faktor eksposi kV dan mAs, *pitch*, ukuran tubuh pasien dan panjang pemindaian atau akuisisi citra. Protokol pemindaian atau akuisisi citra pada pemeriksaan CT-Scan toraks di MRCCC Siloam Hospitals Semanggi dari *apex* paru hingga *sinus costophrenicus* pada indikasi klinis non kanker (non metastasis) namun juga dapat mencapai liver ketika terdapat kecurigaan kanker (metastasis), sehingga menyebabkan pemindaian atau akuisisi citra lebih panjang dari protokol standar yang mengakibatkan kenaikan DLP. Penggunaan *smart/auto* mA atau *Tube Current Modulation* (TCM) sangat direkomendasikan pada pemeriksaan CT-Scan karena dapat menurunkan dosis radiasi pasien. Dari hasil audit dosis, jika ditemukan *typical value* berada dibawah tingkat panduan diagnostik nasional maka harus memastikan bahwa citra memiliki kualitas diagnostik dan jika *typical value* berada diatas tingkat panduan diagnostik nasional maka harus melakukan investigasi penyebab dan menindaklanjuti dengan melakukan optimasi dengan membuat skenario optimisasi yaitu dengan mengubah protokol pemeriksaan faktor eksposi untuk mengupayakan agar dosis yang diterima oleh pasien serendah-rendahnya yang dapat dicapai dan masih masuk akal dengan kualitas diagnostik. Penelitian ini merupakan studi awal dalam proses optimisasi sehingga sangat perlu penelitian lanjutan untuk menentukan skenario optimisasi yang sesuai sehingga dapat dibandingkan dosis dan citra pasien pra dan pasca optimisasi. Lama Sakhnini pada tahun 2018 telah melakukan optimisasi dosis radiasi pasien pada pemeriksaan CT-Scan kepala, toraks dan abdomen dengan menurunkan faktor eksposi yaitu mA, waktu rotasi dan tebal irisan dan diperoleh hasil dosis radiasi pasien CT-Scan CTDI_{vol} dan DLP turun secara signifikan [10].

KESIMPULAN

Dari hasil analisis data audit dosis pasien kelompok umur dewasa ≥ 15 tahun pria dan wanita pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dan kontras diperoleh hasil typical value CTDIvol dan DLP pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras adalah 9.2 mGy nilainya masih dibawah tingkat panduan diagnostik nasional yaitu 11 mGy dengan selisih 19.6% dan typical value DLP pemeriksaan CT-Scan toraks non kontras adalah 422.1 mGy.cm nilainya masih dibawah tingkat panduan diagnostik nasional yaitu 430 mGy.cm dengan selisih 1.8 %. Typical value CTDIvol pemeriksaan CT-Scan toraks kontras adalah 9.6 mGy nilainya masih dibawah tingkat panduan diagnostik nasional yaitu 16 mGy dengan selisih 66.7% dan typical value DLP pemeriksaan CT-Scan toraks kontras yaitu 1454.4 mGy.cm nilainya diatas tingkat panduan diagnostik nasional yaitu 810 mGy.cm dengan selisih 79.6%.

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa typical value CTDIvol dan DLP pada pemeriksaan CT-Scan toraks non-kontras dibawah tingkat panduan diagnostik nasional dan typical value CTDIvol pemeriksaan CT-Scan toraks kontras dibawah tingkat panduan diagnostik nasional namun typical value DLP pemeriksaan CT-Scan toraks kontras diatas tingkat panduan diagnostik nasional.

Sebagai studi awal proses audit dosis, sangat diperlukan penelitian lanjutan di MRCCC Siloam Hospitals Semanggi sebagai tindaklanjut evaluasi audit dosis dengan melakukan optimisasi untuk mengupayakan agar dosis yang diterima oleh pasien serendah-rendahnya yang dapat dicapai dan masih masuk akal dengan kualitas diagnostik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterimakasih kepada Hospital Director, Ancillary Service & Medical Affair Deputy Division Head, Head of Departement Radiology, Supervisor of Departement Radiology dan seluruh staf Departement Radiology MRCCC Siloam Hospitals Semanggi yang sudah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian, serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Pemerintah No 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif (2007).
- [2] M. F. Abdullah et al., J of Electrical and Electronic Sys Research **17** (2020).
- [3] S. Jadidi et al., The Cureus J of Med Sci **10**, **5**, 1–7 (2018).
- [4] Ashu Seith Bhall., Indian J Radiol Img **29**, **3**, 236–246 (2019).
- [5] N. R. Ibrahim., Research Sqr, 1-11 (2019).
- [6] J. Xu et al., Med Sci Moni **25**, 71–76 (2019).
- [7] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2020 tentang keselamatan radiasi pada penggunaa pesawat sinar-X dalam radiologi diagnostik dan intervensioal (2020).
- [8] L. E. Lubis and D. S. Soejoko., J. Med. Phys. Biop **7**, **1**, 22–31 (2020).
- [9] E. Vañó et al., ICRP **44**, **1** (2017).
- [10] L. Sakhnini., Rad. Diagnostic Img, **2**, **1**, 1–4 (2018).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



METODE PERHITUNGAN TEBAL DINDING PENAHAN RADIASI BUNKER BRAKITERAPI RSD MANGUSADA KABUPATEN BADUNG

I Nyoman Pranditayana^{1, a}, Made Padma Puspita¹⁾

¹Rumah Sakit Daerah Mangusada Kabupaten Badung Bali, Jalan Raya Kapal Mangupura Mengwi Kapal Kec. Mengwi Badung Bali Indonesia, 80351

^{a)} Penulis utama: i.nyoman75@alumni.ui.ac.id

Abstrak. Rumah Sakit Daerah (RSD) Mangusada Kabupaten Badung berencana untuk mengembangkan layanan kesehatan khususnya di bidang Radioterapi yang salah satu layanannya adalah Brakiterapi. Perhitungan tebal *shielding*/dinding penahan radiasi lurus dibuat sebagai salah satu syarat untuk izin konstruksi dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Perhitungan tebal dinding penahan radiasi pada bunker Brakiterapi di RSD Mangusada Kabupaten Badung telah dilakukan dengan metode *workload*/beban kerja dan bahan dasar yang digunakan dalam konstruksi bunker adalah *concrete*/beton dengan densitas 2.35 gr/cm³. Berdasarkan asumsi beban kerja sebesar 229743,36 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{minggu}^{-1}$ diperoleh hasil perhitungan tebal dinding terbesar pada titik A yaitu 66.81 cm. Dengan asumsi ketebalan dinding yang terpasang adalah 75 dan 77,5 cm sesuai dengan denah dan memiliki densitas yang sama seperti asumsi perhitungan, maka ketebalan dinding tersebut cukup untuk mengatenuasi radiasi mencapai batas toleransi yang ditentukan sehingga tidak dibutuhkan penambahan ketebalan dinding.

PENDAHULUAN

Keselamatan Radiasi Pengan di Bidang Medik adalah hal mutlak yang harus dilakukan untuk melindungi pasien, pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya Radiasi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengan dan Bahan Nuklir dan Peraturan Kepala Bapeten Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi, secara jelas menyebutkan bahwa setiap orang atau badan yang akan menggunakan Terapi Eksternal dan/atau Brakhiterapi wajib memiliki izin dari Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dan memenuhi persyaratan Keselamatan Radiasi dan keamanan sumber radioaktif. Syarat pertama yang harus dipenuhi adalah izin konstruksi yang meliputi desain fasilitas yang sesuai dengan standar keselamatan radiasi dan/atau keamanan Sumber Radioaktif dan dokumen uraian konstruksi ruangan Brakhiterapi yang paling kurang meliputi perhitungan ketebalan penahan Radiasi, jenis dan densitas material [1,2].

Rumah Sakit Daerah (RSD) Mangusada Kabupaten Badung berencana untuk mengembangkan layanan kesehatan khususnya di bidang Radioterapi yang salah satu layanannya adalah Brakiterapi. Perhitungan tebal *shielding*/dinding penahan radiasi lurus dibuat sebagai salah satu syarat untuk izin konstruksi dari BAPETEN. Gambar denah dan tebal dinding bunker untuk mengatenuasi berkas radiasi sampai batas toleransi yang diperbolehkan harus ditentukan, karena dinding-dinding ini sebagai tabir penahan radiasi utama dan merupakan salah satu prinsip dasar dalam proteksi radiasi selain jarak dan waktu. Bahan yang paling sering digunakan untuk *shielding* radiasi adalah bahan yang memiliki nomor atom yang besar dan densitas bahan yang tinggi seperti halnya lead (Pb) dan tungsten (W), namun harga bahan-bahan ini relatif mahal. Selain itu, penggunaan Pb dengan ketebalan lebih dari 5 mm membutuhkan penanganan yang sangat sulit, mengingat Pb memiliki massa yang sangat berat dan jika dipasang dengan posisi vertical akan membutuhkan struktur dan daya rekat yang kuat agar tidak jatuh karena pengaruh gaya gravitasi [3].

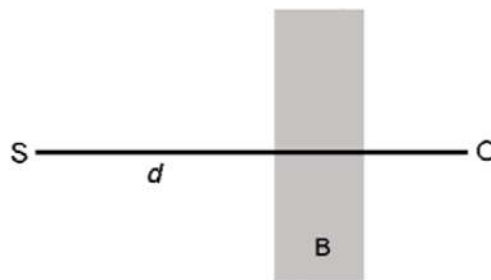
METODE DAN BAHAN

Desain penahan radiasi untuk fasilitas kesehatan radioterapi telah dikembangkan oleh Mutscheller (1925;1926) dan kemudian diperbaharui oleh National Council on Radiation Protection and Measurement

(NCRP 1976;1977). Konsep dasar pada desain penahan radiasi ini terlihat pada Gambar 1.1 dimana seseorang yang berada pada posisi O harus diproteksi dari sumber radiasi S dengan jarak antara keduanya adalah sejauh d . Desain penahan radiasi pada aplikasi Brakiterapi dimana dosis radiasi yang ingin dicapai (P) dipengaruhi oleh beberapa parameter yang terlihat dari persamaan 1 Perhitungan Ketebalan Dinding Primer sebagai berikut:

$$B_{pri} = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \quad (1)$$

dimana B_{pri} adalah faktor transmisi untuk beton, d_{pri} merupakan jarak dari sumber radiasi primer ke titik yang akan diproteksi, W adalah beban kerja atau dosis serap yang terpakai pada jarak 1 meter dari sumber setiap minggunya ($Gy \text{ week}^{-1}$), U adalah faktor penggunaan atau fraksi penggunaan dimana berkas sumber utama secara langsung mengarah pada dinding yang diukur, pada aplikasi Brakiterapi bernilai satu karena semua dinding dalam ruang Brakiterapi adalah dinding primer sebab sumber radiasi yang terpasang pada pesawat brakiterapi tidak terkolinasi sehingga radiasi primer dari sumber radiasi tersebar ke segala arah. T adalah faktor penempatan ruangan di sekitar dinding yang diukur [4].



GAMBAR 1. Skema Konsep Dasar Aplikasi Penahan Radiasi

Beban kerja (W) pada layanan Brakiterapi dipengaruhi oleh beberapa parameter sesuai dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$W = RAKR \times A \times t \times n \quad (2)$$

dimana $RAKR$ adalah *Reference Air Kerma Rate* untuk sumber radiasi yang digunakan, A adalah aktivitas total sumber radiasi (aktivitas per sumber radiasi x jumlah sumber radiasi), t adalah lama waktu penyinaran per pasien (jam), dan n adalah jumlah treatment per minggu (pasien/minggu).

Setiap bahan seperti Beton, Baja dan Timah Hitam memiliki tingkat penyerapan radiasi yang bervariasi. Konsep *Tenth Value Layer* (TVL) yaitu ketebalan suatu material yang mampu mereduksi sepersepuluh dari berkas radiasi mula-mula digunakan pada perhitungan ketebalan dinding penahan radiasi yang nilainya ditampilkan pada Tabel 1. Jumlah TVL yang dibutuhkan (N) pada suatu perhitungan ketebalan dinding penahan radiasi dapat ditentukan menggunakan persamaan 3 berikut :

$$N = \log \frac{1}{B_{pri}} \quad (3)$$

Tabel 1. Nilai *Half and Tenth Value Layers* Radionuklida Sumber Brakiterapi

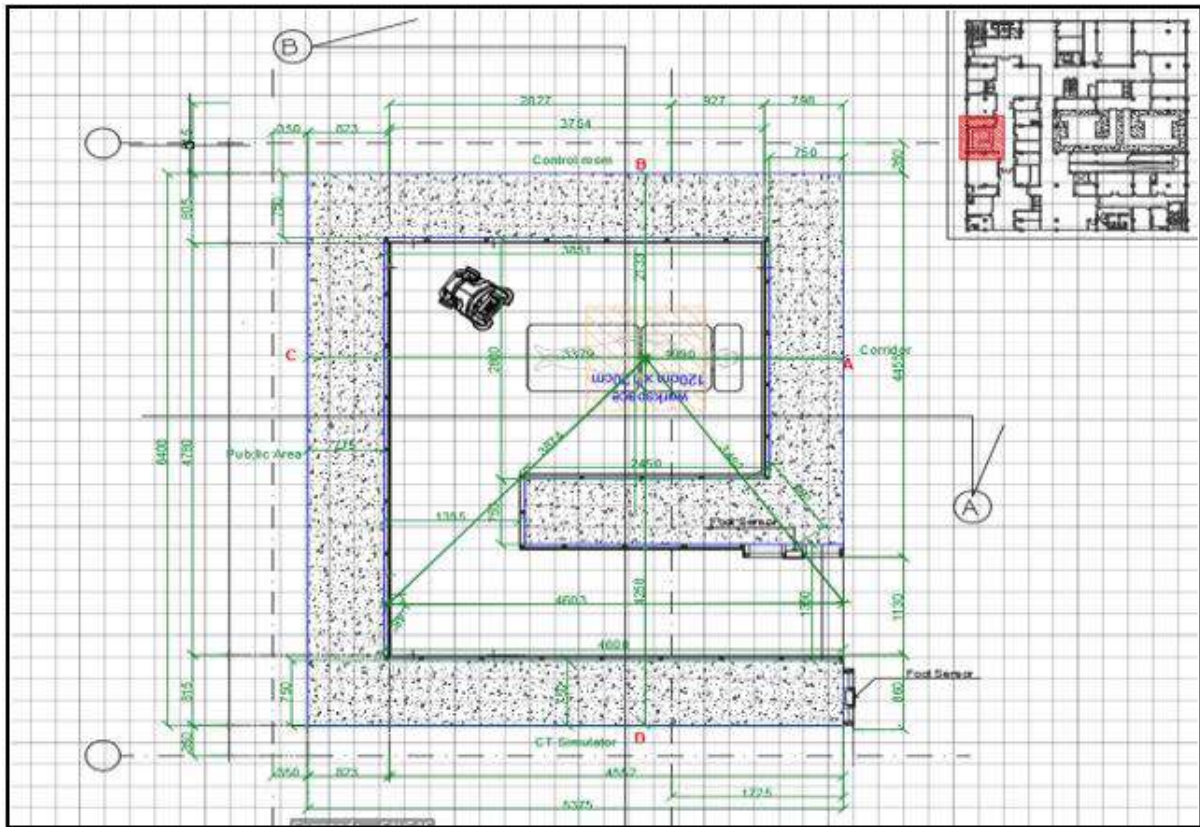
Nuclide	Lead		Steel		Concrete	
	HVL (mm)	TVL (mm)	HVL (mm)	TVL (mm)	HVL (mm)	TVL (mm)
Co-60	12 (HVL ₁ = 15)	41	21 (HVL ₁ = 35)	71 (TVL ₁ = 87)	62	218 (TVL ₁ = 245)
I-125	0.03	0.1	-	-	-	-
Cs-137	6.5	22	16 (HVL ₁ = 30)	53 (TVL ₁ = 69)	48	175
Ir-192	6	16	13 (HVL ₁ = 19)	43 (TVL ₁ = 49)	43	152
Au-198	3.3	11	-	-	41	142
Ra-226	16.6	45	22 (HVL ₁ = 35)	76 (TVL ₁ = 86)	69	240

Sehingga ketebalan dinding primer dapat ditentukan dengan persamaan 4 sebagai berikut :

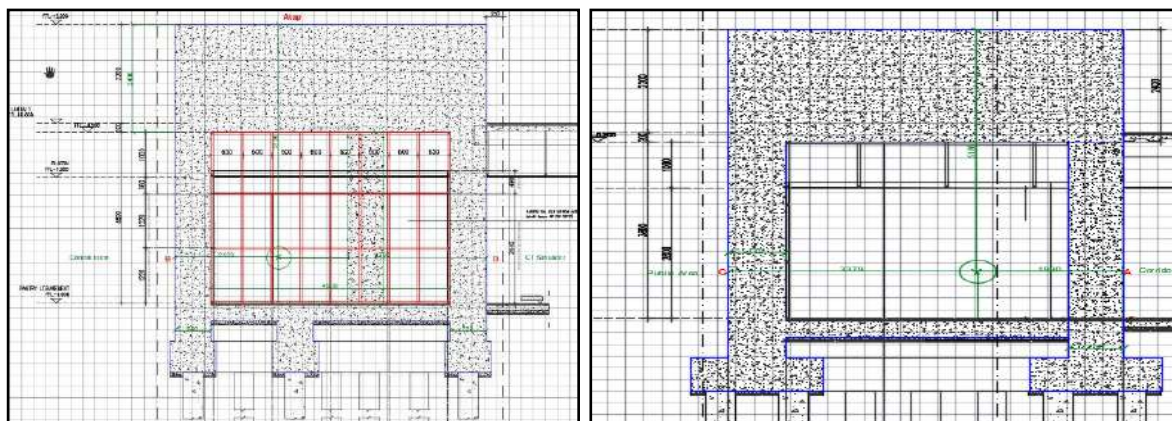
$$t = N \times TVL \tag{4}$$

dimana t adalah ketebalan dinding primer, N adalah jumlah TVL yang dibutuhkan dan TVL adalah *Tenth Value Layer* material yang digunakan dimana untuk beton bernilai 21.8 cm [5].

Pada perhitungan dinding penahan radiasi untuk ruang brakiterapi di RSD Mangusada, Badung - Bali, metode yang digunakan adalah asumsi *Workload/Beban Kerja* dan bahan dasar yang digunakan dalam konstruksi bunker adalah *concrete/beton* dengan densitas 2.35 gr/cm³ yang dibuktikan dengan uji densitas sampel beton dari lembaga uji terakreditasi. Asumsi-asumsi lain yang digunakan dalam perhitungan mengikuti uraian yang terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3 [6]. Penentuan jarak dari isocenter ke masing-masing dinding yang proteksi terdapat pada Gambar 2 dan 3.



GAMBAR 2. Denah Ruang Brakiterapi RSD Mangusada Tampak Atas



GAMBAR 3. Denah Ruang Brakiterapi RSD Mangusada Tampak Samping

Tabel 2. Spesifikasi Pesawat Brakiterapi

Spesifikasi	Keterangan
Jenis Pesawat	Brakiterapi Co-60
Sumber Radiasi	Cobalt 60
Energi Rata-rata Sumber	1.25 MeV
Jumlah Sumber Terpasang	1 Buah
Asumsi Aktivitas Co-60	2 Ci (74000 MBq)
RAKR Sumber Co-60	0.308 $\mu\text{Gy} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$

Tabel 3. Asumsi Pelayanan Brakiterapi

Parameter	Keterangan
Jumlah Pasien	35 Pasien/Minggu
Asumsi rata-rata waktu penyinaran	12 menit/pasien
Asumsi Toleransi QA	20 %
Asumsi Toleransi Aktivitas Sumber	20 %
Asumsi aplikasi treatment	Intracavitary
Batas Dosis	Daerah Terkontrol : 100 $\mu\text{Sv}/\text{minggu}$ Daerah Tak Terkontrol : 10 $\mu\text{Sv}/\text{minggu}$
Faktor Penempatan Ruang (T)	T = 1 (Ruang Hunian Penuh : Kantor, Ruang TPS, Control, Resepsionis, Laboratorium) T = 0.5 (Ruang Treatment yang Berdekatan) T = 0.2 (Ruang Istirahat Pekerja dan Koridor) T = 0.125 (Ruang di Depan Pintu Ruang Treatment) T = 0.05 (RuangTunggu, Toilet) T=0.025 (Tangga, Lift, Jalan Kendaraan) sd

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum menentukan ketebalan dinding penahan radiasi primer, terlebih dahulu beban kerja pesawat brakiterapi harus ditentukan. Penentuan beban kerja pesawat brakiterapi ditentukan dengan persamaan 2 dan berdasarkan pada data-data yang telah disebutkan pada Tabel 1 dan 2. Perhitungan beban kerja pesawat brakiterapi dihitung dengan mempertimbangkan toleransi sumber radiasi dan toleransi quality assurance (QA), yang masing-masing sebesar 20%. Setelah memperhitungkan toleransi sumber radiasi, maka aktivitas sumber radiasi Co-60 yang dimasukkan kedalam perhitungan beban kerja adalah sebesar 88800 MBq, sehingga nilai beban kerja dengan toleransi aktivitas sumber radiasi sebesar $191452,8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{minggu}^{-1}$. Apabila toleransi QA untuk pesawat brakiterapi dimasukkan kedalam perhitungan beban kerja pesawat, maka nilai akhir dari beban kerja pesawat brakiterapi, setelah mempertimbangan toleransi QA sebesar 20% sebesar $229743.36 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{minggu}^{-1}$.

Setelah mendapatkan nilai beban kerja pesawat maka perhitungan dinding penahan radiasi untuk bunker Brakiterapi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1, 3 dan 4. Hasil perhitungan ketebalan dinding bunker brakiterapi ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Ketebalan Dinding Penahan Radiasi Bunker Brakiterapi RSD Mangusada Badung

Titik	Ruangan	P ($\mu\text{Sv}/\text{minggu}$)	d_{pri} (m)	B_{pri}	t (cm) Hitung	t (cm) Denah	Keterangan
A	Koridor	10	1,99	0.00086	66.80756	75	Memenuhi
B	R. Kontrol	100	2,133	0.00198	58.93109	75	Memenuhi
C	Area Publik	10	3,379	0.01988	37.09502	77,5	Memenuhi
D	R. CT-Simulator	10	4,258	0.00158	61.07928	150	Memenuhi
ATAP	Area Publik	10	5,188	0.04686	28.97619	240	Memenuhi

Hasil perhitungan ketebalan dinding terbesar pada titik A (Koridor) dengan nilai ketebalan 66.81 cm, hal ini paling dipengaruhi oleh titik isocenter ke titik A memiliki jarak yang paling dekat yaitu 1.99 m yang merupakan jarak terkecil dibandingkan titik-titik yang lain. Bunker Brakiterapi RSD Mangusada Kabupaten Badung akan dibangun dengan asumsi ketebalan sebesar 77,5 cm untuk dinding C, dan 75 cm untuk dinding A, B, D dan labirin sehingga ketebalan dinding yang direncanakan sesuai denah lebih besar dari hasil ketebalan perhitungan.

Hasil perhitungan Laju Dosis diluar dinding-dinding brakiterapi dengan asumsi ketebalan tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Laju Dosis di Sekitar Bunker Brakiterapi RSD Mangusada Badung

Titik	Ruangan	t (cm) Denah	N (t) Denah	d _{pri} (m)	B _{pri}	T	P ($\mu\text{Sv/week}$)	Toleransi P ($\mu\text{Sv/week}$)	Keterangan
A	Koridor	75	3,440	1,9900	0,000363	0,2	4,20920	10	Memenuhi
B	R. Kontrol	75	3,440	2,1330	0,000363	1	18,31868	100	Memenuhi
C	Area Publik	77,5	3,555	3,3790	0,00028	0,025	0,14014	10	Memenuhi
D	R. CT-Simulator	150	6,881	4,2580	1,3E-07	0,5	0,00083	10	Memenuhi
ATAP	Area Publik	240	11,009	5,1880	9,8E-12	0,025	0,00000	10	Memenuhi

Nilai laju dosis dihitung berdasarkan asumsi ketebalan dinding yang direncanakan sesuai dengan denah. Hasil perhitungan menunjukkan nilai laju dosis tertinggi 18.32 $\mu\text{Sv/week}$ terletak pada titik B dengan ketebalan dinding 75 cm. Beberapa faktor berpengaruh pada nilai laju dosis ini, selain ketebalan dinding, beban kerja dan jarak, faktor penempatan ruangan di sekitar dinding yang diukur (T) paling berpengaruh signifikan terhadap nilai laju dosis ini. Pada titik B nilai T=1 menunjukkan bahwa area tersebut diasumsikan ruangan dengan hunian penuh pada jam kerja yaitu 8 jam dalam sehari dan 40 jam dalam seminggu. Pada titik B juga termasuk daerah terkontrol dimana hanya pekerja radiasi yang memiliki monitoring dosis radiasi personal yang boleh berada di ruangan tersebut sehingga batas toleransi laju dosis pada titik ini mencapai 100 $\mu\text{Sv/week}$. Nilai perhitungan laju dosis di semua titik lebih rendah dari batas toleransi yang diperbolehkan pada masing-masing titik.

KESIMPULAN

Perhitungan tebal dinding penahan radiasi pada bunker Brakiterapi di RSD Mangusada Kabupaten Badung dengan metode *workload*/beban kerja sebesar 229743,36 $\mu\text{Gy.m}^2.\text{minggu}^{-1}$ dan bahan dasar konstruksi bunker adalah *concrete*/beton dengan densitas 2.35 gr/cm^3 , diperoleh hasil perhitungan tebal dinding terbesar pada titik A yaitu 66.81 cm. Dengan asumsi ketebalan dinding yang terpasang adalah 75 dan 77,5 cm sesuai dengan denah dan memiliki densitas yang sama seperti asumsi perhitungan, maka ketebalan dinding tersebut cukup untuk mengatenuasi radiasi mencapai batas toleransi yang ditentukan sehingga tidak dibutuhkan penambahan ketebalan dinding.

UCAPAN TERIMAKASIH

Direktur Rumah Sakit Mangusada Kabupaten Badung beserta seluruh civitas manajerial yang telah bekerjasama untuk merealisasikan Layanan Radioterapi di RSD Mangusada Kabupaten Badung Bali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 29 Tahun 2008, *Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir* (Presiden Republik Indonesia, Jakarta, 2008)
- [2] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No. 3 Tahun 2013, *Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Radioterapi* (BAPETEN, Jakarta, 2013)
- [3] V. Yu. Litovchenko, *Modeling of Combination Radiation when Working with Irradiation Source*, AIP Conference Proceedings 2313, (AIP Publishing, PTI, 2020), pp 020010-1 – 020010-6.
- [4] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) Report No. 151, *Structural shielding design and evaluation for megavoltage x- and gamma-ray radiotherapy facilities : recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP, Woodmont Avenue, Suite 400/Bethesda, 2005)
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA) Safety Reports Series No. 47, *Radiation Protection In The Design Of Radiotherapy Facilities*, (IAEA, Viena, 2006)
- [6] SagiNova, *High Dose Rate Brachytherapy for C0-60 and Ir-192*, (SagiNova, Jakarta, 2021)

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

Beton dengan massa jenis : 2,35 gr/cm³ jenis beton apa? Tebal beton relatif besar perbedaan hasil hitungan dan hasil rancangan. Apakah sudah optimal ditinjau dari sisi keselamatan dan ekonomi. Mohon penjelasan.

Jawaban

Beton dengan densitas 2.35 gr/cm³ jika ditinjau dari istilah yang sering dipakai pada bidang teknik sipil hampir setara dengan kualitas beton K500.

Dari aspek keamanan radiasi, sampel beton dari kontraktor ini harus diuji pada lembaga uji terakreditasi agar densitas beton tersebut dapat tercapai. Selain itu, hasil perhitungan ketebalan dinding biasanya kita tambahkan ketebalan sebanyak 2 HVL beton dan dinding yang akan dibangun (desuai denah) sudah lebih tebal dari hasil akhir perhitungan sehingga dari perhitungan sudah aman dari bahaya radiasi. Dari segi konstruksi, bangunan ini merupakan bangunan khusus dengan bekisting yang harus kuat pula, sehingga aman jika terjadi gempa bumi.

Dari aspek ekonomi juga sudah kita perhitungkan dengan membuat perhitungan berdasarkan beban kerja pesawat berdasarkan jumlah pasien yang direncanakan di instalasi radioterapi setiap minggunya, bukan berdasarkan laju dosis tertinggi yang mungkin hasil perhitungannya lebih besar sehingga membutuhkan cost yang lebih tinggi.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



KAJIAN DOSIS EFEKTIF PEKERJA RADIASI BERDASARKAN PROFESI DI RUMAH SAKIT

Rini Anggraeni^{1,a)}, Irma D. Rahayu^{1,b)}, Egnés Ekaranti^{2,c)}

¹Direktorat Pengelolaan Laboratorium Fasilitas Riset dan Kawasan Sains dan Teknologi, BRIN, Jakarta

²Pusat Riset Teknologi Keselamatan Metrologi dan Mutu Nuklir, BRIN, Serpong

^{a)}rini.anggraeni@brin.go.id

^{b)}irma.dwi.rahayu@brin.go.id

^{c)}egnes.ekaranti@brin.go.id

Abstrak. Telah dilakukan kajian terhadap dosis pekerja radiasi medis di sebuah Rumah Sakit berdasarkan profesi. Beragamnya prosedur dan tindakan yang dilakukan dengan radiasi pengion membuat tingginya jumlah pekerja radiasi medis di Indonesia. Seperti pada salah satu Rumah Sakit rujukan terbesar di salah satu provinsi di Indonesia. Instalasi Radiologi di RS ini memiliki divisi cathlab, ESWL, radiologi diagnostik, kedokteran nuklir, radioterapi serta instalasi bedah. Masing-masing pekerja radiasi medis ini memiliki keahlian dan tanggung jawab berbeda sesuai dengan bidang pendidikan dan diklasifikasikan berdasarkan profesinya. Dengan adanya perbedaan tugas sesuai profesinya maka terdapat kemungkinan perbedaan penerimaan dosis efektif. Pada kajian ini akan diketahui penerimaan dosis efektif dari masing-masing profesi jika dilihat dari divisi dan dibandingkan dengan keseluruhan instalasi. Setiap tahunnya seluruh pekerja radiasi ini dilakukan pemantauan dosis efektif dengan menggunakan dosimeter termoluminisensi jenis CaSo₄:Dy yang umumnya diletakkan di dada sedangkan bagi pekerja di divisi radiologi intervensional (cathlab dan ESWL) meletakkan dosimeter di bawah apron di area dada. Jumlah sampel yang digunakan dalam kajian ini sebanyak 641 orang dengan 58,5% diantaranya merupakan laki-laki dan 41,5% sisanya merupakan perempuan. Rata-rata penerimaan dosis efektif tahunan yang diterima oleh profesi dokter, radiografer, perawat, fisikawan medis dan radiofarmasis adalah sebesar 0,16 mSv, 0,16 mSv, 0,16 mSv, 0,17 mSv dan 0,24 mSv dengan rentang penerimaan dosis efektif tertinggi adalah oleh perawat dan dokter dengan nilai 3,27 mSv dan 2,48 mSv. Oleh karena itu, rata-rata penerimaan nilai dosis efektif dari berbagai profesi yang ada di Instalasi Radiologi RS ini menurut ICRP dan BAPETEN masih berada di bawah ambang batas. Dan dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem keselamatan yang ada sudah cukup baik.

Kata Kunci: profesi, dosis efektif, divisi

PENDAHULUAN

International Commission and Radiation Protection (ICRP) atau Komite Proteksi Radiasi Internasional telah memberikan panduan mengenai proteksi radiasi untuk radiasi pengion salah satunya adalah penerapan nilai batas dosis untuk pekerja radiasi medis. Pada publikasi ICRP 103 merekomendasikan pada setiap tindakan yang membutuhkan penggunaan radiasi haruslah dengan prinsip paparan radiasi diusahakan pada tingkat serendah mungkin (*as low as reasonable achievable* "ALARA") [1]. Di Indonesia, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten) melalui peraturan kepala Bapeten no. 4 tahun 2013 telah menentukan nilai batas dosis dari pekerja radiasi untuk dosis efektif rata-rata sebesar 20 mSv per tahun dalam periode 5 tahun sehingga dosis yang terakumulasi dalam 5 tahun tidak boleh melebihi 100 mSv dengan dosis efektif sebesar 50 mSv dalam 1 tahun tertentu [2]. Kedua ketentuan di atas telah membatasi penerimaan dosis efektif pekerja radiasi tiap tahunnya.

Banyaknya jumlah fasilitas pelayanan kesehatan dan populasi masyarakat saat ini meningkatkan penggunaan radionuklida dan pembangkit radiasi pengion sebagai salah satu pilihan tindakan diagnosa dan terapi di bidang kesehatan. Radionuklida dan pembangkit radiasi pengion yang digunakan di bidang kesehatan memberikan paparan radiasi kepada pasien dan juga pekerja radiasi yang melakukan prosedur pemeriksaan. Umumnya, paparan radiasi dari radiasi pengion medis dengan tujuan diagnosa menghasilkan paparan dari radiasi dengan energi rendah bila dibandingkan paparan radiasi pengion untuk terapi. Paparan yang diterima para pekerja radiasi medis adalah paparan kerja. Paparan kerja adalah paparan radiasi dari sumber radiasi buatan manusia ataupun alam yang diterima saat bekerja dikecualikan paparan yang diterima akibat prosedur medis. Penerimaan paparan kerja untuk pekerja radiasi telah diatur oleh peraturan yang telah disebutkan di paragraf sebelumnya.

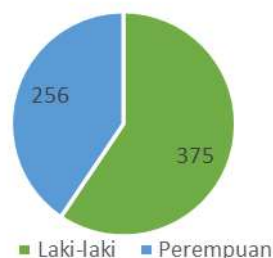
Pada satu Instalasi Radiologi biasanya terdiri dari divisi atau departemen berbeda yang disesuaikan dengan prosedur pemeriksaan yang dilakukan. Seperti yang ada pada salah satu Rumah Sakit rujukan di salah satu daerah pulau Jawa ini, instalasi Radiologi di RS ini memiliki beberapa divisi seperti cathlab (CL), ESWL, radiodiagnostik (RD), kedokteran nuklir (KN), radioterapi (RT), serta instalasi bedah (IB). Adanya divisi yang berbeda menunjukkan berbedanya prosedur yang dilakukan serta profesi tenaga kesehatan yang terlibat pada prosedur tersebut. Pada kegiatan radiologi intervensional misalnya, profesi yang dapat terlibat adalah dokter, perawat dan radiografer. Masing-masing profesi melakukan kegiatan yang berbeda dalam setiap prosedur yang berpengaruh dalam penerimaan dosis efektifnya. Oleh karena itu, adanya kemungkinan penerimaan dosis efektif berbeda pada profesi yang ada pada Instalasi Radiologi, maka pada kajian ini akan dibahas penerimaan dosis efektif pekerja radiasi medis di salah satu Rumah Sakit rujukan di Pulau Jawa. Dengan adanya kajian ini akan diketahui perbedaan penerimaan dosis efektif pada setiap profesi serta mengetahui penerimaan dosis efektif tertinggi di antara profesi yang ada di RS tersebut.

METODE

Makalah ini menggunakan data dosis efektif pekerja radiasi di Rumah Sakit rujukan dari periode tahun 2017-2021. Rumah Sakit ini merupakan rumah sakit terbesar di daerah tersebut sehingga dijadikan rujukan selain itu merupakan rumah sakit pendidikan. Pemilihan data dosis efektif pekerja radiasi di Rumah Sakit ini dikarenakan jumlah pegawai yang cenderung tetap dari tahun ke tahunnya sehingga penerimaan dosis efektif dapat dengan mudah ditelusuri selain itu dikarenakan banyaknya modalitas teknologi yang digunakan, sehingga terdapat beragam profesi yang terlibat pada prosedur pemeriksaan serta tingginya beban kerja saat menggunakan sumber radiasi di Rumah Sakit. Para pekerja ini menggunakan alat pemantau dosimeter $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$. Alat pemantau dosimeter $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ terbuat dari kalsium sulfat disprosium. Ukuran dari alat pemantau dosis ini 52,5 mm x 30 mm x 1 mm dengan Filter Cu, Al dan plastik. Termoluminisensi $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ini memiliki rentang pengukuran 1 μGy -10³ Gy. Proses evaluasi pembacaan dosis termoluminisensi dengan TLD *Badge Reader* TL 1010 buatan Nuclenonix. Pengujian terhadap proses evaluasi dosis dilakukan dengan metode yang telah diakreditasi ISO-17025. Alat pemantau dosis digunakan selama 3 bulan. Alat pemantau dosis hanya digunakan saat bekerja aktif dengan radiasi. Alat pemantau diletakkan di dada sedangkan pekerja yang melakukan prosedur radiologi intervensional meletakkan alat pemantau dosis di bawah apron. Pada masing-masing alat pemantauan dosis yang digunakan pekerja radiasi tercantum nama, kode khusus pegawai dan periode pemakaian. Saat dilakukan evaluasi dosis, proses identifikasi alat pemantau dosis dilakukan identifikasi berdasarkan divisi dan profesi dari masing-masing pekerja radiasi. Karena makalah ini hanya fokus membahas dosis efektif berdasarkan profesi maka identifikasi yang dilakukan khusus hanya berdasarkan profesi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan pengkajian dosis untuk Rumah Sakit rujukan di salah satu daerah di Pulau Jawa yang melakukan pemantauan dosis efektif di laboratorium dosimeter PTKMR-BATAN. Jumlah sampel yang digunakan untuk kajian ini adalah sebanyak 641 pekerja radiasi, 58,5% diantaranya merupakan laki-laki dan 41,5% sisanya merupakan perempuan. Diagram perbandingan jumlah laki-laki dan perempuan dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah.



GAMBAR 1. Perbandingan Jumlah Pekerja

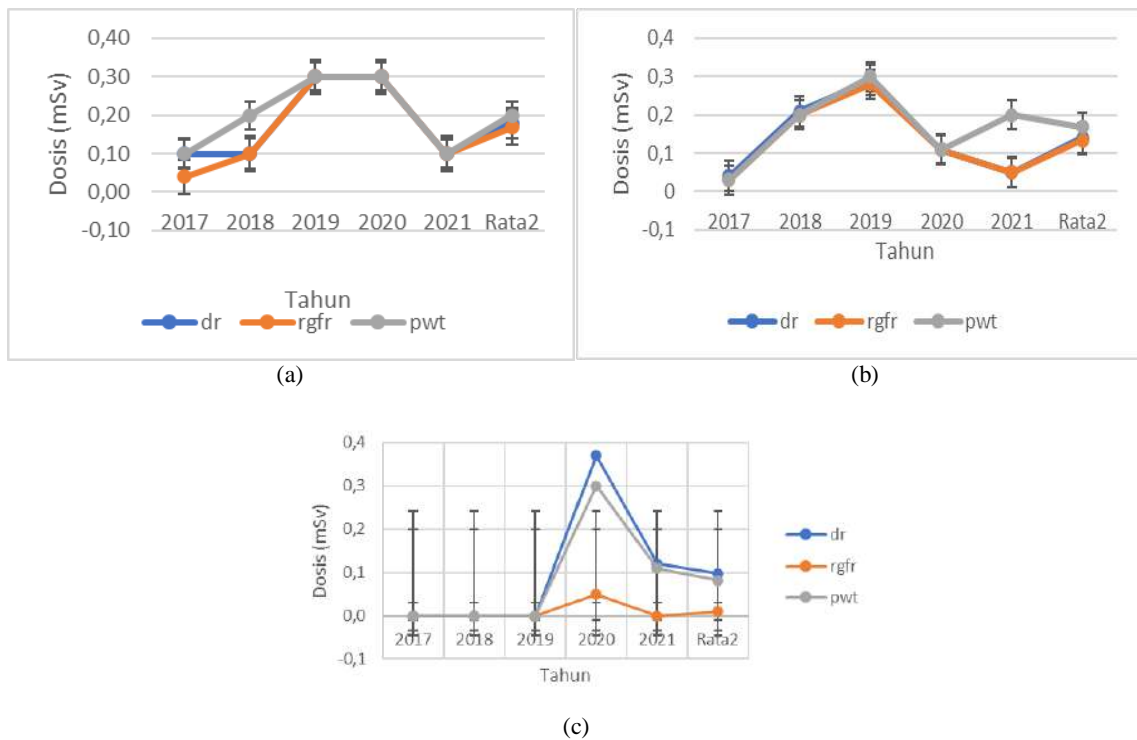
Pada Tabel 1 di atas dapat terlihat berbagai profesi yang ada di berbagai divisi di instalasi radiologi RS. Profesi yang ada merupakan dokter, radiografer, perawat, fisikawan medis dan radiofarmasis. Berdasarkan data keseluruhan, dosis yang dihitung adalah untuk 49 dokter, 100 radiografer, 46 perawat, 8 fisikawan medis dan 1 radiofarmasis di seluruh instalasi radiologi.

Pada Gambar 2 diperlihatkan data dosis efektif yang ada di divisi cathlab, ESWL, dan Instalasi Bedah (IB). Pada ketiga divisi ini hanya terdapat 3 profesi yaitu dokter, radiografer dan perawat. Pada divisi cathlab nilai rata-rata untuk dosis dokter dari tahun 2017-2021 sebesar 0,18 mSv, radiografer sebesar 0,15 mSv dan perawat sebesar 0,19 mSv sedangkan untuk divisi ESWL rata-rata untuk dosis dokter pada tahun 2017-2021 adalah 0,14 mSv, radiografer sebesar 0,13 mSv dan 0,16 mSv untuk perawat. Pada divisi Instalasi Bedah nilai rata-rata dosis

efektif untuk dokter pada tahun 2020-2021 adalah 0,25 mSv, radiografer sebesar 0,03 mSv dan perawat 0,21 mSv. Pada divisi Cathlab dan ESWL, perawat memiliki nilai dosis tertinggi kemudian dokter sedangkan untuk divisi Instalasi Bedah dokter memiliki dosis tertinggi kemudian dokter. Data dosis efektif tertinggi untuk perawat berada di divisi ESWL dengan dosis sebesar 1,59 mSv (> dosis operasional 1,25 mSv). Pada saat pemeriksaan pada ketiga divisi ini kedua profesi tersebut yang aktif mengoperasikan pesawat sinar-x, sehingga berada lebih dekat dan lebih lama dengan sumber radiasi pengion sehingga penerimaan dosis efektif yang lebih besar dibandingkan dengan radiografer yang hanya mendampingi.

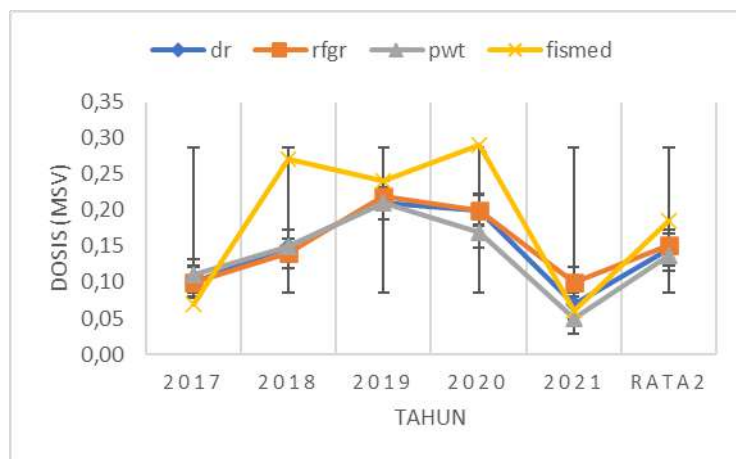
Tabel 1. Jumlah Profesi di RS Berdasarkan Profesi

Divisi	Profesi	Tahun				
		2017	2018	2019	2020	2021
CL	Dokter	8	12	12	12	12
	Radiografer	6	3	4	4	5
	Perawat	2	10	10	9	10
RD	Dokter	10	9	12	9	11
	Radiografer	24	24	28	29	38
	Perawat	3	2	2	2	2
	Fismed	1	1	1	1	1
KN	Dokter	1	1	1	2	2
	Radiografer	1	4	1	1	1
	Perawat	4	4	7	7	7
	Radiofarmasis			1	1	1
RT	Dokter	4	3	4	5	4
	Radiografer	12	14	22	22	22
	Perawat	1	6	4	3	3
	Fismed	3	9	7	7	6
ESWL	Dokter	7	4	3	3	
	Radiografer	1	1	1	1	
	Perawat	3	4	5	4	
IB	Dokter				15	20
	Radiografer				1	9
	Perawat				9	13
Total		91	111	125	147	167
Total Pekerja Instalasi						641



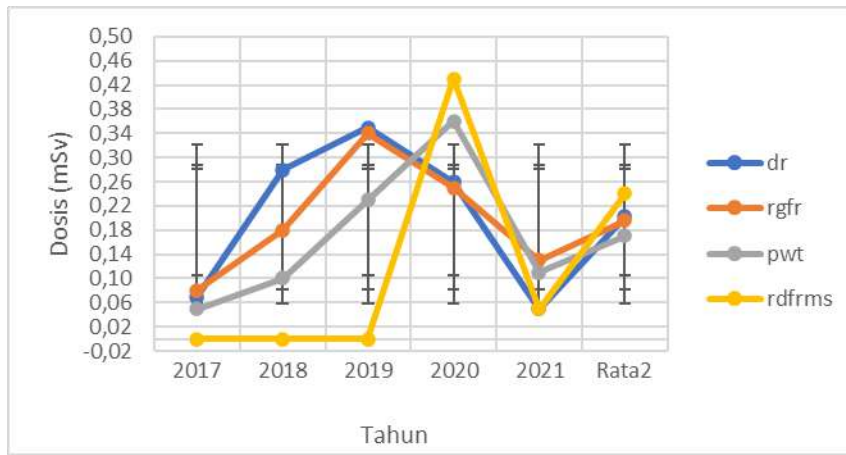
Gambar 2. Dosis Efektif (a) Divisi CL (b) Divisi ESWL (c) Divisi IB

Berbeda dengan divisi cathlab dan ESWL yang hanya ada 3 profesi, pada divisi radiodiagnostik terdapat profesi dokter, radiografer, perawat dan fisikawan medis dan data tersebut diperlihatkan pada Gambar 3. Rata-rata dosis efektif untuk profesi dokter dan radiografer adalah 0,15 mSv, kemudian fisikawan medis 0,19 mSv dan perawat 0,14 mSv. Sehingga sebaran data tidak terlalu berbeda. Rentang dosis untuk divisi radiodiagnostik tidak ada yang melebihi dosis operasional (<1,25 mSv).

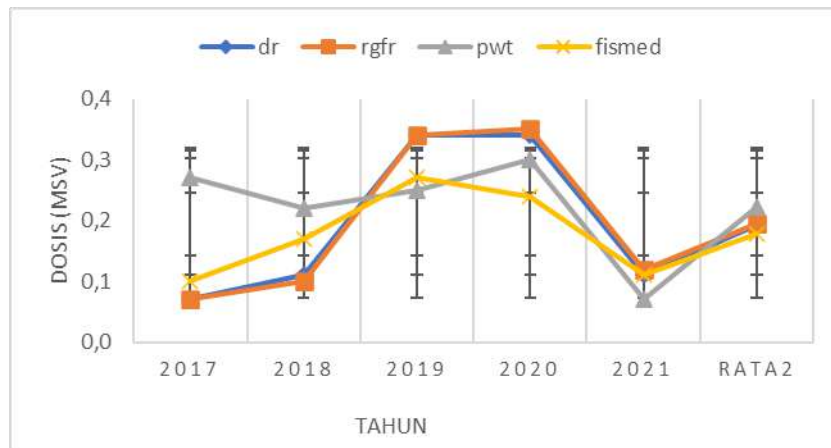


GAMBAR 3. Dosis Efektif Divisi Radiodiagnostik

Divisi yang terakhir yang akan dibahas merupakan divisi yang menggunakan radiasi dengan energi yang lebih tinggi dibandingkan 4 divisi sebelumnya. Pada Gambar 4 dan 5 diperlihatkan dosis dari masing-masing profesi. Pada divisi kedokteran nuklir terdapat profesi dokter, radiografer, perawat dan radiofarmasis. Profesi radiofarmasis khusus hanya ada di divisi kedokteran nuklir. Kemudian, pada divisi radioterapi terdapat profesi dokter, radiografer, perawat dan fisikawan medis. Rata-rata untuk dosis efektif seluruh profesi di divisi kedokteran nuklir adalah 0,20 mSv. Sedangkan rentang tertinggi dimiliki profesi perawat sebesar 3,27 mSv diikuti radiografer sebesar 1,12 mSv. Kedua profesi ini merupakan profesi yang memiliki kontak lebih lama saat melakukan prosedur. Untuk divisi radioterapi, rata-rata dosis efektif dokter sebesar 0,19 mSv, radiografer 0,20 mSv, perawat sebesar 0,22 mSv dan fisikawan medis sebesar 0,18 mSv. Untuk rentang keseluruhan profesi juga masih di bawah 1 mSv dan dapat dikategorikan masih aman.

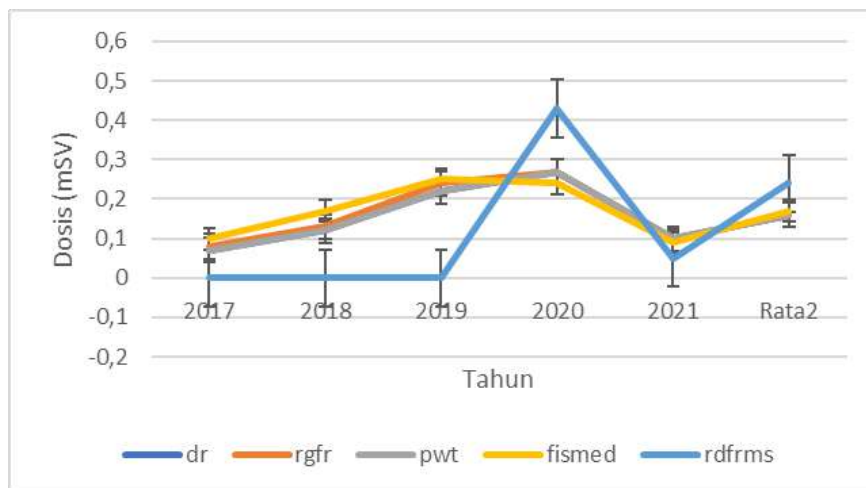


GAMBAR 4. Dosis Efektif Divisi Kedokteran Nuklir



GAMBAR 5. Dosis Efektif Divisi Radioterapi

Pada Gambar 6 merupakan penerimaan dosis efektif seluruh divisi jika dilihat dari berbagai profesi dari tahun 2017-2021. Nilai rata-rata untuk seluruh profesi berada di bawah 0,50 mSv. Sehingga dapat dikatakan untuk seluruh profesi di seluruh divisi tidak ada yang melebihi dosis operasional (0-1,25 mSv).



GAMBAR 6. Dosis Efektif Profesi tahun 2017-2021

Pada Tabel 2 ditunjukkan penerimaan rata-rata dosis dari seluruh profesi yang ada di Instalasi Radiologi. Pada Tabel 2 penerimaan keseluruhan dosis efektif semua profesi masih dalam kategori aman dan dibawah dosis operasional. Akan tetapi, pada profesi perawat dan dokter masih terdapat dosis yang melebihi dosis operasional. Terlihat data di Tabel 2 ini sesuai dengan penjelasan pada Gambar 4 bahwa penerimaan dosis tertinggi oleh perawat yang berada di divisi kedokteran nuklir kemudian dokter. Dosis terendah dimiliki oleh radiofarmasis dan fisikawan medis. Mayoritas (99,38%) seluruh profesi memiliki dosis kurang dari dosis operasional (<1,25 mSv).

Tabel 2. Dosis Profesi di RS Berdasarkan Profesi

Profesi	Dosis Efektif	
	Rata-rata (mSv)	Standar Deviasi
Dokter	0,16 (0-1,48)	0,085
Radiografer	0,16 (0-1,12)	0,086
Perawat	0,16 (0-3,27)	0,085
Fisikawan Medis	0,17 (0-0,52)	0,075
Radiofarmasis	0,24 (0-0,43)	0,269

Untuk menghindari penerimaan dosis efektif yang cukup tinggi bagi profesi perawat dan dokter di divisi cathlab, ESWL dan instalasi bedah sebaiknya disiapkan sistem keselamatan yang lebih baik terutama saat melakukan prosedur. Sistem keselamatan dapat berupa kelengkapan pemakaian alat pelindung diri seperti apron seluruh tubuh dan apron tiroid, kesesuaian ketebalan apron menurut perka bapeten nomor 4 tahun 2020 tentang keselamatan radiasi pada penggunaan pesawat sinar-x dan intervensional serta penggunaan alat pemantau dosis pada mata.

Khusus untuk divisi kedokteran nuklir yang juga memiliki penerimaan dosis tinggi untuk perawat dan radiografer dapat dilakukan pemantauan paparan daerah kerja secara rutin dan terjadwal, tes kebocoran zat radioaktif, monitoring kontaminasi area, kelengkapan pemakaian alat pelindung diri serta pengecekan kemungkinan kontaminasi personil saat keluar dari area radiasi. Selain itu, selalu menerapkan prinsip proteksi radiasi interna dimana potensi bahaya yang ada di divisi ini tidak hanya radiasi eksterna. Penambahan alat pemantau dosis di jari juga dapat diberikan untuk pegawai di divisi ini.

Terakhir, mengingat tingginya aktivitas penggunaan sumber radiasi di instalasi radiologi RS ini maka sebaiknya dilakukan pelatihan proteksi radiasi rutin bagi profesi yang bertugas di instalasi radiologi. Khususnya, bagi profesi perawat dan dokter yang belum tentu pernah mengikuti pelatihan proteksi radiasi.

KESIMPULAN

Dari kajian ini didapatkan rata-rata dosis efektif pekerja radiasi untuk berbagai profesi di instalasi radiologi di salah RS Rujukan di Pulau Jawa. Terdapat 5 profesi yang aktif bekerja di seluruh divisi yaitu dokter, radiografer, perawat, fisikawan medis dan radiofarmasis. Rata-rata nilai dosis efektif adalah sebesar 0,16 mSv, 0,16 mSv, 0,16 mSv, 0,17 dan 0,24 mSv. Untuk rentang penerimaan nilai dosis efektif tertinggi didapatkan profesi perawat dan dokter.

Dari kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penerimaan dosis efektif mayoritas (99,38%) profesi yang merupakan pekerja radiasi medis di instalasi radiologi masih berada pada level operasional dan tidak perlu dilakukan investigasi. Penerimaan dosis yang diterima mayoritas pekerja radiasi juga masih di bawah nilai batas dosis yang direkomendasikan oleh Bapeten dan ICRP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Manajer dan Pelaksana Laboratorium Proteksi dan Keselamatan Radiasi DPL, BRIN Jakarta karena telah menyediakan data dosis efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ICRP Publication 103: Recommendations of The ICRP (Elsevier,Amsterdam,2007).
- [2] Bapeten,Peraturan kepala Bapeten No. 4 Tahun 2013 Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir (Jakarta,2013).
- [3] BAPETEN,Peraturan kepala Bapeten No. 2 Tahun 2003 tentang Sistem Pelayanan Pemantauan Dosis Eksterna Perorangan (Jakarta,2003).
- [4] BAPETEN, Peraturan kepala Bapeten No.4 tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat Sinar-x dan Intervensial (Jakarta,2020).
- [5] Hiswara Eri, Dewi Kartikasari, Nunung Nuraeni ,”Dosis radiasi pekerja dan pasien pada tindakan intervensi di RSUP. Dr. M. Djamil” di Jurnal FK Universitas Andalas Volume 1 (Padang,2020),hal. 39-47.
- [6] IAEA Safety Standards,Occupational Radiation Protection. International Atomic Energy Agency (Wina,2018).
- [7] Nagamoto K, Moritake T, Nakagami K et al, “Occupational radiation dose to the lens of the eye of medical staff who assist in diagnostic CT Scans” in Journal of Heliyon Volume 7 (Japan,2021),pp.55-66.
- [8] Nassef M.H, A.A. Kinsara. Occupational Radiation Dose for Medical Workers at a University Hospital in Journal of Taibah University for Science Volume 11, (Taibah,2017),pp.1259-1266.
- [9] Sahin, A. Tatar, A., Oztas.,et al. “Evaluation of the genotoxic effects of chronic low-dose ionizing radiation exposure on nuclear medicine workers” in Nucl. Med. Biol. 36, (2009),pp. 575-578.

- [10] UNSCEAR. Effects of ionizing radiation volume I. (New York:2008).
- [11] UNSCEAR. Sources effects and risks of ionizing radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes (New York:2016).
- [12] Y. Alashban, N. Shubayr, et al. "Assesment of Radiation dose for dental workers in Saudi Arabia" in Journal of King Saud University- Science Volume 33, (Riyadh:2021), pp. 33-38.
- [13] Y. Alashban, et al. "An assesment of occupational effective dose in several medical departments in Saudi Arabia" in Journal of King Saud University – Science Volume 1, (Riyadh:2021), pp. 1-21.
- [14] Nazaroh, Rofiq Syaifudin, et al. "Study the response of TLD-BARC Against X-Ray and Photon and Algorithm for evaluation of Hp(10)". Prosiding Seminar Nasional APISORA 2018, (Jakarta,2018), pp. 156-162.
- [15] N. Nuraeni, D. Kartikasari, et al. Thermoluminescence characteristic of CaSO₄:Dy on β and γ radiation in Journal of Physics:Conference Series. (Jakarta:2019), pp. 1-6.

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

Apakah yang menyebabkan dosis rata-rata yang diterima radiofarmasis lebih tinggi dari pada pekerja radiasi lain?

Jawaban

Untuk mengetahui secara pasti penyebab dosis rata-rata yang diterima radiofarmasis lebih tinggi dari pekerja radiasi lain di divisi kedokteran nuklir tentunya sebaiknya dilakukan investigasi dulu. tetapi, beberapa kemungkinannya karena radiofarmasis memiliki kontak lebih lama dengan sumber radiasi. penyebab terjadinya kontak ini juga dapat ditelusuri apakah karena kurangnya penerapan keselamatan atau laboratorium yang sistem keselamatannya kurang baik.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



KAJIAN PELAKSANAAN PENGUJIAN KEBOCORAN ZAT RADIOAKTIF DENGAN METODE UJI USAP DI INDONESIA

Egnes Ekaranti^{1, a)}, Irma Dwi Rahayu^{2, b)}, Rini Anggraeni^{2, c)}

¹ Pusat Riset Teknologi Keselamatan Metrologi dan Mutu Nuklir, BRIN, Serpong

² Direktorat Pengelolaan Laboratorium Fasilitas Riset dan Kawasan Sains dan Teknologi, BRIN, Jakarta

^{a)}egnes.ekaranti@brin.go.id

^{b)}irma.dwi.rahayu@brin.go.id

^{c)}rini.anggraeni@brin.go.id

Abstrak. Telah dilakukan kajian pelaksanaan pengujian kebocoran zat radioaktif dengan metode uji usap di Indonesia menggunakan data hasil pengujian yang diperoleh dari Laboratorium Penguji selama periode tahun 2015 – 2021, wawancara dengan personil pelaksana laboratorium penguji dan pengamatan langsung yang selanjutnya data dianalisis dan dibahas secara deskriptif. Hasil kajian menunjukkan bahwa pengujian kebocoran zat radioaktif secara berkala sangat diperlukan untuk mengetahui adanya kebocoran zat radioaktif agar terhindar dari kontaminasi eksternal atau internal pada pekerja sehingga tercipta keselamatan bagi pekerja, lingkungan dan masyarakat umum. Walaupun terjadi peningkatan jumlah pengujian kebocoran setiap tahun tetapi masih banyak pemilik zat radioaktif yang belum melakukan pengujian kebocoran zat radioaktif secara berkala. Terdapat hasil pengujian yang melebihi batas ketentuan 185 Bq seperti yang tercantum pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 dan 6 tahun 2009, dan Nomor 8 tahun 2014. Beberapa instansi pemilik zat radioaktif belum mengetahui prosedur uji usap yang benar. Kesalahan dalam prosedur uji usap akan mempengaruhi hasil analisis. Perlu adanya peran dari BAPETEN sebagai badan pengawas ketenaganukliran di Indonesia dalam pemenuhan ketentuan pengujian kebocoran zat radioaktif secara berkala pada kegiatan *well logging*, *gauging*, dan radiografi industri termasuk tindakan bagi instansi pemilik zat radioaktif yang pengujiannya melebihi batas ketentuan dan penyampaian prosedur uji usap yang benar pada PPR. Laboratorium sebaiknya menggunakan referensi standar ISO terbaru dan menambahkan referensi lain agar didapat hasil pengujian yang lebih berkualitas dan terpercaya.

Keywords : zat radioaktif, kebocoran, uji usap

PENDAHULUAN

Pengujian kebocoran zat radioaktif merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ada kebocoran atau perpindahan isi bahan radioaktif dari sumber radioaktif tertutup ke lingkungan [1]. Pengujian kebocoran ini dilakukan untuk mendeteksi degradasi dari sumber dan hilangnya kurungan atau penahan sumber radioaktif. Pengujian dilakukan untuk mengurangi potensi bahaya yang diakibatkan dari kebocoran sumber radioaktif yang dapat menimbulkan kontaminasi internal dan paparan berlebih pada pekerja radiasi atau masyarakat umum[2]. Pengujian kebocoran zat radioaktif merupakan salah satu persyaratan keselamatan radiasi dalam penggunaan zat radioaktif untuk *well logging*, peralatan *gauging*, dan peralatan radiografi industri yang diwajibkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagaimana tercantum pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Zat Radioaktif untuk *well logging*, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Zat Radioaktif dan pesawat sinar X untuk peralatan *gauging* dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2014 Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 7 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri [3], [4], [5].

Sumber radioaktif terbungkus digunakan pada berbagai jenis kegiatan seperti industri minyak dan gas, manufaktur, tenaga nuklir, kedokteran, penelitian, dan institusi akademik. Zat radioaktif tertutup dibuat menjadi perangkat dengan berbagai ukuran fisik dan tingkat aktivitas. Zat radioaktif tertutup digunakan pada detektor asap rumah tangga, peralatan inspeksi, industri *gauging*, kamera radiografi industri, sumber *well logging*, hingga iradiator dan perangkat teleterapi medis [6].

Terdapat beberapa metode untuk pengujian kebocoran zat radioaktif yaitu uji rendam, uji lepasan gas, uji usap, uji helium, uji gelembung, dan uji tekan air [1]. Metode pengujian kebocoran zat radioaktif yang digunakan bergantung pada design, tujuan penggunaan zat radioaktif dan peraturan setempat yang berlaku [7]. Uji usap merupakan salah satu metode pengujian kebocoran zat radioaktif tertutup tetapi uji usap tidak dianggap sebagai uji kebocoran, kecuali untuk jenis sumber tertentu (misalnya sumber-sumber dengan jendela tipis) dan untuk inspeksi berkala dan pada kasus dimana tidak ada uji lain yang lebih cocok. Uji usap terdiri atas uji usap basah dan uji usap kering [1]. Di Indonesia, uji usap digunakan sebagai verifikasi keselamatan zat radioaktif secara berkala. Pengujian kebocoran untuk *well logging* dan pada peralatan radiografi industri dilakukan paling kurang sekali dalam 6 (enam) bulan [3], [5] dan dilakukan paling kurang sekali dalam 2 (dua) tahun untuk peralatan *gauging* dengan zat radioaktif aktivitas tinggi [4]. Apabila hasil pengujian melebihi 185 Bq (seratus delapanpuluh lima Becquerel) atau 5 nCi (lima nano Curie), maka terjadi kontaminasi dan zat radioaktif dilarang digunakan seperti yang tercantum pada Peraturan Kepala Bapeten Nomor 5 tahun 2009, Peraturan Kepala Bapeten Nomor 6 tahun 2009 dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2014 [3], [4], [5].

Uji usap merupakan pengujian tidak langsung (*indirect method*) untuk pengukuran kontaminasi permukaan dan salah satu metode untuk mengetahui kebocoran pada permukaan sumber radiasi tertutup/terbungkus. Metode uji usap memiliki kelebihan yaitu dilakukan dengan prosedur yang sederhana dan berbiaya rendah tetapi uji usap juga memiliki kekurangan yaitu hanya dapat digunakan pada jenis kontaminasi tak lekat (*removable contamination*) sehingga tidak dapat digunakan pada kontaminasi lekat (*fixed contamination*) [8] [9]. Pengujian kebocoran dengan uji usap harus dilakukan dengan prosedur yang jelas dan benar dan disampaikan kepada laboratorium pengujian sesuai ketentuan pihak laboratorium, jika tidak maka laboratorium tidak dapat memberikan hasil yang berarti kepada pelanggan [10]. Pada standar pengujian yang terbaru yaitu *ISO 9978:2020 Radiation protection — Sealed sources — Leakage test methods* telah ditambahkan informasi referensi untuk metode uji usap mengacu pada *ISO 7503-2:2016* dan klarifikasi bahwa kriteria penerimaan adalah mutlak tanpa adanya koreksi terhadap efisiensi pengusapan. Pada *ISO 9978:2020* juga ditambahkan persyaratan untuk personel yang melakukan pengujian kebocoran harus terlatih dan terqualifikasi sesuai dengan *ISO 9712:2021* [11] [12] [13].

Uji usap sebagai salah satu metode pengujian kebocoran pada sumber radioaktif tertutup secara berkala memiliki sangat penting untuk dilakukan karena adanya kebocoran pada permukaan sumber radioaktif tertutup sangat dapat menyebabkan kontaminasi eksterna dan interna pada pekerja dan bahkan dapat meluas ke area kerja, lingkungan bahkan masyarakat umum. Perlu adanya pengawasan dan pembinaan dalam praktek pengujian kebocoran zat radioaktif berkala di Indonesia dan tindakan yang sesuai apabila hasil pengujian kebocoran melebihi batas ketentuan.

Berdasarkan data dari Komisi pengawasan nuklir Amerika Serikat *US NRC (Nuclear Regulatory Commission)* pada tahun 2009 terjadi kontaminasi akibat kerusakan sumber radioaktif tertutup selama pembongkaran *gauge* dan perawatan non-rutin yang menyebabkan pekerja terkena kontaminasi interna hingga 0,15 mSv sumber Sr-90 dan Cs-137 dan penyebaran kontaminasi. Penyebabnya yaitu kesalahan prosedur dan penuaan sumber radioaktif dan peralatan *gauge* [5]. Dengan adanya pengujian berkala, kebocoran sumber radioaktif tertutup dapat diidentifikasi dan ditindaklanjuti. Penggunaan jenis radioaktif dengan aktivitas cukup besar pada kegiatan radiografi industri menyebabkan pekerja radiasi sering mendapatkan dosis berlebih [2] [14]. Pengecekan kebocoran sumber radioaktif berkala sangat membantu untuk mendeteksi adanya kebocoran atau kontaminasi sehingga pekerja tidak mendapatkan dosis berlebih baik eksterna ataupun interna.

Pada makalah ini dibahas mengenai kajian pelaksanaan pengujian kebocoran sumber radioaktif dengan metode uji usap pada berbagai kegiatan, pemenuhan terhadap peraturan yang berlaku di Indonesia, dan tinjauan dari sisi aspek keselamatan. Kajian ini dapat dijadikan acuan bagi BAPETEN sebagai badan regulasi ketenaganukliran di Indonesia untuk penegakan peraturan, sebagai masukan untuk laboratorium pengujian untuk meningkatkan kualitas pengujian, dan praktisi pengguna zat radioaktif seperti PPR dan pemegang izin demi terciptanya keselamatan para pekerja radiasi dan masyarakat umum.

METODOLOGI

Kajian pelaksanaan pengujian kebocoran zat radioaktif dengan metode uji usap di Indonesia ini menggunakan data hasil pengujian tingkat kontaminasi zat radioaktif Laboratorium Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BRIN selama periode tahun 2015 – 2021, wawancara dengan dengan personel pelaksana dan pengamatan secara langsung saat kegiatan pengujian di laboratorium pengujian yang selanjutnya data dianalisis dan dibahas secara deskriptif.

Uji usap dilakukan dengan mengusap permukaan dan kontener sumber zat radioaktif dengan kertas usap/kapas/*cotton buds* secara merata dengan tekanan yang sama baik secara kering dan/atau basah oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR) dari instansi pemilik zat radioaktif itu sendiri, PPR laboratorium pengujian atau PPR pihak lain yang berkompetensi untuk melakukan uji usap zat radioaktif. Sampel uji usap berupa kertas usap/kapas/*cotton buds* kemudian dianalisis menggunakan menggunakan alat cacah latar rendah/*Low Background Counter* (LBC Canberra S5XLB) untuk sumber radioaktif pemancar alfa atau beta dan spektrometer gamma (HPGe Ortec GEM-64) untuk sumber radioaktif pemancar gamma. Sampel direndam sampel minimal 15 jam dengan HNO_3 1% kemudian dikeringkan untuk pemancar alfa dan beta sedangkan untuk pemancar gamma ditambahkan dengan akuades sebelum diukur pada alat cacah. Selanjutnya dihitung tingkat kontaminasi/nilai aktivitas pada sampel uji usap, ketidakpastian pengukuran, dan aktivitas minimum terdeteksi

(MDA, *minimum detectable activity*) pada tingkat kepercayaan 95% [15], [16]. Metode pengujian Kebocoran zat radioaktif dengan metode uji usap mengacu pada ISO 9978.2 : 1992 *Radiation protection – Sealed radioactive sources – Leakage test methods* yang diadopsi menjadi SNI 18-6650.2-2002 tentang Proteksi radiasi - Sumber radioaktif tertutup - Metode uji kebocoran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan kajian pelaksanaan pengujian kebocoran sumber radioaktif dengan metode uji usap menggunakan data hasil pengujian yang diperoleh dari Laboratorium Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BRIN tahun 2015 – 2021. Telah dikeluarkan sebanyak 1166 sertifikat/Laporan Hasil Uji untuk sejumlah instansi di berbagai bidang kegiatan seperti yang terlihat pada Tabel 1.

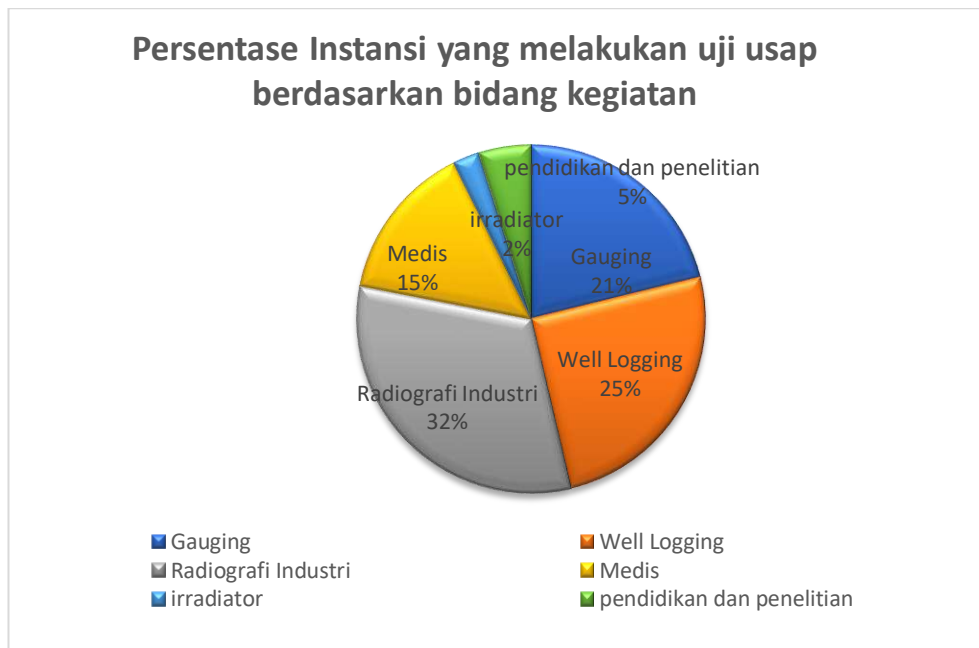
Tabel 1. Jumlah instansi dan jumlah sertifikat/LHU tahun 2015 -2021

Tahun	Jumlah Instansi	Jumlah Sertifikat/LHU
2015	3	37
2016	2	15
2017	9	34
2018	10	40
2019	34	349
2020	33	290
2021	47	401
Total	138	1166
Rata – rata	19,71	166,57
Standar deviasi	17,92	171,67

Pada Gambar 1 menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan jumlah sertifikat/Laporan Hasil Uji dan jumlah instansi yang melakukan analisis sampel uji usap terjadi pada tahun 2019. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya penggunaan zat radioaktif di Indonesia dan semakin efektifnya pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia yang dilakukan oleh BAPETEN melalui sistem inspeksi partisipatif [17]. Pada Gambar 1 juga menunjukkan terjadi penurunan pada tahun berikutnya disebabkan oleh mulai terjadinya pandemi COVID-19 yang mempengaruhi aktivitas pelayanan di laboratorium.



GAMBAR 1. Grafik Jumlah instansi dan Sertifikat/Laporan Uji tahun 2015 - 2021



GAMBAR 2. Persentase Instansi yang melakukan uji usap berdasarkan bidang kegiatan

Instansi yang melakukan pengujian kebocoran zat radioaktif dengan metode uji usap berasal dari berbagai bidang kegiatan antara lain *gauging*, *well logging*, radiografi industri, medis, irradiator serta pendidikan dan penelitian. Pada Gambar 2 menunjukkan persentase instansi yang melakukan uji usap dari berbagai bidang kegiatan. Jenis zat radioaktif yang dilakukan pengujian berupa zat radioaktif pemancar alfa, beta dan gamma antara lain Ir-192, Co-60, Cs-137, Mo-99, AmBe-241, Se-75, Th-232, K-40, Cf-252, Gd-153 Ra-224, dan Kr-85. Instansi yang melakukan analisis sampel uji usapnya pengujian kebocoran yang dilakukan di laboratorium selain untuk memenuhi ketentuan peraturan BAPETEN dalam verifikasi keselamatan penggunaan zat radioaktif, juga dilakukan untuk beberapa persyaratan lain. Pengujian kebocoran dilakukan sebagai persyaratan re-impor zat radioaktif ke negara asal penghasil zat radioaktif dan penggunaan kembali (*reuse*) Zat Radioaktif Terbungkus yang Tidak Digunakan (ZRTTD).

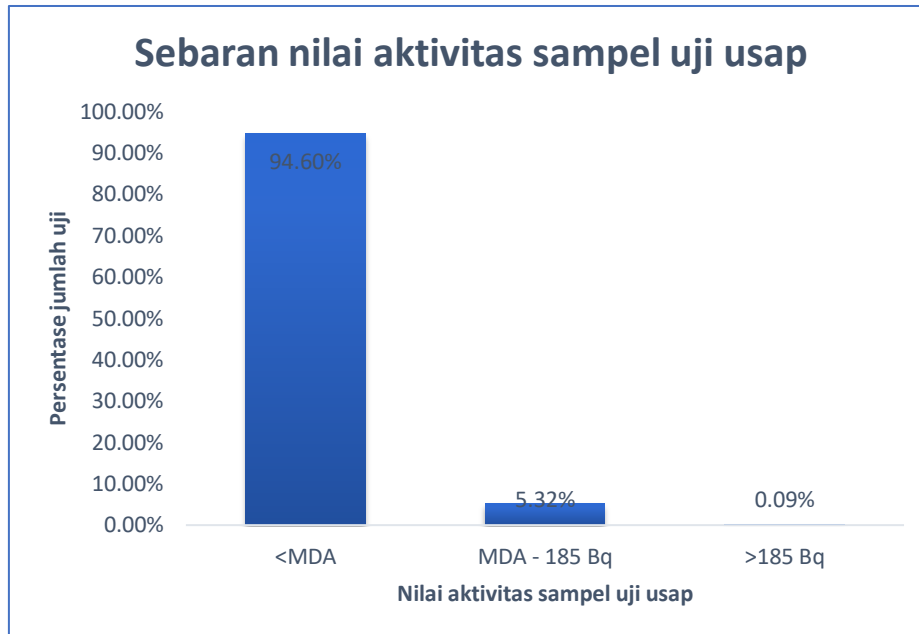
Data yang didapat dari laboratorium pengujian menunjukkan bahwa beberapa instansi melakukan lebih dari satu kali pengujian dalam satu tahun untuk zat radioaktif yang sama ataupun zat radioaktif yang lain yang berbeda batas waktu pengujian. Sesuai dengan peraturan BAPETEN, instansi yang bergerak di bidang *well logging* dan pada peralatan radiografi industri wajib melakukan uji kebocoran setiap 6 (enam) bulan sekali. Sedangkan instansi yang memiliki peralatan *gauging* dengan zat radioaktif aktivitas tinggi wajib melakukannya setiap 2 (dua) tahun sekali. Namun jumlah pengujian yang dilakukan masih dibawah jumlah izin pada kegiatan yang mewajibkan pengujian kebocoran zat radioaktif. Data jumlah izin dari B@LIS Online tahun 2022 menunjukkan jumlah izin untuk kegiatan *well logging* sebanyak 1167 buah, radiografi industri sebanyak 366 buah, fasilitas iradiator sebanyak 10 buah, *gauging* industri dengan zat radioaktif aktivitas tinggi sebanyak 1334 buah dan izin radioterapi sebanyak 58 buah [18]. Berdasarkan jumlah izin untuk kegiatan yang mensyaratkan dilakukan pengujian kebocoran untuk zat radioaktif seperti yang terlihat pada Tabel 2 dan dibandingkan dengan jumlah pengujian kebocoran yang dilakukan oleh laboratorium pengujian setiap tahunnya maka masih banyak instansi yang belum melakukan pengujian kebocoran secara berkala. Hal ini perlu dilakukan tindak lanjut oleh BAPETEN untuk meningkatkan kesadaran pemilik zat radioaktif untuk melaksanakan kewajibannya.

Tabel 2. Jumlah Izin berdasarkan jenis kegiatan berdasarkan B@LIS Online tahun 2022

Jenis Kegiatan	Jumlah Izin
<i>Well logging</i>	1167
Radiografi industri	366
Fasilitas iradiator	10
<i>Gauging</i> industri dengan zat radioaktif aktivitas tinggi	1334
Radioterapi	58
Total	2935

Hasil pengukuran sampel uji usap selama tahun 2015 – 2021 dilihat sebarannya dengan mengelompokkan data menjadi 3 kelompok. Kelompok dengan nilai dibawah aktivitas minimum terdeteksi (*MDA*), nilai antara $MDA - 185 \text{ Bq}$, dan nilai diatas 185 Bq untuk melihat sebaran pemenuhan batas hasil uji sesuai peraturan. Nilai aktivitas minimum terdeteksi (*MDA*) berbeda untuk setiap jenis zat radioaktif dan dilakukan perhitungan pada setiap pengujian kebocoran. Gambar 3 menunjukkan data tingkat kontaminasi atau nilai aktivitas pada sampel

uji usap selama periode 2015 – 2021. Sebanyak 94,60 % nilai aktivitas sampel uji usap berada di bawah aktivitas minimum terdeteksi (*MDA*). Nilai aktivitas sampel uji usap antara *MDA* dan 185 Bq sebanyak 5,32 %. Nilai aktivitas di atas 185 Bq yang artinya tidak memenuhi peraturan uji kebocoran sebesar 0,09 % yaitu sebanyak satu hasil pengujian.



GAMBAR 3. Sebaran hasil pengukuran uji usap

Hasil uji tersebut merupakan pengujian untuk zat radioaktif Cs-137 milik instansi yang bergerak di bidang *well logging* dengan hasil pengukuran sebesar 537,66 Bq. Nilai tersebut cukup tinggi dan menunjukkan kemungkinan adanya kebocoran ataupun kontaminasi pada bungkusan sumber radioaktif. Pihak instansi atau Pemegang Izin harus melakukan investigasi lebih lanjut penyebab melebihi nilai batas yang ditentukan apakah karena kebocoran pembungkus sumber radioaktif tertutup tersebut ataupun faktor lain. Apabila terjadi kebocoran pada sumber radioaktif, maka perlu diperiksa apakah terjadi kontaminasi ke lingkungan/tempat kerja atau kontaminasi eksterna atau interna pada pekerja. Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2009, zat radioaktif dengan hasil pengujian kebocoran diatas 185 Bq dilarang digunakan kembali dan Pemegang Izin harus mengirim zat radioaktif tersebut ke negara asal atau fasilitas pengolahan limbah.

Untuk menghindari kejadian yang tidak diinginkan seperti kecelakaan radiasi, perlu dibuat suatu mekanisme sistem pelaporan dan ketentuan yang jelas yang memungkinkan BAPETEN mengetahui secara cepat hasil uji yang melebihi batas ketentuan. Apabila mengacu pada ketentuan Badan Regulasi Nuklir Amerika Serikat *US NRC*, Pemegang izin harus menyerahkan laporan ke *NRC* dalam kurun waktu lima hari setelah mendapat hasil uji dan wajib melakukan penghentian penggunaan sumber radioaktif yang melebihi 185 Bq. Sumber tersebut harus didekontaminasi, diperbaiki, atau dibuang. Laporan harus menjelaskan peralatan yang mengalami kebocoran, hasil uji, kontaminasi yang terjadi dan tindakan korektif yang dilakukan pemegang izin [19].

Berdasarkan data hasil wawancara pada personil di laboratorium pengujian dan pengamatan secara langsung dalam kegiatan pengujian kebocoran dan analisis sampel, didapat hasil bahwa pihak instansi pemilik zat radioaktif masih banyak yang belum mengetahui prosedur pengusapan zat radioaktif yang benar dan alat/bahan yang digunakan untuk uji usap apabila uji usap dilakukan oleh PPR instansi pemilik zat radioaktif tersebut. Prosedur pengusapan zat radioaktif sangat mempengaruhi hasil analisis sampel uji usap. Berdasarkan ISO 9978:2020, uji usap harus dilakukan oleh personil terlatih dan terqualifikasi. Sebagai Instansi yang mengeluarkan Surat Izin Bekerja untuk PPR, maka BAPETEN harus ikut bertanggung jawab untuk memastikan bahwa PPR yang akan melakukan prosedur uji usap telah terlatih dan terqualifikasi.

Pada Standar Operasi Prosedur dan Laporan Hasil Uji yang telah ditebitkan oleh laboratorium pengujian, laboratorium masih menggunakan standar *ISO 9978.2 : 1992 Radiation protection – Sealed radioactive sources – Leakage test methods* yang diadopsi menjadi SNI 18-6650.2-2002 tentang Proteksi radiasi - Sumber radioaktif tertutup - Metode uji kebocoran sebagai acuan. Sebaiknya pihak laboratorium menggunakan acuan standar terbaru yaitu *ISO 9978:2020* dan penambahan referensi *ISO 7503-2:2016* untuk penjelasan lebih lengkap tentang prosedur uji usap dan *ISO 9712:2021* untuk penjelasan personil pengujian yang terlatih dan terqualifikasi agar didapat hasil pengujian yang lebih baik dan terpercaya.

KESIMPULAN

Pengujian kebocoran zat radioaktif secara berkala sangat diperlukan untuk mengetahui adanya kebocoran zat radioaktif agar terhindar dari kontaminasi baik eksterna atau interna pada pekerja, sehingga tercipta keselamatan

bagi pekerja, lingkungan dan masyarakat umum. Hasil kajian menunjukkan bahwa walaupun terjadi peningkatan jumlah pengujian kebocoran setiap tahun tetapi masih banyak pemilik zat radioaktif yang belum melakukan pengujian kebocoran zat radioaktif secara berkala. Terdapat hasil pengujian yang melebihi batas ketentuan dan beberapa instansi pemilik zat radioaktif belum mengetahui prosedur uji usap yang benar. Kesalahan dalam prosedur uji usap akan mempengaruhi hasil analisis. Perlu adanya peran dari BAPETEN sebagai badan pengawas ketenaganukliran di Indonesia dalam pemenuhan ketentuan pengujian kebocoran zat radioaktif secara berkala pada kegiatan *well logging*, *gauging*, dan radiografi industri termasuk tindakan bagi instansi pemilik zat radioaktif yang pengujiannya melebihi batas ketentuan dan penyampaian prosedur uji usap yang benar pada PPR. Laboratorium sebaiknya menggunakan referensi standar ISO terbaru dan menambahkan referensi lain agar didapat hasil pengujian yang lebih berkualitas dan terpercaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Manajer dan Pelaksana Laboratorium Proteksi dan Keselamatan Radiasi DPLFRKST - BRIN Jakarta karena telah menyediakan data dan informasi mengenai pengujian kebocoran zat radioaktif dengan metode uji usap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, SNI 18-6650.2-2002 tentang Proteksi radiasi - Sumber radioaktif tertutup - Metode uji kebocoran, (Jakarta, 2002).
- [2] K. H. Pryor, "Radiation Safety of Sealed Radioactive Sources" in *Health Physics*. 108(2) (2015) : 172–177
- [3] Bapeten, Peraturan Kepala Bapeten No. 5 Tahun 2009 Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Zat Radioaktif untuk *well logging* (Jakarta, 2009).
- [4] Bapeten, Peraturan Kepala Bapeten No.6 Tahun 2009 Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Zat Radioaktif dan pesawat sinar X untuk peralatan *gauging* (Jakarta, 2009).
- [5] Bapeten, Peraturan Kepala Bapeten No. 8 Tahun 2014 Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 7 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri (Jakarta, 2014).
- [6] K. H. Pryor, "End of Life Decisions for Sealed Radioactive Sources" in *Health Physics*. 110(2) (2016) : 168–174
- [7] S. Bazzarri, et al. "Leakage tests for ²⁴¹Am solid sources used for liquid xenon detector monitoring." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 560.2 (2006): 640-642.
- [8] K. Amgarou, and M. Herranz, "State-of-the-art and challenges of non-destructive techniques for in-situ radiological characterization of nuclear facilities to be dismantled." *Nuclear Engineering and Technology* 53, no. 11 (2021): 3491-3504.
- [9] S. M. Park, et al, "A Study on Dry and Wet Wipe Test for Radioisotope Leakage Checking." *Journal of the Korean Society of Radiology* 12.3 (2018): 305-312.
- [10] G. W. Wright, "Discussion of challenges encountered during the collection and submission of wipe/leak test samples" in *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 264, No. 2 (2005) 351 – 355
- [11] ISO 9978:2020 Radiation protection — Sealed sources — Leakage test methods
- [12] ISO 7503-2:2016 Measurement of radioactivity - Measurement and evaluation of surface contamination — Part 2: Test method using wipe-test samples.
- [13] ISO 9712:2021 Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel
- [14] E. Ekaranti et al, "*Radiation Dose of Industrial Radiography Workers and Its Safety Aspects in Indonesia*" Nuclear Safety Seminar Proceeding (BAPETEN, Jakarta 2020) pp 88-92 ISSN 1412 -3258
- [15] Badan Riset dan Inovasi Nasional, SOP 002.003/PKR Pengujian Tingkat Kontaminasi Daerah Kerja/Benda Uji (Jakarta, 2022)
- [16] Badan Riset dan Inovasi Nasional, SOP 007.003/KL Analisis Uji Usap Kebocoran Radioaktif (Jakarta, 2022)
- [17] Bapeten, "BAPETEN mulai kembangkan inspeksi partisipatif". Melalui <https://www.bapeten.go.id/berita/bapeten-mulai-kembangkan-inspeksi-partisipatif-152918> (2019) diakses tanggal 11 Juni 2022
- [18] Bapeten, "Jumlah Data Izin Per Kegiatan" melalui <https://balis.bapeten.go.id/portal/web/index.php/sites/ktun-per-kegiatan> (2022) diakses tanggal 14 Juni 2022
- [19] U.S. Nuclear Regulatory Commission. Federal Register. CFR title 10 vol 1 sec 39 – 37 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office 2011).

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

Pada point paling atas terdapat hasil uji 537,66 Bq apakah sudah ditindaklanjuti oleh Bapeten?

Jawaban

Sejauh ini, penulis tidak mempunyai informasi apakah hasil uji tersebut sudah ditindaklanjuti oleh Bapeten atau belum. Pihak Laboratorium hanya menyampaikan Laporan Uji kepada pelanggan/pemilik sumber radioaktif dan yang melaporkan kepada Bapeten adalah pemilik sumber radioaktif.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



UNNECESSARY MEDICAL EXPOSURES IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY: A GUIDELINE FOR CONTROLLING AND PREVENTING IN INDONESIA

Endang Kunarsih ^{1, a)}, Rusmanto ^{1, b)}

¹ Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN)

^{a)} Corresponding author: e.kunarsih@bapeten.go.id

^{b)} r.rusmanto@bapeten.go.id

Abstract. Unnecessary exposure is the situation of radiation exposure that should not be received by the patient when undergoing radiation medical examination. This situation may occur frequently in diagnostic radiology but the impact on the patient is not always observable, so it was usually unnoticed and even ignored. A literature study has been carried out regarding unnecessary exposure to propose recommendations or guidelines for improving patient radiation safety through controlling and preventing unnecessary exposure. Actions to control unnecessary exposure can be carried out by identifying, recording, reporting, analyzing, investigating causes, taking corrective actions, and documenting the process. Preventive measures are taken to prevent the occurrence of potential risks, so it is necessary to implement adequate risk management. Lessons learned become one of the effective ways of prevention. Adequate infrastructure needs to be built to facilitate it, such as providing information systems to identify, report and prevent unnecessary exposure. In BAPETEN, it can be proposed to develop the existing system in Balis-INFARA.

Keywords: unnecessary exposure, patient safety, medical exposure

INTRODUCTION

In medical exposure, a patient is an object that receives medical examination or therapy using ionizing radiation sources. The radiation dose given to these patients cannot be limited by the dose limit value. Therefore, the patient has a potential risk of unnecessary exposure, that must be managed properly and prevented.

Unnecessary exposure to the patient is a radiation exposure situation that should not be received by patients when undergoing radiation medical examination. This situation is one of the risks that will be faced if medical exposure is not justified and adequately optimized.

Unnecessary exposure incidents in diagnostic radiology may occur frequently but their impact on the patient is not always observable directly because, in general, it is a stochastic effect. This situation causes the incident unnoticed and even tends to be ignored. Based on a study in 2019 obtained the fact that only 40.3% of facilities have implemented controlling and preventing unnecessary exposure in diagnostic and interventional radiology facilities in Indonesia [1]. Likewise, from Diagnostic Reference Level (DRL) study data shows that the possibilities of unnecessary exposure in 2020 are 48% for CT and 69% for general radiography, whereas in 2021 56% for CT and 50 % for general radiography [2], [3]. However, if this situation occurs repeatedly, it will be detrimental to patient safety and reflect that the performance quality of the facility is inadequate. This situation needs to be improved immediately to ensure radiation protection and safety for patients.

This paper recommends guidelines for unnecessary exposure control and prevention that can be implemented at radiology facilities to strengthen radiation protection and safety systems for patients.

THEORETICAL BASIS

Legal Basis

In the context of patient safety, Law Number 44 the Year 2009 concerning Hospitals, Article 43, states that hospitals are required to apply patient safety standards, including risk assessment, identification and risk management of patients, incident reporting and analysis, the ability to learn, and following up on incidents, and

implementing solutions to reduce and minimize the occurrence of risk [4]. Concerning the risk of incidents arising from the use of ionizing radiation, Government Regulation (GR) Number 33 the Year 2007 on the Safety of Ionizing Radiation and Security of Radioactive Sources, Article 22 and Article 34, mandates the implementation of justification and optimization principle of radiation protection and safety in every utilization including in medical sector to reduce the risk of unnecessary medical exposure [5]. BAPETEN Regulation (BR) Number 4 of 2020 on the Radiation Safety in the Use of X-Ray Equipment in Diagnostic and Interventional Radiology, article 63 explains that unnecessary exposures and unintended exposures which are part of potential exposures must be identified by taking into account design weaknesses, operational failures, software failure, human error. Also, in article 15 and article 17, it is mandated that licensees record incident data related to unnecessary and unintended exposures as well as corrective steps are taken and reports are made on the implementation of preventing unnecessary and unintended exposures [6]. In the IAEA document, GSR Part 3 has provided requirements to minimize the possibility of incidents of unintended radiation exposure to patients and follow-up for incident prevention [7].

Unnecessary Medical Radiation Exposure

Unnecessary exposure is the incident of receiving radiation exposure that is inappropriate or deviates from a protocol or procedure. Some situations in diagnostic radiology in which patients receive unnecessary exposures are, for example, the patient is exposed to the wrong or inappropriate target area, the patient getting repeated radiation exposure, and a person undergoing routine medical check-ups using radiation, and others.

These incidents may occur frequently but are not realized or deliberately ignored by medical practitioners because the impact is not always observed directly on the patient. The incidence of unnecessary exposure is difficult to detect because the impact on the patient is generally a stochastic effect, which will appear months or even years later (especially in diagnostic radiology). This causes medical practitioners who treat patients not to be aware of the incident situation that occurs, especially if there is no system that controls in terms of awareness of unnecessary exposure. Thus, it is important for the facility to carry out monitoring and evaluation of the dose received by the patient as well as an evaluation of the examination process undertaken by the patient so that incidents can be detected immediately and follow-up treatment can be determined appropriately [8].

The most dominant factor as the cause of the incident is unsafe conditions and behavior. This unsafe behavior affects the level of safety culture in a facility. Safety culture is part of the organizational culture that must be considered by policy-makers managers and workers in realizing integrated safety. In every organization that has a strong safety culture, safety management will be carried out effectively [9]. To build a safety culture, one of the important systems is incident learning, so that the organization does not need to experience incidents first and then learn from the incidents experienced. But unfortunately, organizations usually tend to forget or not take lessons from past incidents which eventually lead to similar incidents in the future, so a more structured system is needed.

In terms of preventive action, an organization must identify potential problems or risks that may occur during the implementation of activities so that the occurrence of risks can be minimized or prevented. Thus, the prevention system through the identification of potential risks must be started at an early stage. Based on the identification results, the organization can then carry out mitigation actions that are integrated into the established quality management system. Based on these theories, the discussion of the proposed guidelines will be structured into 2 (two) categories, controlling and preventing unnecessary exposure.

DISCUSSION

Controlling Unnecessary Exposure

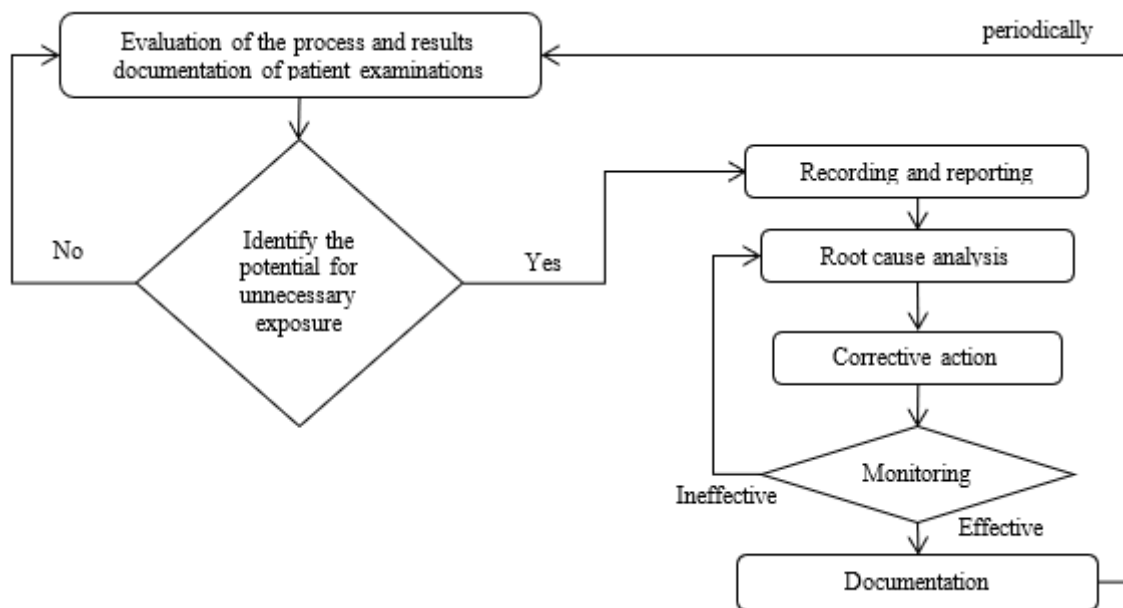


FIGURE 1. Controlling process

The series of controlling unnecessary exposure is described in Figure 1. This process flow is modified from the nonconformity control concept as directed by ISO 9001 [10].

Identification, Recording, and Reporting

Unnecessary exposure incidents generally do not have any direct impact that can be observed, therefore the awareness of medical personnel to identify proactively is very important. Identification of the possibility of unnecessary exposure to patients should be done through monitoring and/or evaluation of the dose received by the patient and evaluation of the examination process undertaken. This evaluation should be carried out by a team consisting of radiographers, medical physicists, and/or radiation specialists. Information or parameters related to patient doses can generally be obtained from visual displays on X-ray modality, examination results (i.e. radiographs image), and logbooks of irradiation conditions (exposure setting). The facility should locally set conditions criteria that can be categorized as unnecessary exposure so that it can be used as indicators in incident identification.

Information from visual displays on X-ray modality is usually in the form of dose indicators or exposure factors or parameters related to the patient's dose, for example [11], [12]: tube voltage, tube current, length of exposure time when termination of exposure fails, CT dose index average volume (CTDI_{vol}), dose-length product (DLP), kerma area product (KAP), mean glandular dose (MGD), target/filter combination, breast compression thickness, cumulative air kerma both from the fluoroscopy process and from image acquisition, cumulative fluoroscopy time, number of fluoroscopy images recorded, and other relevant dose metrics. These data should be converted into the patient's dose quantity by medical physicists and then be evaluated. Evaluation of patient doses is conducted by comparing patient doses to the available local Diagnostic Reference Level (DRL) of the hospital or the Indonesian Diagnostic Reference Level (IDRL). If the comparison results show that the patient's dose is higher than DRL then unnecessary exposure may occur so further analysis and corrective actions are needed [13].

This comparison can be one of the tools for identifying unnecessary exposures. Analogous to quality indicators in the form of film reject analysis or imaging repeat analysis, the quality indicators of DRL implementation can also be made and determined by the facility. For example, the criteria set for 5 – 10 % of the patient's dose value exceeds the DRL. Evaluation can be done every 3 months. The implementation of quality indicators using DRL can be assisted by the information system that has been provided by BAPETEN, namely the patient dose data information system (Si-INTAN). In addition, facilities can also apply other criteria in the quality indicators of DRL implementation, namely if the typical dose value or local DRL exceeds the national DRL (IDRL).

Evaluation visually on the patient's radiograph also needs to recheck the suitability of the irradiation area and target image with the irradiation area and target requested by the referring physician. If there is any difference, for example, exceeds or less than or does not fit so as it is requested for re-exposure, the patient may get unnecessary exposure. The quality of the radiographic image also needs to be checked. This image quality

assessment should be carried out periodically and set as an indicator of the quality of the facility. An image that is of adequate quality for diagnostic purposes is important to avoid repeated irradiation.

Identified incidents must be recorded and reported, as required in GSR Part 3 Requirements 9 paragraph 3.15 (g) that licensees shall establish procedures for reporting on and learning from accidents and other incidents [7]. In general, the facility has prepared an incident reporting system as the mandate of the Decree of the Minister of Health of the Republic of Indonesia Number HK.02.02/MENKES/535/2016 concerning the National Committee for Hospital Patient Safety. In that regulation hospitals must prepare an incident reporting system that includes the establishment of policies, reporting flow, reporting forms, and reporting procedures [14]. However, the incident category used in that regulation was the patient with an injury. So radiation incidents with unnecessary exposure types are not included in the reporting system because they are considered harmless. Also, some perceptions occur that reporting an incident is sometimes reluctant to do because they are afraid of getting sanctions or being opposed by other personnel. Research from Hwang, et.al and Iskandar, et al have identified non-technical aspects that hinder reporting actions, which are as follows [15], [16]: blaming culture, legal or social sanction, lack of personnel's concern, unclear reporting system, unclear of the roles and responsibilities of the parties related to the reporting and following up, unclear conditions criteria to be reported, high workloads, and lack of management commitment.

Therefore, efforts are needed to avoid those obstacles in the reporting system. One of them is conducting regular socialization of the reporting system to all hospital employees, especially those working in facilities that use ionizing radiation modalities. Besides that, training of personnel regarding the incident reporting system also needs to be done, which includes the purpose and benefits of the report, reporting flow, how to fill out the reporting form, when time to report, the notions used in the reporting system and how to analyze the report [15]. A reporting system needs to build, for example, an online-based electronic reporting system (e-reporting system) platform.

In accordance with BR Number 4 of 2020 article 17, reporting of incidents and the action of preventing unnecessary exposure must be submitted online to BAPETEN through Balis-INFARA. It is necessary to develop the Balis-INFARA system so that it has features for reporting radiation incidents in radiological facilities, including unnecessary exposure to patients. This platform can also function as a means of lesson learning system to optimize radiation protection and safety for patients in medical exposure situations.

Although unnecessary exposure incidents to patients have not led to emergency exposure situations or caused injury to patients, recording and reporting are important as an effort to improve the system of patient radiation safety. The validity and accuracy of incident data records will determine the evaluation accuracy of the patient's radiation safety system, underlie improvements in the service system based on patient radiation safety, and prevent the recurrence of radiation incidents in patients [17]. In the case of unnecessary exposure incidents in the facilities, reporting should be addressed to the physician in charge, the head of the installation or management at the level above it, the team related to patient safety, or based on the reporting hierarchy set by the hospital.

The Investigation, Cause Analyze, and Corrective Actions

The unnecessary exposure incidents that have been identified, recorded, and reported to management should be investigated as required in GSR Part 3 Requirements 41 that licensees shall prompt any investigations such as incident exposures and, if appropriate, shall implement corrective actions [7]. The investigation process is designed to provide an explanation of the specific underlying cause of the incident and produce recommendations for following up and ensuring resolution for each root cause [18].

Although unnecessary exposure incidents, in this context, do not lead to emergency exposure situations, it still needs to be investigated/analyzed using a structured approach, such as Root Cause Analysis (RCA). A series of investigations and RCA should be carried out by the team so that the information collected and analysis point of view can be more comprehensive. Various tools can help to conduct RCA, such as fishbone diagrams, NVIVO, and others. If the root causes of the problem have been identified, recommendations, plans, or strategies can be determined as the basis for implementing corrective actions to prevent the recurrence of the same incidents [19].

Analysis and investigation of the causes that contribute to unnecessary exposure can be carried out by taking into account the characteristics and performance of the equipment/modalities, the complexity of the patient examination case, techniques, and protocols used in the examination procedure, image quality parameters, compliance with protocols, human factor, etc. Some of these causal factors can be categorized by personnel, equipment, and protocol to make it easier to identify the root cause. For example, in the case of a quality indicator by DRL implementation, if it exceeds the target, the facility must make an investigative step to find the cause of the quality indicator not being achieved. Simple things that can be evaluated to find the cause of the incident are:

- The results of the suitability test to see the adequacy of the radiation beam output.
- The selection of exposure parameters used for each irradiation protocol.
- Differences in the selection of exposure factors made by each radiographer.

From several causal factors identified, then the root causes can be analyzed. Based on some research, the root cause of the problem/event is identified in the managerial aspects that underlie these activities, for example, [11], [18], [20], [21]:

- Lack of commitment from management and workers in implementing a safety culture.
- Communication problems, both vertical and horizontal communication, and communication to the patient.
- Unclear functions and lines of authority and accountability.
- Inadequate design assessment of ergonomic impacts and operational capabilities.
- Inadequate resource requirements planning and risk assessment.
- Inadequate training and education for personnel in terms of radiation protection and safety and technical or clinical topics related to their work including the operation/use of equipment.
- Lack of review of the competence and availability of personnel after the purchase of new equipment and after the workload has increased.
- Lack of supervision system for inexperienced personnel.
- Inadequate protocols or operational procedures.
- Inadequate implementation of quality assurance program and multi-layered defense systems, for example, periodic evaluations of protocols and quality control of equipment.

The root causes that have been identified will be the basis for establishing appropriate corrective action. Corrective action has the aim of eliminating the root causes of the nonconformity that has occurred so that the same nonconformity is not repeated [10]. Corrective actions can be formulated appropriately if the investigation or analysis of the causes is done properly as well.

Corrective action plans and results of must be documented, usually combined with investigative or root cause analysis reports. This document includes the parties who were assigned to execute corrective actions and the deadline. After implementing corrective actions, monitoring is needed to assess their effectiveness in eliminating repeated incidents of the same incident. If the same incident still occurs, it indicates that the investigation/analysis is not accurate enough to identify the right root cause or the right corrective action planning.

Preventing Unnecessary Exposure

In the case of preventive measures, a facility must identify risks that may occur during the implementation of activities. Prevention systems through the identification of potential risks must begin at an early stage. Based on the identification results, the facility can carry out mitigation actions that are integrated into the established quality management system. In general, steps that can be taken to establish preventive actions are described in Figure 2 [22], [23].

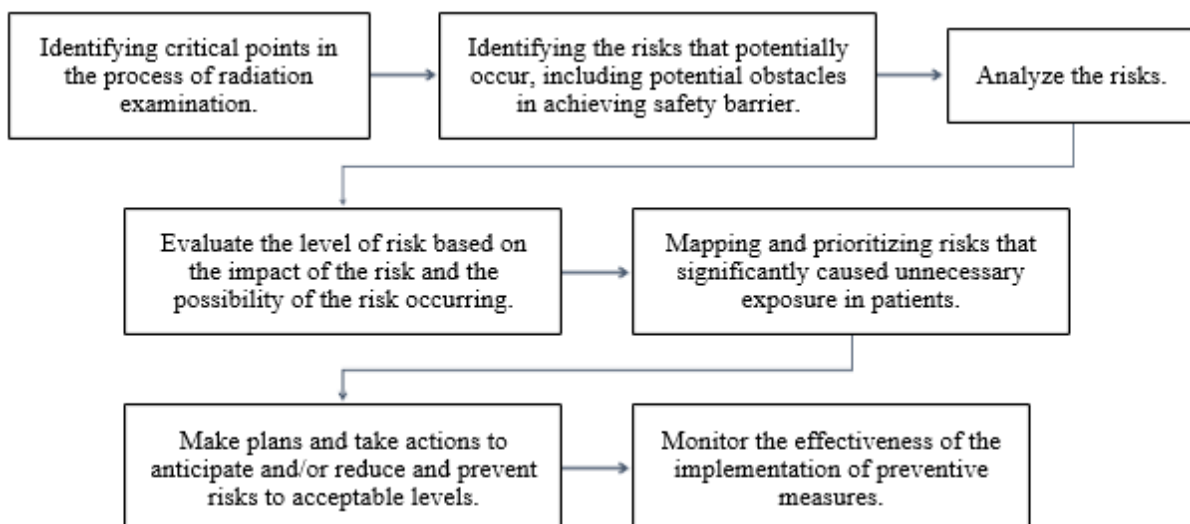


FIGURE 2. Preventive action process

The series of preventive processes as described above should be carried out by the team so that the information/data collected can be comprehensive and viewpoints can be more diverse so that the solution will be easily accepted by all parties. Based on studies from the literature, actions taken to prevent potential incidents of unnecessary exposure based on the approach of justification and optimization principle of radiation protection are as follows [20], [21], [24], [25]:

- Developing defense-in-depth mainly involves well-planned quality management programs that start with a referral of the patient for diagnosis and continue through the entire process

- Promote a safe and secure utilization of ionizing radiation modalities.
- Promote clinical decision-making processes based on complete information.
- Develop and foster the implementation of a safety culture and quality culture.
- Provide clear and detailed protocols and procedures for each process and activity, including activities related to quality control.
- Provide qualified (educated, trained, and competent) personnel at the appropriate level, in sufficient numbers, and in the appropriate field of work.
- Clearly define the roles, responsibilities, authorities, and functions of each person in the radiation facility (radiologist, medical physicists, radiographers, nurses, administrative staff, and others).
- Provide a complete quality assurance program.
- Provide adequate and reliable resources (personnel, equipment, infrastructure, software, hardware, etc.) according to the needs identified through risk assessment.
- Provide a technical guideline for identifying and reporting unnecessary exposure.
- Lesson learning of unnecessary exposure incidents that have occurred.

Any of the things mentioned above, lesson learned is considered one of the most effective incident prevention efforts [18]. Lesson learned is part of knowledge management, which is a knowledge artifact that states knowledge in the form of experience, applies to an activity, decision, or process that, if reused, will have a positive impact on organizational results [26]. It is important that BAPETEN, the Ministry of Health, and professional associations collaborate to promote a system of lessons learned from an incident, for example by building frameworks or providing support for the following efforts:

- Establish a team to review lessons from all incidents, at least once a year. The objective is to assess the effectiveness of corrective actions throughout the system including the possibility of potential risks that have not been identified.
- Review some lessons from past incidents, in context to investigate more recent incidents.
- Communicate lessons learned from the incident to personnel involved in the incident or to a wider audience, for example through staff meetings, management meetings, incident review meetings at all facilities, or meetings between similar organizations.
- Establish an online-based incident learning system as a learning platform to optimize radiation protection and safety for patients via developing Balis- INFARA system.

CONCLUSION

Unnecessary exposure incidents may occur at any time repeatedly and have a detrimental effect on patients, therefore safety culture needs to be promoted in each personnel. Leaders or top management must arrange concrete steps in preventing and controlling unnecessary exposure to patients by using various effective approaches for each facility. Actions to control unnecessary exposure can be carried out by identifying, recording, and reporting the event, analyzing and investigating causes, corrective action programs, and documenting processes. Preventive actions by implementing adequate risk management must be taken to prevent the occurrence of the risk. Lessons learned system is one of the effective means to support prevention. For this reason, it is necessary to build an event database system to be used for learning. When referring to BR Number 4 of 2020, the Balis-INFARA system must be developed to support a learning system related to the identification and reporting of unnecessary exposure events. Also, technical guidelines related to the identification and reporting system of unnecessary exposure events should be provided as integrated support for the incident learning system.

REFERENCES

- [1] E. Kunarsih, "Strengthening the Radiation Safety of Patient by Controlling and Preventing Unnecessary Exposure in Radiological Diagnostic and Interventional Facilities," in *2020 Annual Nuclear Safety Seminar*, 2020, pp. 135–143.
- [2] I. B. G. P. Pratama, Sudradjat, Rusmanto, dkk., "Laporan Hasil Reviu Diagnostic Reference level (DRL) Nasional," Jakarta, Indonesia, 2020.
- [3] E. Kunarsih, I. B. G. P. Pratama, Sudradjat, Rusmanto, dkk. "Laporan Hasil Kajian Diagnostic Reference Level (DRL) Nasional," Jakarta, Indonesia, 2021.
- [4] *Undang Undang Nomor 44 Tahun 2009 tentang Rumah Sakit*. Indonesia, 2009.
- [5] *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*. Indonesia, 2007.
- [6] BAPETEN, *Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta, Indonesia, 2020.
- [7] IAEA, *General Safety Requirements (GSR) Part 3: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. Vienna: IAEA, 2014.

- [8] E. Kunarsih, Sudradjat, Rusmanto, dkk., *Pedoman Teknis Sistem Pengendalian Dan Pencegahan Unnecessary Exposure Pada Pasien*. Jakarta, Indonesia: BAPETEN, 2019.
- [9] Y. Heni, "Peran ' Safety Leadership ' Dalam Membangun Budaya Keselamatan Yang Kuat," in *SEMINAR NASIONAL VI SDM Teknologi Nuklir*, 2010, pp. 33–40.
- [10] ISO, *ISO 9000:2015 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary*, 4th ed. Switzerland: ISO, 2015.
- [11] C. J. Martin *et al.*, "Unintended and accidental medical radiation exposures in radiology: Guidelines on investigation and prevention," *Journal of Radiological Protection*, vol. 37, no. 4, pp. 883–906, 2017, doi: 10.1088/1361-6498/aa881e.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency, *Federal Guidance Report No. 14-Radiation Protection Guidance for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures*. Washington DC, 2014.
- [13] E. Kunarsih, I. B. G. P. Pratama, Sudradjat, Rusmanto, dkk., *Pedoman Teknis Penerapan Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (Indonesian Diagnostic Reference Level)*. Jakarta, Indonesia: P2STPFRZR, 2021.
- [14] Kementerian Kesehatan, *Keputusan Menteri Kesehatan Nomor HK.02.02/MENKES/535/2016 tentang Komite Nasional Keselamatan Pasien Rumah Sakit*. Indonesia, 2016.
- [15] KKP-RS, *Pedoman Pelaporan Insiden Keselamatan Pasien*. Jakarta: Kementerian Kesehatan, 2015.
- [16] H. Iskandar, H. Maksum, and Nafisah, "Faktor Penyebab Penurunan Pelaporan Insiden Keselamatan Pasien Rumah Sakit," *Jurnal Kedokteran Brawijaya*, vol. 28, no. 1, pp. 72–77, 2014.
- [17] J. I. Hwang, S. il Lee, and H. A. Park, "Barriers to the Operation of Patient Safety Incident Reporting Systems in Korean General Hospitals," *Healthcare Informatics Research*, vol. 18, no. 4, pp. 279–286, 2012, doi: 10.4258/hir.2012.18.4.279.
- [18] D. Cooke *et al.*, *A Reference Guide for Learning from Incidents in Radiation Treatment*, vol. 22. Canada: Alberta Heritage Foundation for Medical Research, 2006.
- [19] A. W. Wu, A. K. M. Lipshutz, and P. J. Pronovost, "Effectiveness and Efficiency of Root Cause Analysis in Medicine," *JAMA - Journal of the American Medical Association*, vol. 299, no. 6, pp. 685–687, 2008, doi: 10.1001/jama.299.6.685.
- [20] IAEA, *Specific Safety Guide No. SSG-46: Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*. Vienna: IAEA, 2018. [Online]. Available: <https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/11102/Radiation-Protection-and-Safety-in-Medical-Uses-of-Ionizing-Radiation%0Ahttp://www-ns.iaea.org/standards/>
- [21] I. Turai and K. Veress, "Radiation Accidents : Occurrence, Types, Consequences, Medical Management, and the Lessons to be Learned," *Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 7, no. 1, pp. 3–14, 2001.
- [22] ISO, "ISO 31000:2018 Risk Management - Guidelines." ISO, Swiss, 2018.
- [23] Badan Standardisasi Nasional, "SNI ISO 9001:2015 Sistem Manajemen Mutu – Persyaratan." BSN, Jakarta, 2015.
- [24] FDA, "Initiative to Reduce Unnecessary Radiation Exposure from Medical Imaging," 2010.
- [25] ICRP Task Group of Committee 4, "ICRP Publication 64 Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework," Pergamon Press, 1993. doi: 10.1016/0146-6453(81)90127-5.
- [26] M. N. A. Sharif, N. H. Zakaria, L. S. Ching, and L. S. Fung, "Facilitating Knowledge Sharing Through Lessons Learned System," *Journal of Knowledge Management Practice*, 2005, [Online]. Available: <http://www.tlinc.com/articl82.htm>



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



DISTRIBUSI DOSIS EFEKTIF PADA PEMERIKSAAN CT SCAN THORAX BERDASARKAN USIA DI RSUP SANGLAH DENPASAR

Putu Suwitri Candini Putri¹, Gusti Ngurah Sutapa², Nurul Athira³

¹*Fisika Medis Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana*

³*Instalasi Radiodiagnostik dan Intervensional RSUP Sanglah Denpasar*

E-mail: candiniputri71@gmail.com; *sutapafis97@unud.ac.id; nulath.na@gmail.com

Abstrak. Telah dilakukan distribusi dosis efektif pada pemeriksaan CT scan thorax non kontras berdasarkan Usia, menggunakan data sekunder hasil pemeriksaan CT scan thorax non kontras di RSUP Sanglah Denpasar, parameter data yang digunakan yakni nilai CTDIvol, dan DLP. Data pasien yang diambil berusia diatas 18 tahun dengan dikelompokkan sesuai klasifikasi Depkes RI tahun 2009. Nilai dosis efektif diperoleh dari hasil kali nilai DLP dengan faktor konversi k. Distribusi dosis efektif dilakukan menggunakan nilai DRL standar ICRP 103 tahun 2007. Dari hasil perhitungan rata-rata dan standar deviasi diperoleh bahwa nilai CTDIvol, DLP, dan dosis efektif laki-laki lebih besar dari perempuan akibat faktor geometri pasien. Namun jika dilihat dari usia pasien dosis efektif tidak dipengaruhi oleh usia pasien dikarenakan usia 18 tahun keatas memiliki faktor bobot empiris yang sama. Hasil perhitungan dosis efektif yang diterima seluruh pasien pada setiap klasifikasi umur tidak ada yang melebihi nilai 7,8 mSv. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa dosis yang diterima pasien masih sesuai dengan standar rekomendasi yang ditetapkan oleh ICRP 87 tahun 2000.

Kata Kunci: CT Scan, CTDIvol, DLP, Dosis Efektif, Thorax.

PENDAHULUAN

CT *scan* menjadi sangat populer dalam dunia radiodiagnostik radiasi pengion karena dapat mendeteksi anatomi tubuh dalam waktu yang cukup singkat [6][5]. Pada hal lain, permintaan untuk mendiagnosa dengan CT *scan* mengalami peningkatan, dengan diiringi konsekuensi bahayanya jika terjadi peningkatan laju dosis radiasi yang tidak efektif, perhitungan laju dosis yang efektif memerlukan parameter usia untuk mempermudah dalam klasifikasi sesuai dengan kelompoknya. Usia pasien sangat penting untuk dijadikan tolak ukur perhitungan dosis yang efektif, dikarenakan jaringan tubuh manusia memiliki radiosensitif yang berbeda-beda terhadap usia pasien. Terutama pada pasien pediatrik atau anak-anak, pasien dengan usia pediatrik memiliki radiosensitif yang lebih besar jika dibandingkan orang dewasa sehingga usia pediatrik memiliki potensi resiko kanker yang lebih besar.

Hampir setiap rumah sakit menggunakan CT *scan* untuk mendiagnosis pasien yang mengalami cedera pada organ tubuh atau mengalami kerusakan sel, dengan memancarkan sinar-X terhadap bagian tubuh pasien yang memerlukan diagnosa lebih lanjut [8]. CT *scan* dapat digunakan pada berbagai jenis pemeriksaan seperti pemeriksaan *brain* (kepala), *thorax* (dada), *abdomen* (rongga perut), ketiga jenis pemeriksaan tersebut merupakan pemeriksaan yang paling sering dilakukan, terutama pada bagian *thorax*.

Dosis efektif menjelaskan tentang resiko efek biologis yang merugikan dari paparan radiasi. Dosis efektif yang dapat diterima pasien tidak boleh melebihi standar yang ditetapkan secara nasional yang diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN terkait Tingkat Panduan Diagnostik atau *Diagnostic Reference Level* (DRL) dan secara internasional yang diatur dalam *International Commission on Radiological Protection* (ICRP). Menurut literatur ICRP 87, potensi resiko terkena kanker pada pasien dapat diperkirakan dengan mengasumsikan hubungannya dengan dosis efektif [3].

Namun banyak penelitian mendapatkan dosis yang diberikan belum efektif karena belum memperhitungkan factor bobot organ, seperti penelitian mengenai perhitungan dosis radiasi yang diterima pasien pernah dilakukan Munir pada tahun 2011, penelitian tersebut yaitu pengukuran dosis radiasi dan faktor risiko pada pemeriksaan CT *Scan Whole Abdomen 3 Fase*, dengan menggunakan MSCT *scan merek GE tipe Lightspeed VCT 64 Slice*. Hasil penelitian menunjukkan, organ ginjal menerima dosis ekuivalen terbesar yaitu (32-140 mGy). Dosis efektif

yang diterima pasien yaitu berkisar dari (15-64 mSv). Potensi risiko tertinggi yang diterima oleh pasien berdasarkan ICRP adalah sebesar 0,32% dengan dosis efektif yang diterima oleh pasien tersebut adalah 64 mSv [7]. Maka dari itu perlu dilakukan perbandingan dosis efektif agar sesuai dengan rekomendasi ICRP.

METODE

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Pesawat CT *Scan merk Siemens 128 Slice* yang merupakan CT *Scan* produksi pabrik China dengan *type SOMATOM Top* yang terdapat di Ruang Instalasi Radiologi RSUP Sanglah Denpasar. Data yang akan diolah merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil pemeriksaan CT *scan thorax* non kontras. Adapun data rekam medik pasien yang diperlukan dalam penentuan distribusi dosis efektif yakni CTDI_{vol} dan DLP. Dimana, data ini dikelompokkan sesuai jenis kelamin dan usia. Usia yang diamati diatas 18 tahun yang disesuaikan dengan klasifikasi usia sesuai rekomendasi Depkes RI tahun 2009 yang terdiri dari kelompok usia remaja akhir (18- 25 tahun), usia dewasa awal (26-35 tahun), usia dewasa akhir (36-45 tahun), usia lansia awal (46-55 tahun), usia lansia akhir (56-65 tahun) dan usia manula (>65 tahun) [1]. Data tersebut kemudian dirata-ratakan dan dicari standar deviasinya.

Variabel usia dan jenis kelamin digunakan untuk melihat apakah seiring dengan bertambahnya usia pasien nilai CTDI_{vol} dan DLP akan semakin meningkat atau tidak dan apakah pasien laki-laki memiliki nilai dan DLP yang lebih besar dari pasien perempuan atau sebaliknya. Dalam perhitungan dosis efektif pada pemeriksaan CT *scan thorax* non kontras, nilai dosis efektif dapat diperoleh dengan mengalikan nilai DLP dengan faktor konversi k, untuk usia 18 tahun keatas memiliki faktor bobot empiris yang sama yaitu bernilai 0,014 *mSv. mGy⁻¹. cm⁻¹*, namun perbedaan parameter nilai DLP pada setiap pasien akan mempengaruhi dosis efektif yang dapat diterima pasien [4].

Sebelum perhitungan untuk mendapatkan nilai dosis efektif, nilai CTDI_{vol} dan DLP akan dibandingkan terlebih dahulu antara laki-laki dan perempuan untuk mengetahui perbedaan nilai dosis sesuai jenis kelamin pasien, dan apakah mempengaruhi usia pasien atau tidak. Hal tersebut dilakukan agar pada saat perhitungan nilai dosis efektif, dapat terlihat faktor yang mempengaruhi besar kecilnya dosis yang diperoleh pasien, dan dosis efektif yang diperoleh tidak melebihi dari standar referensi yang ditetapkan ICRP 87 tahun 2000. Nilai dosis efektif yang telah diperoleh akan disesuaikan dengan standar ICRP 87 tahun 2000 yakni sebesar 7,8 mSv [3]. Untuk mengetahui apakah nilai-nilai yang sudah diperoleh melebihi dari batas yang ditetapkan atau tidak, maka dari hasil perhitungan rata-rata dan standar deviasi yang dihitung sesuai dengan klasifikasi usia dapat dibandingkan dengan nilai dosis efektif 7,8 mSv.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pemeriksaan CT *Scan thorax* non kontras pada pasien diperoleh data yang dapat dikelompokkan berdasarkan usia dan diklasifikasi menjadi 6 tingkatan usia sesuai klasifikasinya yakni, usia remaja akhir (18-25 tahun), usia dewasa awal (26-35 tahun), usia dewasa akhir (36-45 tahun), usia lansia awal (46-55 tahun), usia lansia akhir (56-65 tahun) dan usia manula (>65 tahun). Data tersebut kemudian dihitung rata-rata dan standar deviasinya, ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1. Nilai CTDI_{vol} rata-rata

No.	Usia (tahun)	CTDI _{vol} (mGy)	
		Perempuan	Laki-laki
1	18-25	(2,6078 ± 0,1643)	(5,3208 ± 1,2674)
2	26-35	(4,3567 ± 0,6033)	(5,5561 ± 0,4382)
3	36-45	(4,4894 ± 0,4647)	(3,9526 ± 0,3742)
4	46-55	(4,1829 ± 0,2091)	(4,4394 ± 0,2174)
5	56-65	(4,3571 ± 0,2398)	(4,7785 ± 0,2681)
6	65-atas	(3,8394 ± 0,2313)	(4,3266 ± 0,2299)

Tabel 2. Nilai DLP rata-rata

No.	Usia (tahun)	DLP (mGy. cm)	
		Perempuan	Laki-laki
1	18-25	(437,5918 ± 27,0971)	(498,8814 ± 90,5459)
2	26-35	(550,2070 ± 73,1826)	(556,6671 ± 49,6537)
3	36-45	(502,5730 ± 22,3992)	(514,6284 ± 26,5730)
4	46-55	(531,4789 ± 9,1236)	(545,0267 ± 29,9555)
5	56-65	(539,9704 ± 32,1794)	(553,0127 ± 27,4094)
6	>65	(392,6367 ± 26,9621)	(527,4780 ± 31,5226)

Selanjutnya, dari DLP setiap pasien dosis efektif dihitung dengan mengalikan nilai DLP dengan faktor bobot empiris CT Scan thorax pasien usia 18 tahun keatas yaitu $0,014 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Hasil dosis efektif diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Dosis efektif (*ED*) rata-rata

No.	Usia (tahun)	Dosis efektif (<i>mSv</i>)	
		Perempuan	Laki-laki
1	18-25	(6,126 ± 0,379)	(6,584 ± 1,268)
2	26-35	(7,703 ± 1,024)	(7,793 ± 0,691)
3	36-45	(7,036 ± 0,314)	(7,205 ± 0,372)
4	46-55	(7,441 ± 0,392)	(7,630 ± 0,419)
5	56-65	(7,559 ± 0,451)	(7,742 ± 0,384)
6	>65	(5,497 ± 0,377)	(7,385 ± 0,441)

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa dari 6 kelompok data laki-laki dan 6 kelompok data perempuan rata-rata nilai CTDIvol pasien laki-laki lebih besar dibandingkan pasien perempuan. Namun dari hasil perhitungan yang telah dilakukan usia pasien perempuan ataupun pasien laki-laki yang berusia 18 tahun keatas tidak mempengaruhi jumlah dosis yang diberikan. Berdasarkan teori dan penelitian yang telah dilakukan oleh Sofiana tahun 2012, nilai CTDIvol dipengaruhi oleh volume organ. Dimana volume organ pasien laki-laki cenderung lebih besar dari pasien perempuan sehingga nilai CTDIvol pasien laki-laki lebih besar dibandingkan perempuan. Namun dari analisis pasien yang berusia 18 tahun keatas faktor usia tidak mempengaruhi jumlah nilai CTDIvol [8]. Hal ini dikarenakan volume organ tubuh manusia dewasa cenderung stabil dibandingkan volume organ manusia yang berusia dari 0 tahun sampai 17 tahun yang berkembang lebih cepat disampaikan oleh Hijriati tahun 2016 [2].

Hasil pada Tabel 2 terlihat bahwa usia pasien 18 tahun keatas tidak mempengaruhi nilai DLP, namun rata-rata nilai DLP pasien laki-laki lebih besar dibandingkan pasien perempuan. Penelitian yang dilakukan oleh Sofiana tahun 2012 menyatakan, nilai DLP bergantung pada *scan length* [8]. Semakin besar *scan length* maka nilai DLP yang diterima akan semakin besar. Sedangkan, nilai DLP pasien laki-laki lebih besar daripada perempuan, hal ini disebabkan oleh *scan length* dan diameter thorax pada pasien laki-laki rata-rata lebih besar dibandingkan pasien perempuan, sehingga DLP pasien laki-laki lebih besar dari pada pasien perempuan. Namun pada analisis yang dilakukan *scan length* pada pasien yang berusia 18 tahun keatas memiliki pertumbuhan cenderung stabil, sehingga dapat terjadi pada pasien yang memiliki usia lebih muda memiliki *scan length* yang lebih tinggi sedangkan pasien yang lebih tua memiliki *scan length* lebih rendah.

Hasil perhitungan rata-rata pada Tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata dosis efektif pasien laki-laki lebih besar daripada dosis efektif pasien perempuan, namun usia pasien 18 tahun keatas tidak mempengaruhi besarnya dosis efektif yang diterima. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya nilai DLP dan faktor bobot empiris yang dimiliki oleh setiap usia pasien pada CT scan organ thorax. Seperti yang terdapat pada rekomendasi ICRP 103 tahun 2007 dimana pasien yang berusia 18 tahun keatas menggunakan faktor bobot empiris secara keseluruhan dengan nilai yang sama yaitu 0,014 [4]. Sehingga hasil analisis menunjukkan bahwa, usia pasien yang memiliki faktor bobot empiris yang sama tidak mempengaruhi dosis efektif yang diterima pasien. Hasil ini mendukung penelitian yang dilakukan oleh Sofiana tahun 2012 yang menyatakan bahwa, perbedaan nilai dosis efektif dipengaruhi oleh besarnya nilai DLP dan faktor konversi yang dimiliki oleh masing-masing organ tubuh dan usia pasien [8]. Maka jika faktor bobot empiris pasien bernilai sama maka dosis efektif setiap pasien hanya dipengaruhi oleh nilai DLP.

Hasil analisis pada dosis efektif menunjukkan bahwa, dari hasil perhitungan rata-rata dan standar deviasi pasien dosis efektif yang diterima pasien untuk seluruh usia dan jenis kelamin tidak melampaui standar rekomendasi ICRP 87 tahun 2000 yakni perhitungan dosis efektif yang dihasilkan masih dibawah 7,8 mSv.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan untuk seluruh usia pasien pada pemeriksaan periode Januari-Desember tahun 2021 di RSUP Sanglah Denpasar nilai dosis yang diterima pasien kurang dari 7,8 mSv. Berdasarkan keterangan tersebut terlihat bahwa, dosis yang diterima pasien sesuai dengan standar yang ditetapkan ICRP 87 tahun 2000.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amin AM dan Uniati D. (2017) Klasifikasi Kelompok Umur Manusia Berdasarkan Analisis Dimensi Fraktal Box Counting Dari Citra Wajah Dengan Deteksi Tepi Canny. Jurnal Ilmiah Matematika. Vol.2. No.6.


- [2] Hijriati. (2016) Tahapan Perkembangan Kognitif Pada Masa Early Childhood. Journal RJ-UIN. Vol 1, No.2.
- [3] ICRP 87. (2000) Managing Patient Dose in Computed Tomography. Annals of the ICRP Elsevier Publication 87.
- [4] ICRP 103. (2007) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP Elsevier Publications. Oxford. UK. Publication 103.
- [5] Janbabanezhad T A et al. (2015) Dose Assessment in Computed Tomography Examination and establishment of Local Diagnostic Reference Levels in Mazandaran, Iran. Journal Biomedical Physics and Engineering. Vol.5 (4). No.177-184.
- [6] Susanto A. (2014) Peranan CT Scan Kepala dalam Diagnosis Nyeri Kepala Kronis. CDK. Vol. 41.
- [7] Munir M. (2011) Dosis Radiasi Dan Faktor Resiko Pada Pemeriksaan CT Scan Whole Abdomen 3 Phase. Universitas Indonesia. Jakarta. Skripsi.
- [8] Sofiana L. (2013) Estimasi Dosis Efektif Pada Pemeriksaan Multi Slice CT-Scan Kepala dan Abdomen Berdasarkan Rekomendasi ICRP 103. Biofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya. Malang. Skripsi.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



TINJAUAN AWAL PELAKSANAAN KAJIAN KESELAMATAN SUMBER DI FASILITAS RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL

Leily Savitri¹, Hermansyah¹, Zulfahmi¹, Rusmanto¹ 

¹Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta, Indonesia

^{a)} Corresponding author: l.savitri@bapeten.go.id

^{b)} h.herman@bapeten.go.id

^{c)} z.zulfahmi@bapeten.go.id

^{d)} r.rusmanto@bapeten.go.id

Abstrak. Pelaksanaan kajian keselamatan sumber merupakan amanah Pasal 44 dan Pasal 45 Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007, yang menyatakan bahwa pemegang izin dalam rangka menjamin keselamatan sumber wajib melakukan verifikasi keselamatan, salah satu unsur verifikasi keselamatan adalah pengkajian keselamatan sumber. Implementasi PP Nomor 33 Tahun 2007 dijabarkan dalam Pasal 48 ayat (2) dan Pasal 51 Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Dalam Perka tersebut dinyatakan bahwa pemegang izin dalam menerapkan proteksi dan keselamatan radiasi harus menyusun, melaksanakan, dan mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi yang didasarkan pada evaluasi radiologik dan kajian keselamatan. Selain itu Peraturan BAPETEN (Perba) Nomor 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha Dan Standar Produk Pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran, butir 55 Standar Proses Dalam Pemenuhan Izin Radiologi Diagnostik dan Intervensional, menyatakan bahwa kajian keselamatan yang merupakan salah satu persyaratan izin pemanfaatan, mencakup 3 (tiga) kriteria, yaitu: (1) pengukuran pemantauan paparan radiasi di daerah kerja, (2) identifikasi terjadinya paparan potensial pada pasien dan pekerja dan (3) kendali mutu pesawat sinar-X. Tujuan penulisan ini untuk menetapkan dan memberlakukan ruang lingkup dan kriteria keberterimaan kajian keselamatan sumber yang komprehensif dan mampu terap bagi pemohon izin atau pemegang izin di fasilitas Radiologi Diagnostik dan Intervensional (RDI) sebagaimana diamanahkan dalam regulasi. Hasil survei pada 92 fasilitas RDI di 6 wilayah Indonesia, diperoleh data dan informasi melalui pengisian kuesioner dan diskusi bahwa lebih dari 76,4 % fasilitas telah menerapkan 3 (tiga) kriteria kajian keselamatan, namun belum dituangkan dalam suatu dokumen formal dan fasilitas memerlukan panduan dan pembinaan teknis ataupun diseminasi dalam menyusun dokumen kajian keselamatan.

Kata Kunci: kajian keselamatan, persyaratan izin pemanfaatan, fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional

Abstract. The implementation of source safety assessment is the mandate of Article 44 and Article 45 of Government Regulation (GR) Number 33 of 2007, which states that the Licensee in order to ensure source safety is required to carry out safety verification, one element of safety verification is source safety assessment. The implementation of GR Number 33 of 2007 is described in Article 48 paragraph (2) and 51 of Article the Chairmain Regulation (CR) of the Head of BAPETEN Number 4 of 2013 concerning Radiation Protection and Safety in the Utilization of Nuclear Energy. In the CR it is stated that the Licensee in implementing radiation protection and safety must prepare, implement, and develop a radiation protection and safety program based on radiological evaluation and safety assessment. In addition, BAPETEN Regulation Number 3 of 2021 concerning Standards for Business Activities and Product Standards in the Conducting of Risk-Based Business Licensing in the Nuclear Sector, item 55 Process Standards in Fulfilling Diagnostic and Interventional Radiology Licence states that safety assessment, which are one of the requirements for the utilization licence, cover 3 aspects, namely: (1) measurement of radiation exposure monitoring in the work area, (2) identification of potential exposures to patients and workers and (3) quality control of X-ray equipment. The purpose of this paper is to establish and enforce the scope and acceptance criteria for a comprehensive and applicable source safety assessment for applicants or licensees in Diagnostic and Interventional Radiology (DIR) facilities as mandated in the regulations. The results of a survey of 92 DRI facilities in 6 regions of Indonesia, obtained data and information through filling out questionnaires and discussions that more than 76,4% of facilities have implemented 3 aspects of safety studies, but not yet been stated in a formal document and facilities require technical guidance and dissemination in preparing safety assessment documents.

Keywords: safety assessment, requirements for the utilization licence, radiology diagnostic and interventional

PENDAHULUAN

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007 Pasal 44 dan Pasal 45, dalam rangka menjamin keselamatan sumber, pemegang izin berkewajiban melakukan verifikasi keselamatan. Salah satu unsur verifikasi keselamatan adalah pengkajian keselamatan sumber. Pengkajian keselamatan sumber bertujuan untuk memastikan bahwa praktik operasional terkait penggunaan radiasi yang akan dilakukan berada dalam koridor praktik yang selamat dan aman [1]. Implementasi PP Nomor 33 Tahun 2007 dijabarkan dalam Pasal 48 ayat (2) dan Pasal 51 Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Pada Perka No. 4 Tahun 2013 tersebut dinyatakan bahwa pemegang izin dalam menerapkan proteksi dan keselamatan radiasi harus menyusun, melaksanakan, dan mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi yang didasarkan pada evaluasi radiologik dan kajian keselamatan [2].

Ruang lingkup dan tingkat rincian kajian keselamatan sumber pada setiap tahapan kegiatan disusun dengan menerapkan pendekatan bertingkat, yaitu sepadan dengan kompleksitas fasilitas, potensi risiko radiasi dan paparan radiasi [3, 4]. Penggunaan di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional, modalitasnya sudah proven dan dapat diprediksi. Sebagian besar kebutuhan pada penggunaan modalitas tersebut adalah pada kompetensi personel, sehingga pelatihan menjadi salah satu kuncinya. Kondisi yang sudah proven ini berarti ada eviden yang cukup bahwa modalitas dapat digunakan dengan tingkat keselamatan yang tinggi dengan tetap memperhatikan aspek perisai atau pelindung dan desain ruang sinar-X.

Kajian keselamatan sumber dilaksanakan untuk [1, 4]:
 mengidentifikasi terjadinya paparan normal dan paparan potensial;
 menentukan tingkat paparan normal dan memperkirakan kebolehjadian dan tingkat paparan potensial;
 mengkaji mutu dan keandalan peralatan proteksi dan keselamatan radiasi;
 menetapkan pemenuhan persyaratan yang mampu terap untuk fasilitas dan kegiatan; dan/atau
 mengevaluasi kepatuhan terhadap persyaratan keselamatan untuk fasilitas dan kegiatan.

Kajian keselamatan yang dilaksanakan oleh fasilitas harus didokumentasikan dalam sebuah dokumen. Dokumen kajian keselamatan ini menjadi salah satu persyaratan baru yang harus diberikan oleh fasilitas untuk memperoleh izin pemanfaatan tujuan radiologi diagnostik dan intervensional (RDI) sesuai butir 55 Peraturan BAPETEN (Perbapeten) No. 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk Pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran [5].

Kajian keselamatan pada pemanfaatan tujuan RDI dilakukan mulai tahapan desain, pengajuan izin, operasi, perawatan dan perbaikan semua pesawat sinar-X secara rutin dan berkala yang memenuhi standar keselamatan yang disyaratkan, seperti batas dan kondisi operasi, dampak kegagalan dan konsekuensi dari kegagalan tersebut.

Dalam rangka mengetahui profil implementasi dan kemampuan di fasilitas dengan adanya persyaratan dokumen kajian keselamatan, maka perlu dilakukan pemetaan profil di fasilitas untuk memberi masukan kepada BAPETEN mengenai kemampuan fasilitas menerapkan kajian keselamatan dan membuatnya dalam sebuah dokumen sebagai salah satu persyaratan izin penggunaan.

KAJIAN PUSTAKA

Secara umum dokumen kajian keselamatan sumber di fasilitas RDI mencakup desain dan fitur keselamatan fasilitas serta operasi fasilitas yang memenuhi standar keselamatan yang disyaratkan dan potensi risiko paparan radiasi terhadap pasien, pekerja, dan masyarakat [4]. Selain itu, uraian tentang identifikasi peralatan dan fasilitas yang digunakan, seperti sistem kelistrikan, ruangan radiasi, ruangan sekitar, denah ruangan dengan detail perisai radiasi yang digunakan serta akses pasien dan pekerja [6].

Adapun lingkup kajian keselamatan sumber di fasilitas RDI mencakup 3 (tiga) kriteria berikut [7]:

Pengukuran Pemantauan Paparan Radiasi di Daerah Kerja

Fasilitas memiliki program pengukuran pemantauan paparan radiasi di daerah kerja yang dilakukan oleh instalatir dan/atau petugas yang berkompeten dan disupervisi oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR).

Pengukuran pemantauan paparan radiasi di daerah kerja dilakukan pada ruangan pesawat sinar-X secara berkala dan ketika [7]:

- a) ruangan baru selesai dibangun;
ruangan baru direnovasi;
pesawat sinar-X baru diperbaiki; dan
perangkat lunak terkait pesawat sinar-X baru dimodifikasi.

Dokumen dan rekaman berita acara atau hasil pengukuran pemantauan paparan di daerah kerja didokumentasikan dengan baik dan mudah diakses.

Identifikasi Terjadinya Paparan Potensial

Identifikasi potensi/penyebab terjadinya paparan potensial pada pasien dan pekerja dapat berupa paparan yang tidak diperlukan (*unnecessary exposure*) dan paparan yang tidak diinginkan (*unintended exposure*) dalam pengoperasian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan radiologi intervensional, identifikasi dilakukan dengan mempertimbangkan kemungkinan situasi keadaan darurat yang dapat terjadi akibat [7]:

a) kelemahan dalam desain pesawat sinar-X; kegagalan pesawat sinar-X saat beroperasi atau kesalahan operasional; kegagalan dan kesalahan perangkat lunak yang mengendalikan atau mempengaruhi paparan radiasi; dan/atau kesalahan manusia.

Sistem pencatatan/rekaman, evaluasi dan pelaporan dosis pasien yang melebihi tingkat panduan diagnostik dan sistem pencatatan/rekaman, evaluasi dan pelaporan kejadian paparan berlebih pada pekerja.

Kendali Mutu Pesawat Sinar-X

Penggunaan pesawat sinar-X untuk radiologi diagnostik dan intervensional harus memiliki program jaminan mutu. Bentuk dan lingkup program jaminan mutu tergantung dari kompleksitas fasilitas dan sumber daya yang dimiliki oleh fasilitas. Rekaman hasil kendali mutu wajib dibuat, dipelihara, disimpan oleh fasilitas dan mudah diakses.

Program kendali mutu pesawat sinar-X meliputi [7]:

a) kendali mutu internal; dan
kendali mutu eksternal

Monitoring kinerja pesawat sinar-X merupakan salah satu bagian penting dalam program jaminan mutu yaitu program kendali mutu. Dengan menjamin pesawat berfungsi sesuai dengan spesifikasinya, diharapkan pesawat dapat dipakai untuk menghasilkan citra dengan kualitas tinggi secara konsisten, dengan dosis pasien minimum, dalam hal ini, personel harus mengikuti teknik, protokol dan prosedur yang benar.

Pemeriksaan pesawat sinar-X secara teratur, akan mengidentifikasi setiap terjadi perubahan kinerja pesawat dan mengambil langkah perbaikan secepatnya sebelum berakibat pada penurunan kualitas citra. Disamping itu, selain berkaitan dengan pembentukan citra, kinerja pesawat yang baik, juga akan mengurangi pengulangan (*retake*) penyinaran. Pengurangan pengulangan akan memperkecil dosis pasien dan juga mengurangi anggaran operasional fasilitas.

METODE/METODOLOGI

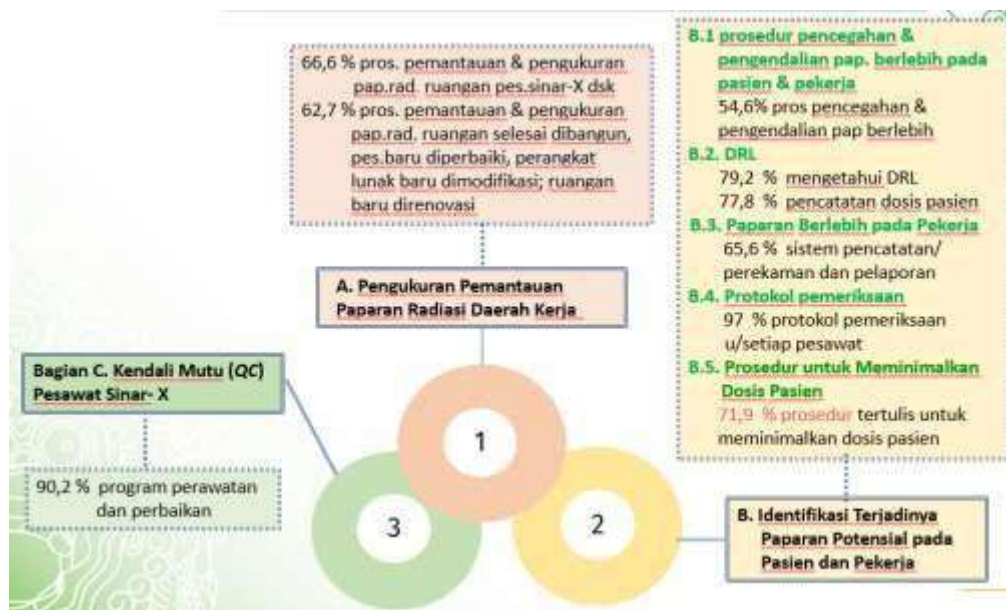
Studi ini dilaksanakan dengan metode analisis diskriptif, dari data pustaka dan data/informasi survei lapangan melalui pengiriman kuesioner ke 6 wilayah Indonesia, yaitu: Sumatera, Kalimantan, Jawa, Bali-Nusa Tenggara, Sulawesi dan Maluku-Papua. Kuesioner yang dibuat didesain sesuai dengan 3 (tiga) kriteria kajian keselamatan di fasilitas RDI yang tercantum pada Perbapeten No. 3 Tahun 2021, yaitu [5,7]:

1. Pengukuran Pemantauan Paparan Radiasi di Daerah Kerja.
2. Identifikasi Terjadinya Paparan Potensial.
3. Kendali Mutu Pesawat Sinar-X.

Data dan informasi yang diperoleh dengan menganalisis 92 (Sembilan puluh dua) responden fasilitas RDI di 6 wilayah, pembahasan dan diskusi dengan pihak berkepentingan, narasumber, dan praktisi medik. Hasil pembahasan dan analisis data kemudian dirumuskan dalam sebuah laporan profil kemampuserapan kajian keselamatan di fasilitas RDI.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil survei dari 92 responden fasilitas RDI, diperoleh data dan informasi sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 tersebut menunjukkan bahwa secara umum lebih dari 76,4% responden telah menerapkan 3 (tiga) kriteria kajian keselamatan sumber di fasilitas RDI, hal ini berarti bahwa 3 (tiga) kriteria tersebut dapat diterapkan, namun belum dituangkan dalam dokumen formal fasilitas [9]. Pada parameter pemantauan paparan radiasi daerah kerja diperoleh informasi bahwa di atas 60% responden sudah melaksanakan kegiatan tersebut. Pada parameter identifikasi terjadinya paparan potensial, diperoleh informasi bahwa responden bervariasi dalam melaksanakan poin-poin yang ada dalam parameter tersebut yaitu dengan rentang 55 - 97%. Pada parameter kendali mutu pesawat sinar-X, diperoleh informasi bahwa lebih dari 90% kegiatan ini dapat diterapkan. Pada parameter kendali mutu, ini didukung dengan adanya kewajiban bahwa pemegang izin harus melaksanakan uji kesesuaian, sehingga kemampuserapannya sangat tinggi.



Gambar 1. Penerapan 3 (tiga) kriteria kajian keselamatan sumber di 92 fasilitas RDI

Pengukuran pemantauan paparan radiasi di daerah kerja

Sebagaimana telah disebutkan dalam bagian pustaka, pengukuran pemantauan paparan radiasi di daerah kerja dilakukan pada ruangan pesawat sinar-X secara berkala dan ketika ruangan baru selesai dibangun, ruangan baru direnovasi, pesawat sinar-X baru diperbaiki, dan perangkat lunak terkait pesawat sinar-X baru dimodifikasi. Pada kuesioner, ditanyakan untuk parameter ini 2 (dua) hal yaitu:

- a) Prosedur pemantauan dan pengukuran paparan radiasi ruangan pesawat sinar-X dan sekitarnya.

Prosedur pemantauan dan pengukuran paparan radiasi ruangan selesai dibangun, pesawat baru diperbaiki, perangkat lunak baru dimodifikasi, ruangan baru direnovasi.

Hasil jawaban responden terkait 2 (dua) hal di atas menunjukkan bahwa 66,6% fasilitas memiliki prosedur dan melaksanakan pemantauan paparan radiasi pada ruangan sinar-X dan ruangan sekitarnya, dan 62,7% memiliki prosedur dan melaksanakan pemantauan dan pengukuran paparan radiasi ruangan selesai dibangun, pesawat baru diperbaiki, perangkat lunak baru dimodifikasi, ruangan baru direnovasi. Secara keseluruhan untuk kepemilikan prosedur dan pelaksanaan prosedur tersebut mampu diterapkan lebih dari 60%. Diperkirakan sisanya, hanya memiliki salah satunya saja, seperti hanya melaksanakan program pemantauan tetap belum memiliki prosedur tertulisnya.

Dari hasil peninjauan melalui kuesioner juga diperoleh informasi bahwa hasil pengukuran paparan radiasi belum dimanfaatkan untuk memperkirakan dosis yang diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat per periode waktu tertentu. Selain itu, ditemukan pula bahwa prosedur yang terdokumentasi jarang dilakukan tinjau ulang kemampuannya.

Pelaksanaan dan hasil pengukuran paparan radiasi dapat mengikuti Pedoman Teknis Pengukuran Paparan Radiasi di Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif [8] (Implementasi Pembatas Dosis dalam Tahap Desain dan Daerah Kerja Radiasi) yang dapat diakses ke laman BAPETEN (<https://bapeten.go.id/site/beranda>), pada menu Publikasi dan pilih Hasil Kajian atau melalui akses berikut: <https://sites.google.com/view/produkkajian/beranda>.

Berdasarkan hasil pengukuran paparan radiasi, diharapkan dapat dilakukan perkiraan dosis yang diterima oleh pekerja dan masyarakat per satuan waktu (minggu, bulan, tahun). Perhitungan dapat mempertimbangkan faktor beban kerja (jumlah pasien, banyaknya penyinaran yang dilakukan), faktor orientasi berkas radiasi, dan faktor okupansi.

Program tinjau ulang terhadap hasil pengukuran pemantauan paparan radiasi, terutama pada saat ada perubahan kondisi fasilitas terkait adanya peningkatan beban kerja, perubahan orientasi berkas radiasi dan perubahan faktor okupansi.

Identifikasi terjadinya paparan potensial pada pasien dan pekerja

Pada desain kuesioner, terkait dengan parameter ini ditanyakan beberapa hal yaitu:

- a) prosedur pencegahan & pengendalian paparan berlebih pada pasien dan pekerja
pengetahuan tentang tingkat panduan diagnostik (*diagnostic reference level*) dan pencatatan dosis pasien paparan radiasi berlebih pada pekerja radiasi
protokol pemeriksaan pasien
prosedur untuk meminimalkan dosis pasien

Sesuai dengan jawaban responden, ada sekitar 54,6% fasilitas memiliki prosedur pencegahan dan pengendalian paparan berlebih pada pasien dan pekerja. Artinya, hampir setengahnya belum memiliki prosedur

yang dimaksud khususnya terkait prosedur tertulisnya. Informasi terkait prosedur tertulis hanya diberikan untuk meminimalkan dosis pasien mencapai 71,9%. Hal ini dapat dilihat pada poin selanjutnya bahwa mayoritas fasilitas sudah mengetahui informasi mengenai tingkat panduan diagnostik sebesar 79,2%, fasilitas sudah melaksanakan pencatatan dosis pasien sebesar 77,8%, dan fasilitas juga sudah melakukan pencatatan dan pelaporan dosis pekerja sebesar 65,6%. Selain itu, ketersediaan protokol penyinaran untuk pasien sudah mencapai 97%.

Identifikasi awal dari suatu paparan potensial dapat dilihat dari pemeriksaan dokumen bawaan pesawat sinar-X, seperti: prosedur-prosedur yang dimiliki dalam hal pencegahan dan pengendalian paparan radiasi, hasil pengujian peralatan, dan lainnya. Hal ini dapat dilakukan untuk melihat potensi kelemahan desain peralatan. Jika diidentifikasi ada kelemahan dari desain maka perlu disebutkan agar dalam penggunaan alat tersebut dapat dilakukan pembatasan atau perbaikan sesuai dengan kondisi kelemahannya, misal, alat tersebut memberikan dosis yang besar ke pasien sehingga dosis ke pekerjanya juga besar, maka perlu adanya prosedur pencegahan atau meminimalkan dosis. Selanjutnya, jika memiliki kelemahan pada sisi penggunaan parameter penyinaran, maka perlu pembatasan penggunaan parameter pemeriksaan.

Identifikasi kegagalan pesawat sinar-X saat beroperasi atau kesalahan operasional dapat dilakukan dengan melaksanakan uji kesesuaian setelah pesawat sinar-X di pasang dan akan digunakan untuk pelayanan, membuat prosedur skrining untuk pemeriksaan-pemeriksaan tertentu (seperti wanita hamil atau diduga hamil, mamografi, dan lainnya), membuat prosedur untuk kendali mutu pesawat sinar-X dan peralatan pendukung, dan membuat prosedur untuk menetapkan audit indikator mutu (seperti analisis pengulangan penyinaran, analisis penyinaran yang melebihi nilai DRL).

Potensi risiko yang dapat diterima oleh pasien pada situasi keadaan darurat sebagai contoh adalah sebagai berikut [10]:

- Pasien mendapatkan paparan radiasi pada bagian tubuh yang tidak seharusnya terjadi (misalnya penyinaran dada namun berkas sinar X sampai pada kepala);
- Pasien mendapatkan paparan radiasi yang berulang (misalnya karena posisi penyinaran tidak sesuai yang dibutuhkan dokter, citra film kurang jelas);
- Pada sistem pencitraan digital, pasien diberikan dosis radiasi yang lebih tinggi dari yang seharusnya karena ingin mendapatkan citra diagnostik yang jelas;
- Pasien mendapat paparan radiasi yang terlalu lama karena proses radiologi intervensional tidak dapat dilakukan dengan cepat dan lainnya.

Pekerja radiasi dapat menerima paparan radiasi antara lain pada saat melakukan pencitraan pasien dan tindakan radiologi intervensional pada pasien.

Kendali mutu Pesawat Sinar-X

Pada kuesioner untuk parameter kendali mutu, ditanyakan ke fasilitas terkait ketersediaan prosedur dan pelaksanaan program perbaikan dan perawatan untuk pesawat sinar-X. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa 90,2% fasilitas sudah memiliki prosedur dan melaksanakan program perbaikan dan perawatan.

Kendali mutu internal pesawat sinar-X dilakukan pada setiap jenis pesawat sinar-X yang dimiliki, antara lain: program perawatan dan perbaikan untuk semua pesawat sinar-X secara rutin dan berkala. Parameter uji dan frekuensi pengujian serta nilai keandalan/toleransi yang dapat diterima dapat mengacu pada protokol pabrikan. Kendali mutu internal dilakukan oleh petugas yang berkompeten dan/atau disupervisi oleh fisikawan medik.

Kendali mutu eksternal dilakukan antara lain melalui uji kesesuaian pada setiap jenis pesawat sinar-X yang dimiliki. Uji kesesuaian wajib dilaksanakan oleh penguji berkualifikasi sesuai dengan ketentuan Peraturan BAPETEN No. 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Radiologi Intervensial.

Kemampuserapan pelaksanaan kendali mutu pesawat sinar-X yang besar ini didukung oleh adanya ketersediaan sumber daya, baik dari sisi kepemilikan alat kendali mutu mandiri dan sumber daya manusia. Daya dorong yang paling signifikan terkait kemampuserapan kendali mutu ini karena didukung adanya implementasi pelaksanaan uji kesesuaian.

Secara keseluruhan, dari hasil dari tinjauan awal kemampuserapan dalam pelaksanaan kajian keselamatan di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional menunjukkan suatu capaian yang sudah baik namun perlu ditingkatkan kemampuserapannya. Salah satu tantangan yang dihadapi ke depan adalah upaya meningkatkan kemampuserapan pelaksanaan kajian keselamatan oleh fasilitas. Tantangan ini dapat dicarikan solusinya seperti, kebutuhan peningkatan upaya pembinaan yang memadai ke para pemohon dan pemegang izin, dan menyediakan dokumen-dokumen pendukung seperti panduan atau pedoman pelaksanaan kajian keselamatan dan implementasinya.

KESIMPULAN

1. Sesuai dengan pemetaan kemampuserapan yang dilakukan berdasarkan kuesioner, diperoleh informasi bahwa lebih dari 76,4% fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional mampu untuk melaksanakan kajian keselamatan.
2. Diperlukan suatu upaya untuk menjaga dan meningkatkan kemampuserapan pelaksanaan kajian keselamatan seperti program pembinaan, sosialisasi, dan penyediaan panduan atau pedoman terkait

kajian keselamatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Presiden Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah No.33 Tahun 2007 tentang *Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, 2007*.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang
- [3] *Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*, Jakarta, 2013.
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA), *General Safety Requirement Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, Vienna, 2014
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA), *General Safety Requirements Part 4 (Rev.1) Safety Assessment for Facilities and Activities*, IAEA, Vienna, 2016.
- [6] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha Dan Standar Produk Pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran, BAPETEN, Jakarta.
- [7] Danish Health Authority, *Safety Assessments In connection with use of radiation sources*, Guide, Danish Health Authority, www.sst.dk, 2021.
- [8] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Peraturan BAPETEN No. 4 Tahun 2020 tentang *Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat Sinar-X alam Radiologi Diagnostik Dan Intervensional*, BAPETEN, Jakarta, 2021.
- [9] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Pedoman Teknis Keselamatan Radiasi di Fasilitas Radiologi Diagnostik dan Intervensional, BAPETEN, Jakarta, 2015.
- [10] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Pedoman Teknis Kajian Keselamatan (*Safety Assessment*) Sumber di Fasilitas, BAPETEN, Jakarta, 2021.
- [11] C. J. Martin *et al.*, "Unintended and accidental medical radiation exposures in radiology: Guidelines on investigation and prevention," *J. Radiol. Prot.*, vol. 37, no. 4, 2017



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PEMANTAUAN ESTIMASI DOSIS MATA PEKERJA RADIASI PADA PEMERIKSAAN FLUOROSKOPI DI RADIOLOGI RS MITRA KELUARGA KELAPA GADING

Adi Andhika¹, Mariatul Kiftia²

¹Rumah Sakit Mitra Keluarga Kelapa Gading

e-mail: adiandhika182@gmail.com, radiologi2.kg@mitrakuuarga.com

Abstrak. Saat masih diberlakukannya Peraturan Bapeten Nomor 8 Tahun 2011 terdapat nilai batas dosis ekuivalen untuk organ mata yaitu sebesar 150 mSv per tahun, sedangkan pada Peraturan Bapeten Nomor 4 Tahun 2013 nilai batas dosis ekuivalen untuk organ mata turun yaitu menjadi sebesar 20 mSv per tahun. Mengenai hal tersebut perlu dilakukan pemantauan dilapangan untuk menyelidiki apakah selama ini nilai dosis ekuivalen untuk organ mata di Rumah Sakit Mitra Keluarga Kelapa Gading cukup besar atau tidak melebihi nilai batas dosis yang ada, dikarenakan sebelumnya belum pernah ada pemantauan untuk dosis organ mata bagi pekerja radiasi yang melakukan pemeriksaan Fluoroskopi. Fisikawan Medis sebagai fungsinya sangat berperan penting dilapangan dalam melakukan pemantauan dosis ekuivalen organ mata bagi pekerja radiasi yang melakukan tindakan Fluoroskopi. Pemantauan ini mulai dilakukan yaitu pada awal tahun 2019 sampai dengan akhir tahun 2021. Pemantauan ini sekaligus menjadi panduan praktis dalam menentukan estimasi dosis pada organ mata pekerja radiasi. Metode yang digunakan untuk pemantauan dosis organ mata ini yaitu dengan cara memanfaatkan hasil INAK (*Incident Air Kerma*) yang terdapat pada aplikasi Siintan, lalu dilakukan perhitungan dan konversi sesuai dengan rumus. Hasil dari pemantauan ini yaitu ditemukan nilai estimasi dosis organ mata dalam satuan mSv (milisivert), dimana untuk nilai estimasi dosis mata maximal nilainya cukup besar dan bervariasi untuk per tahunnya, yaitu pada tahun 2019 sebesar 2.772642 mSv, untuk tahun 2020 yaitu sebesar 5,006106 mSv dan pada tahun 2021 yaitu sebesar 17,188794 mSv. Dari hasil pemantauan tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun nilai dosis organ mata pekerja radiasi di Rumah Sakit Mitra Keluarga Kelapa Gading masih di bawah ambang batas 20 mSv per tahun namun tetap harus dilakukan pemantauan kembali karena nilainya relatif masih tinggi.

Kata kunci: Fluoroskopi, dosis mata, radiasi, INAK.

PENDAHULUAN

Pemantauan dosis mata pekerja radiasi merupakan implementasi justifikasi dalam penggunaan sumber radiasi penganon dibidang medik. Pemantauan dosis mata perlu dilakukan karena "lensa mata merupakan bagian mata paling sensitif terhadap radiasi. Terjadinya kekeruhan (katarak) atau hilangnya sifat transparansi lensa mata sudah mulai terdeteksi setelah pajanan radiasi rendah sekitar 0,5 Gy, bersifat kumulatif dan dapat berkembang hingga terjadi kebutaan. Katarak dapat terjadi setelah masa laten sekitar 6 bulan hingga 35 tahun, dengan rata - rata sekitar 3 tahun" [1].

Dalam Peraturan Bapeten Nomor 8 Tahun 2011 yang sebelumnya masih berlaku terdapat nilai batas dosis ekuivalen untuk organ mata yaitu sebesar 150 mSv per tahun, sedangkan pada Peraturan Bapeten Nomor 4 Tahun 2013 nilai batas dosis ekuivalen untuk organ mata turun yaitu menjadi sebesar 20 mSv per tahun. Mengenai hal tersebut perlu dilakukan pemantauan dilapangan untuk menyelidiki apakah selama ini nilai dosis ekuivalen untuk organ mata di Rumah Sakit Mitra Keluarga Kelapa Gading cukup besar atau tidak melebihi nilai batas dosis yang ada, dikarenakan sebelumnya belum pernah ada pemantauan untuk dosis organ mata bagi pekerja radiasi yang melakukan pemeriksaan flouroskopi.

Demi terciptanya kesehatan dan keselamatan kerja dalam lingkungan radiasi, Fisikawan Medis sebagai fungsinya sangat berperan penting dilapangan dalam melakukan pemantauan dosis ekuivalen organ mata pada pekerja radiasi yang melakukan tindakan Flouroskopi. Pemantauan ini mulai dilakukan yaitu pada awal tahun 2019 sampai dengan akhir tahun 2021. Harapannya pemantauan ini dapat bermanfaat dan dapat menjadi panduan praktis bagi pembaca dalam menentukan estimasi dosis organ mata pekerja radiasi. Metode yang

digunakan dalam pemantauan dosis organ mata ini yaitu dengan memanfaatkan nilai INAK (*Incident Air Kerma*) yang terdapat pada aplikasi SiIntan Bapeten, lalu dilakukan perhitungan dan konversi sesuai dengan rumus yang tersedia pada makalah ini.

LANDASAN TEORI

Fluoroskopi adalah suatu alat yang digunakan untuk studi visual (langsung) jatuhnya bayangan laten dari tabir fluoroskopi menjadi bayangan permanen pada film atau spot film, dalam aplikasi medik fluoroskopi digunakan untuk memvisualisasikan gerakan dari struktur - struktur internal. Seorang Radiografer maupun dokter Radiologi dapat mengamati gambaran struktur organ secara dinamik (*real time imaging*) mengikuti kebutuhan pencitraan yang diinginkan, dan menggunakan waktu yang lama. Sehingga dosis radiasi yang diterima juga akan semakin besar yang mengakibatkan kemunculan efek juga akan semakin besar [7].

Lensa mata adalah salah satu organ yang rentan dan sensitiv terhadap radiasi karena pada lensa mata terdapat kumpulan - kumpulan sel yang aktif membelah diri, yang dapat rusak jika terkena radiasi [3]. Kerusakan pada lensa mata diawali dengan terbentuknya titik - titik kekeruhan atau hilangnya sifat transparansi sel serabut lensa yang mulai dapat dideteksi setelah paparan radiasi 500 mGy [7].

Dosis radiasi yang diterima oleh seorang pekerja radiasi dalam menjalankan kegiatannya tidak boleh melebihi nilai batas dosis (NBD) yang telah ditentukan oleh regulasi dalam hal ini BAPETEN. Menurut Perka Bapeten No 4 Tahun 2013 nilai batas dosis untuk organ mata yang merupakan dosis ekuivalen yaitu tidak boleh melebihi 20 mSv per tahun.

Hubungan antara peluang timbulnya efek biologi tertentu akibat penerimaan dosis ekuivalen pada suatu jaringan juga bergantung pada organ atau jaringan yang tersinari. Untuk menunjukkan keefektifan radiasi dalam menimbulkan efek tertentu pada suatu organ diperlukan besaran baru yang disebut dengan dosis efektif. Besaran ini merupakan penurunan dari besaran dosis ekuivalen yang dibobot. Faktor pembobot dosis ekuivalen untuk organ T disebut faktor bobot jaringan (W_T). Nilai W_T dipilih agar setiap dosis ekuivalen yang diterima seragam di seluruh tubuh menghasilkan dosis efektif yang nilainya sama dengan dosis ekuivalen yang seragam itu[2]. Secara matematis besaran dan satuan dosis radiasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$H = D \times W_R \quad (1)$$

$$E = H \times W_T = D \times W_R \times W_T \quad (2)$$

Keterangan :

- D = Dosis serap (mGy)
- E = Dosis ekuivalen efektif (mSv)
- H = Dosis ekuivalen (mSv)
- W_R = Faktor bobot radiasi = 1
- W_T = Faktor bobot Jaringan = 0.12

Incident Air Kerma (INAK) adalah kerma udara yang diukur pada jarak fokus ke detector 100 cm tanpa hambur balik. Untuk lebih mudahnya, detektor dipasang sekitar 23 sampai dengan 40 cm diatas meja pemeriksaan. Hal tersebut untuk mereduksi atau menghindari adanya hambur balik (*backscatter*). INAK dengan kata lain adalah kerma tanpa *backscatter* [4].

Formulasi rumus yang digunakan dalam melakukan perhitungan estimasi dosis mata yaitu menggunakan rumus mencari dosis efektif, dimana nilai H atau INAK yang diukur pada jarak 1 meter dari berkas utama dibagi dengan faktor koreksi jarak (r) personel yang berdiri di samping pasien, lalu dikalikan dengan faktor koreksi konservasi dan faktor bobot jaringan organ mata, untuk lebih jelasnya yaitu sebagai berikut :

$$E = 0,5 \times H \times W_T = 0,5 \times (INAK/r^2) \times 0,12 \quad (3)$$

Dengan:

- INAK = diperoleh dari aplikasi SiIntan
- r = Jarak terdekat dari pasien ke petugas radiasi (1 meter)
- W_T = Faktor bobot Jaringan organ mata = 0.12 [3]

Konstanta 0,5 digunakan untuk faktor koreksi konservatif dari nilai INAK (dosis entrans ke pasien) ke dosis petugas radiasi lensa mata [5], [6].

METODE / METODOLOGI

Pemantauan ini bersifat penelitian yang dilakukan di Rumah Sakit Mitra Keluarga Kelapa Gading mulai dari awal tahun 2019 sampai dengan akhir tahun 2021, penelitian ini dilakukan untuk menentukan estimasi dosis radiasi yang diterima oleh organ mata pekerja radiasi yang melakukan tindakan pemeriksaan Fluoroskopi di

Radiologi Rs Mitra Keluarga Kelapa Gading. Sehingga nanti akan ditemukan apakah nilai estimasi dari dosis radiasi organ mata tersebut termasuk besar, kecil, atau masih dalam batas ambang.

Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pertama melakukan uji kesesuaian terlebih dahulu untuk memperoleh nilai INAK nya. Data yang diolah antara lain : nilai uji keakuratan tegangan, koefisien linearitas output dan persamaan keluaran radiasi. Selanjutnya yang kedua memasukan nilai hasil data olahan uji kesesuaian kedalam aplikasi SiIntan Bapeten. Setelah hasil olahan data sudah dimasukan kedalam aplikasi SiIntan, tahap yang ketiga yaitu lakukan penginputan atau pelaporan data pasien ke aplikasi SiIntan seperti pada gambar 1.

GAMBAR 1. Penginputan Pada Aplikasi SiIntan (Sumber : Aplikasi Si-INTAN)

Setelah data pasien selesai diinput (*save change*) maka secara otomatis nilai INAK dan ESAK akan muncul Seperti pada gambar 2 dibawah ini. Nilai INAK pada aplikasi SiIntan inilah yang akan digunakan dalam menghitung nilai estimasi dosis radiasi organ mata dengan cara memasukan nilai INAK tersebut kedalam persamaan rumus ke 3.

No	Kode Pasien	Nama Pasien	Jenis Kelamin	Umur	Berat Badan (Kg)	kV	mA	Fluoro (manit)	FSD (cm)	INAK (mGy)	ESAK (mGy)	Aksi
1	673733	YZU, Ny	Female	37	62	93	1.4	0.9	95	0.2904	0.3721	

GAMBAR 2. Hasil INAK dan ESAK (Sumber : Aplikasi SiIntan)

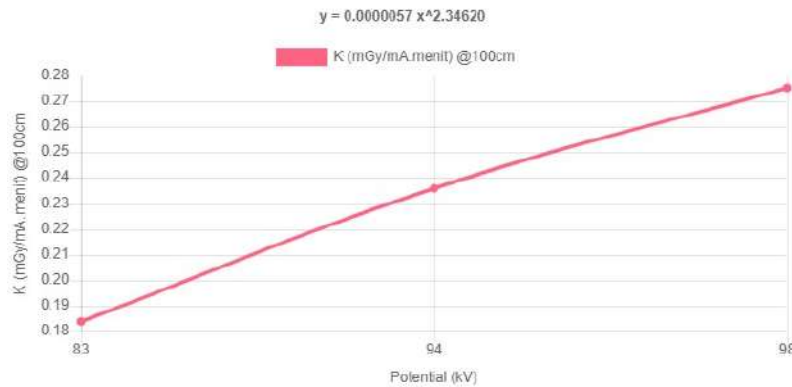
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi nilai dosis radiasi yang diterima oleh organ mata dengan menggunakan pesawat sinar-x fluoroskopi. Dalam mengestimasi nilai dosis yang diterima organ mata, uji kesesuaian alat harus dilakukan sebelumnya karenan untuk memastikan alat yang digunakan itu handal, selain itu uji kesesuaian digunakan untuk memperoleh nilai *output* radiasi yang digunakan untuk menentukan nilai INAK dari alat tersebut. Berikut hasil olahan dari uji kesesuaian yang diperoleh pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Hasil Olahan Uji Kesesuaian

kV	mAs	mGy/minute	mGy/(mA.minute)
83	72	13.218	0.18
94	84	19.836	0.24
98	90	24.792	0.28

Hasil olahan uji kesesuaian pada tabel 1 diatas kemudian di masukan ke dalam aplikasi SiIntan pada bagian pelaporan *output* pesawat, setelah dimasukan aplikasi SiIntan secara otomatis akan menghitung dan membuat grafik hubungan antara nilai tegangan (kV) terhadap nilai keluaran radiasi (mGy/mA.minute), sehingga akan didapatkan persamaan keluaran radiasi (y) yang dimana persamaan tersebut digunakan untuk menentukan nilai INAK yang secara otomatis sudah dihitung oleh aplikasi SiIntan. Oleh karena itu dengan hanya menginput data pasien pada aplikasi SiIntan kita sudah dapat memperoleh nilai INAK nya. Grafik hubungan antara tegangan (kV) terhadap nilai keluaran radiasi (mGy/mA.minute) dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



GAMBAR 3. Grafik hubungan antara tegangan (kV) terhadap nilai keluaran radiasi (mGy/mA.minute) (Sumber : Aplikasi SiIntan)

Pada Gambar 3, dapat dilihat bahwa semakin tinggi pengaturan tegangan (kV) yang diberikan pada suatu penyinaran, maka keluaran radiasi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Besar kenaikan keluaran radiasi tabung sinar -x dari pesawat fluoroskopi yang digunakan ditunjukkan oleh persamaan (y).

Estimasi dosis organ mata dapat dihitung dengan memasukkan nilai INAK dari aplikasi SiIntan kedalam rumus pada persamaan ke 3. Hasil dari perhitungan setiap harinya di akumulasikan untuk setiap bulannya, kemudian hasil setiap bulannya di akumulasikan sehingga diperoleh nilai estimasi dosis mata untuk setiap tahunnya. Dari hasil akumulasi diperoleh hasil estimasi dosis organ mata untuk setiap tahunnya sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Akumulasi Estimasi Dosis Organ Mata

Estimasi Dosis Radiasi Organ Mata (mSv)					
2019		2020		2021	
Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
2.772642	0.20577	5.006106	0.51223	17.188794	0.146694

Tabel 2 merupakan hasil temuan dari pemantauan estimasi organ mata pada pekerja radiasi setelah melakukan pemeriksaan fluoroskopi, dapat dilihat bahwa akumulasi setiap tahunnya terdapat nilai maximum dan minimum. Nilai maximum mengidentifikasikan banyaknya dosis radiasi yang diterima oleh pekerja, hal itu disebabkan karena lamanya durasi atau seringnya pekerja melakukan pemeriksaan fluoroskopi. Sedangkan nilai minimum mengidentifikasikan paling sedikitnya pekerja menerima dosis radiasi organ mata. Jika kita amati pada tabel 2, bahwa setiap tahunnya mulai dari tahun 2019 sampai dengan tahun 2021 nilai dosis maximum mengalami peningkatan, hal tersebut dikarenakan jumlah pasien yang meningkat setiap tahunnya. Dari hasil pemantauan estimasi ini telah ditemukan bahwa nilai dosis organ mata yang diperoleh selama ini yaitu cukup besar, namun jika di evaluasi dengan regulasi dalam hal ini Perka Bapeten No 4 Tahun 2013 yang dimana batas ambang untuk nilai dosis organ mata yaitu 20 mSv per tahun maka nilai dosis maximum yang diperoleh dari hasil pemantauan ini masih dibawah dosis ambangnya. Walaupun nilai estimasi dosis organ mata ini masih dibawah ambang batas, tetap perlu dilakukan kontrol atau pemantauan lebih lanjut dikarenakan nilainya relative masih tinggi, dan jika jumlah pasien bertambah maka akan bertambah juga nilai dosisnya dikawatirkan melebihi nilai ambang batas.

KESIMPULAN

Merujuk pada hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pesawat sinar-x fluoroskopi yang digunakan memiliki parameter keluaran yang stabil. Dimana dapat dilihat dari gambar grafik hubungan antara tegangan (kV) terhadap nilai keluaran radiasi (mGy/mA.minute) yaitu bersifat linier, bahwa semakin tinggi pengaturan tegangan (kV) yang diberikan pada suatu penyinaran, maka keluaran radiasi yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Selanjutnya dari hasil pemantauan estimasi dosis radiasi organ mata yang dilakukan ditemukan nilai dosis yang cukup tinggi selama ini, dan untuk setiap tahunnya dari tahun 2019 sampai dengan tahun 2021 nilainya cukup bervariasi, yaitu pada tahun 2019 sebesar 2.772642 mSv, untuk tahun 2020 yaitu sebesar 5,006106 mSv dan pada tahun 2021 yaitu sebesar 17,188794 mSv. Jika di evaluasi dengan regulasi nilai dosis organ mata tersebut masih dibawah ambang batas yaitu 20 mSv per tahun, walaupun demikian tetap perlu dilakukan kontrol dan pemantauan lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada bapak Rusmanto yang memberikan kesempatan dan bimbingannya, terima kasih juga kepada Rumah Sakit Mitra Keluarga Kelapa Gading yang telah memfasilitasi dan mendukung, serta terima kasih juga kepada rekan - rekan Radiografer RS Mitra Keluarga Kelapa Gading yang sangat kooperatif dalam bekerja sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hiswara Eri, Buku Pintar Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Di Rumah Sakit, Batan Press, Jakarta Selatan, 2015.
- [2] Akhadi Mukhlis, Dasar-dasar Proteksi Radiasi, Rinekar, Jakarta, 1997.
- [3] A.Heru Nursama dkk, Dosis Radiasi Lensa Mata Pada Pemotretan Orbita Postero Anterior (PA) Axial Dan PA Axial Reverse, Seminar Nasional Pakar Ke 2, Buku 1 Sains Dan Teknologi, halaman 1.9.1, Jakarta, 2019.
- [4] Siintan Bapeten, Informasi Penting Tentang Data Dosis Pasien, Jakarta, 2015-2002.
- [5] Sara Principi, Development of Methodologies for Estimating the Dose to the Eye Lens in Interventional Radiology. Operational Implication of the Eye Lens new Dose Limit, Dissertation, Universitat Politecnica De Catalunya, Barcelona, Spanyol.
- [6] A.Obesso dkk, Eye Lens Radiation Exposure In Paediatric Interventional Treatment of Retinoblastoma, Artikel Scientific Reports, La Paz University Hospital, Madrid, Spanyol 2019.
- [7] Cicillia Artitin dkk, Pengukuran Dosis Radiasi Pada Organ Tiroid dan Mata Saat Pemeriksaan Fluoroskopi, Jurnal kesehatan Andalas, halaman 18 Vol 7, Sumatra Barat, 2018.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



DIGITALISASI PENGUKUR TEMPERATUR SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR KARTINI UNTUK INTERNET REACTOR LABORATORY

Wahyu Nur Hidayat^{a)}, Argo Satrio Wicaksono^{b)}, Resa Satria Adi Kuswandrata^{c)},
Aldhan Dewanto Putra^{d)}

*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran – Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. Babarsari kotak pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281*

^{a)} Corresponding author: wahyu052@brin.go.id

^{b)} argo002@brin.go.id

^{c)} resa001@brin.go.id

^{d)} aldh001@brin.go.id

Abstrak. *Internet Reactor Laboratory* (IRL) adalah sarana pembelajaran di laboratorium fisika reaktor menggunakan internet yang biasa digunakan untuk pembelajaran jarak jauh melalui website dan konferensi video. Penggunaan IRL menuntut semua data parameter operasi reaktor dalam bentuk digital. Dalam studi ini, IRL dikembangkan dengan merubah pengukur temperatur analog menjadi digital pada sistem pendingin primer. Proses yang dilakukan meliputi pemasangan mekanik, pengkondisian sinyal dan pemrograman sistem penampil data pada komputer informasi. Untuk mengolah data keluaran dari SIKA DT-04, ditambahkan rangkaian pengkondisi sinyal yang memiliki kelinearitasan mencapai 0,99. Selanjutnya data dimasukkan kedalam modul NI-9205 pada cRIO-9076 dan dilakukan pemrograman menggunakan Labview untuk sistem penampil pada komputer informasi. Hasilnya perubahan temperatur dapat dipantau melalui komputer informasi dan dapat digunakan untuk kegiatan IRL. Digitalisasi ini sangat bermanfaat dalam mendukung proses pembelajaran IRL dan juga membantu operator memantau parameter temperatur sistem pendingin primer secara *real time* selama pelaksanaan prosedur operasi Reaktor Kartini.

Abstract. *Internet Reactor Laboratory* (IRL) is a learning tool on reactor physics laboratory using internet which is usually used in a distance learning through websites and video conferences. The use of IRL requires all reactor operating parameter data in the form of digital data. In this study, IRL was developed by converting the analog temperature gauge to digital in the primary cooling system. The process includes mechanical installation, signal conditioning, and programming of the data display system on the information computer. To process the output data from SIKA DT-04, a signal conditioning circuit is added which has a linearity of 0.99. Furthermore, the data is entered into the NI-9205 module on the cRIO-9076, and programming is done using Labview for the display system on the information computer. As a result, temperature changes can be monitored via an information computer and can be used for IRL activities. The results of this digitalization are very useful in supporting the IRL learning process and also helping operators monitor the primary cooling system temperature parameters in real time during the Kartini Reactor operating procedures.

PENDAHULUAN

Reaktor Kartini di PSTA-BATAN Yogyakarta merupakan salah satu jenis reaktor riset buatan General Atomic yang dapat digunakan untuk keperluan pelatihan, penelitian dan Pendidikan [1, 2]. Untuk meningkatkan utilisasi Reaktor Kartini, maka sejak tahun 2014 telah dikembangkan *Internet Reactor Laboratory* (IRL). *Internet Reactor Laboratory* (IRL) adalah sarana pembelajaran di laboratorium fisika reaktor menggunakan internet yang biasa digunakan pembelajaran jarak jauh melalui website dan konferensi video [3]. Proses pengembangan IRL telah mengalami perubahan sampai diperoleh versi terakhir dan telah dibahas terpisah [3, 4]. Secara umum, reaktor Kartini sendiri terdiri dari kolam reaktor, sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder, menara pendingin, sistem utilitas, sistem instrumentasi dan kontrol, dan lain sebagainya [5]. Sistem pendingin primer merupakan bagian yang sangat penting selama operasi reaktor. Sistem ini berfungsi untuk memindahkan panas yang dihasilkan dalam kolam reaktor ke sistem pendingin sekunder [5].

Untuk mendukung program IRL, maka beberapa alat ukur analog pengukuran parameter operasi, khususnya pada sistem pendingin yang digunakan selama ini harus diubah menjadi instrumen digital. Hal ini dilakukan

agar parameter tersebut dapat diakuisisi datanya, sehingga diolah menjadi data yang dapat ditampilkan pada komputer informasi selama kegiatan praktikum online menggunakan IRL. Selama ini telah dikembangkan beberapa modul praktikum diantaranya operasi reaktor, kalibrasi daya, koefisien negatif temperatur bahan bakar, kekritisian, kalibrasi batang kendali reaktor, pengukuran fluks neutron, gamma scanning, dan fraksi neutron tunda [3]. Untuk melaksanakan modul praktikum tersebut, parameter sistem pendingin primer yang perlu dipantau selama pelaksanaan operasi reaktor diantaranya adalah laju alir serta temperatur inlet dan outlet dari penukar panas. Untuk pengukuran laju alir sudah menggunakan alat ukur berbasis ultrasonik digital yang datanya sudah tertampil pada komputer informasi. Sedangkan alat pengukur temperatur air pendingin primer masih menggunakan termometer kaca dengan skala pembacaan terbatas, dan berpotensi menimbulkan ralat parallax saat pengamatan. Kebutuhan akan data digital dari temperatur inlet dan outlet pendingin primer menjadi penting, karena bersama data laju alir adalah parameter yang dapat digunakan dalam menu pengembangan praktikum kalibrasi daya reaktor metode stasioner [6].

Sistem pendingin primer Reaktor Kartini terdiri dari fluida air demineralizer, pompa, unit penukar panas dan pipa-pipa. Pipa-pipa tersebut memiliki ukuran diameter 2,5" dengan bahan yang terbuat dari Aluminium 1050 [7]. Selanjutnya alat ukur temperatur yang akan digunakan adalah SIKA DT-04 digital. Alat ukur ini memiliki dimensi yang berbeda dan akan menggantikan fungsi dari alat termometer kaca yang lama. Keluaran sinyal dari SIKA DT-04 digital ini berupa arus sebesar 4-20mA.

IRL berbasis web telah dikembangkan oleh BATAN menggunakan LabVIEW sebagai perangkat lunak akuisisi data dan MySQL sebagai manajemen basis data. IRL berbasis web dapat diakses menggunakan perangkat lunak browser situs web. Parameter operasi Reaktor Kartini ditampilkan di situs web IRL [8]. Semua data parameter reaktor Kartini saat ini diolah menggunakan cRIO-9076 yang selanjutnya ditampilkan pada komputer informasi di ruang kendali utama. cRIO-9076 sendiri adalah suatu perangkat elektronika yang digunakan sebagai pengontrol dan pengolah data di industri dengan sistem real time yang di buat oleh National Instrument. Untuk menggunakannya dibutuhkan modul kartu tambahan sebagai input-output. Modul tambahan input yang telah digunakan adalah NI-9205. Dimana setiap saluran memiliki rentang input yang dapat diprogram dari ± 200 mV, ± 1 V, ± 5 V, dan ± 10 V. Pemrograman cRIO-9076 sendiri dilakukan menggunakan Labview, yaitu sebuah software pemograman yang diproduksi National Instrument dengan bahasa pemograman berbasis grafis yang menggunakan icon sebagai ganti bentuk teks untuk menciptakan aplikasi [9].

Proses digitalisasi pengukur temperatur sistem pendingin primer reaktor kartini untuk IRL memiliki tujuan untuk memperoleh data digital parameter temperatur pada sistem pendingin primer yang dapat diamati secara *real time*. Sehingga, sangat mendukung proses pembelajaran IRL dan juga membantu operator dalam pemantauan selama pelaksanaan prosedur operasi Reaktor Kartini. Metode yang dilakukan meliputi pembuatan *housing temperature gauge*, pengelasan *housing* pada pipa pendingin primer, instalasi dan pemrograman pada modul NI-9205 dan cRIO-9076, pengujian sinyal konverter dan tampilan.

METODE

Pengembangan akuisisi data temperatur sistem pendingin primer reaktor kartini sendiri terdiri dari beberapa tahap yaitu:

1. Instalasi mekanik SIKA DT-04 digital pada pipa sistem pendingin primer.

Proses instalasi mekanik *housing* termometer SIKA dilakukan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

- a) Pembuatan *Housing*

Pembuatan *housing* dilakukan oleh PT. MBG sesuai dengan desain yang telah dibuat sebelumnya.

- b) Pelepasan Pipa-pipa Pendingin Primer

Karena proses pengelasan dilakukan di PT. MBG, maka pipa-pipa pendingin yang akan dipasang *housing* harus dilepas dari jalur pipanya. Prosesnya diawali dengan melepas *watermur* pada ujung-ujung pipa, kemudian setiap ulir pada pipa dibungkus menggunakan kain agar tidak terjadi kerusakan karena benturan selama perjalanan. Sebelum dibawa oleh mobil, petugas proteksi radiasi juga telah melakukan pengukuran paparan dan kontaminasi pada pipa dengan melakukan tes usap. Hasilnya paparan menunjukkan nilai latar dan tidak terdapat kontaminasi zat radioaktif pada pipa pendingin.

- c) Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan menggunakan las GTAW dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Pengeboran

Pipa dilubangi dengan diameter 25 mm untuk memasukkan *housing*.

- 2) Pengelupasan cat

Cat yang berada disekitar lubang *housing* harus dibersihkan sampai bersih, kemudian dilap menggunakan cairan aseton.

- 3) Pengelasan

Housing dilas menggunakan proses GTAW dimana gas yang digunakan adalah gas argon, kemudian *filler rod*nya yaitu *aluminum series 1050* dan polaritasnya menggunakan arus AC yang sangat direkomendasikan untuk bahan aluminium [10].

4) *Flushing*

Flushing disini berguna untuk menghilangkan pengotor sisa-sisa pengerjaan sehingga siap untuk langsung dipasang. Metodenya yaitu air bertekanan disemprotkan ke dalam saluran pipa hingga seluruh kotoran yang ada didalamnya keluar.

d) Pemasangan kembali

Pipa-pipa pendingin yang telah melalui tahapan-tahapan diatas kemudian dibawa kembali untuk dilakukan pemasangan. Seluruh instrumen kembali dipasang termasuk termometer SIKA

e) *Pressure* tes

Pipa yang telah terpasang seluruh instrumen kemudian dilakukan *pressure* tes dengan mengalirkan air melalui katub-katup yang dibuka secara perlahan, kemudian menggunakan pompa primer sebagai tekanan kerja sesungguhnya.

2. Instalasi pengkondisi sinyal SIKA DT-04 untuk modul NI-9205 pada cRIO-9076.

Untuk membuat *signal converter* telah digunakan rangkaian pengubah arus ke tegangan. Rangkaian ini bekerja dengan mengalirkan arus keluaran SIKA DT-04 pada tahanan sehingga dapat diukur tegangannya. Resistor dan tambahan kapasitor digunakan dalam rangkaian untuk menstabilkan tegangan agar respon terhadap perubahan temperatur lebih linear.

Selanjutnya dilakukan pengujian respon perubahan temperatur pada SIKA DT04 terhadap keluaran *signal converter*. SIKA DT04 yang telah dihubungkan dengan *signal converter* kemudian dikondisikan pada temperatur kamar, dan dipanaskan sampai mencapai 100°C menggunakan *heat gun*.

Langkah selanjutnya adalah mengubah tegangan menjadi variabel angka ke dalam fungsi blok numerik, sesuai dengan persamaan garis lurus yang diperoleh untuk masing-masing SIKA DT04. Hal ini dilakukan dengan cara menambahkan blok diagram yang telah dibuat pada front panel.

3. Pengujian Aplikasi pada Komputer Informasi

Pengujian dilakukan dengan menjalankan aplikasi *LabView* yang telah dikembangkan sebelumnya, setelah penambahan blok untuk parameter suhu pendingin primer.

Untuk dapat menggunakan SIKA DT-04 digital pada sistem pendingin primer, perlu dilakukan pengelasan *housing*udukan sensor. Sehingga terlebih dahulu dilakukan desain posisi *housing* pada sistem pendingin primer. Desain dibuat sedemikian rupa, agar sensitivitas sensor dapat bekerja optimal. Selain itu dipertimbangkan juga tekanan yang sekiranya muncul pada sambungan *housing* saat fluida air pendingin primer mengalir pada pipa primer.

Proses pengelasan *housing* pada pipa ini menggunakan proses pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) yaitu sebuah proses yang dilakukan dengan menggunakan busur las antara elektroda berbahan dasar tungsten yang tidak habis pakai dan benda kerja yang akan disambung [11]. Pada pengelasan GTAW, elektroda atau tungsten ini hanya berfungsi sebagai penghasil busur listrik saat bersentuhan dengan benda kerja, sedangkan untuk logam pengisi adalah *filler rod*. Berikut alat-alat yang dibutuhkan dalam Teknik pengelasan GTAW:

1. *Welding Torch*

Welding torch memegang elektroda tungsten yang mengalirkan arus ke busur, dan menyediakan sarana untuk melindungi busur dan logam cair [11].

2. Tabung Gas

Tabung gas pada pengelasan TIG ini berfungsi sebagai penyimpan gas pelindung yang digunakan untuk proses pengelasan TIG. Pada pengelasan TIG ini digunakan gas pelindung Argon, Helium atau Argon mix dengan Helium. Saat proses pengelasan, tabung gas dibuka beserta regulatornya kemudian gas akan disalurkan melalui selang ke *welding torch* [10].

3. *Filler Rod*

Pada pengelasan ini *filler rod* yang digunakan adalah *Aluminum series 1050*.

4. Tungsten

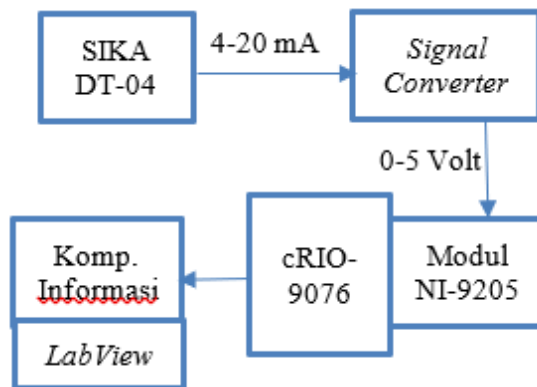
Dalam kegiatan ini telah digunakan tipe tungsten murni (pure tungsten) klasifikasi EWP yang memiliki warna hijau dan tidak bersifat radioaktif, sesuai untuk pengelasan arus bolak-balik dari aluminium, magnesium, dan campuran lainnya [10].

Pengelasan ini menggunakan polaritas AC dikarenakan bahan yang dilas adalah aluminium [10]. Hasil pengelasan perlu dipastikan rapat dan tidak boleh ditemukan adanya rembesan *fluida* saat sistem pendingin primer dioperasikan. Proses pengelasan oleh teknisi ditampilkan pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Proses Pengelasan *Housing* pada Pipa Pendingin Primer

Adapun SIKA DT-04 digital akan diletakkan pada sisi inlet dan outlet untuk unit penukar panas yang terdapat pada Reaktor Kartini. Setelah SIKA DT-04 digital telah dipastikan berhasil diinstal secara mekanik pada sistem pendingin primer, selanjutnya dilakukan instalasi dan pemrograman sehingga data digital temperatur dapat langsung dipantau melalui komputer informasi yang berada pada komputer informasi sesuai skema rangkaian akuisisi data temperatur pada Gambar 2 berikut:

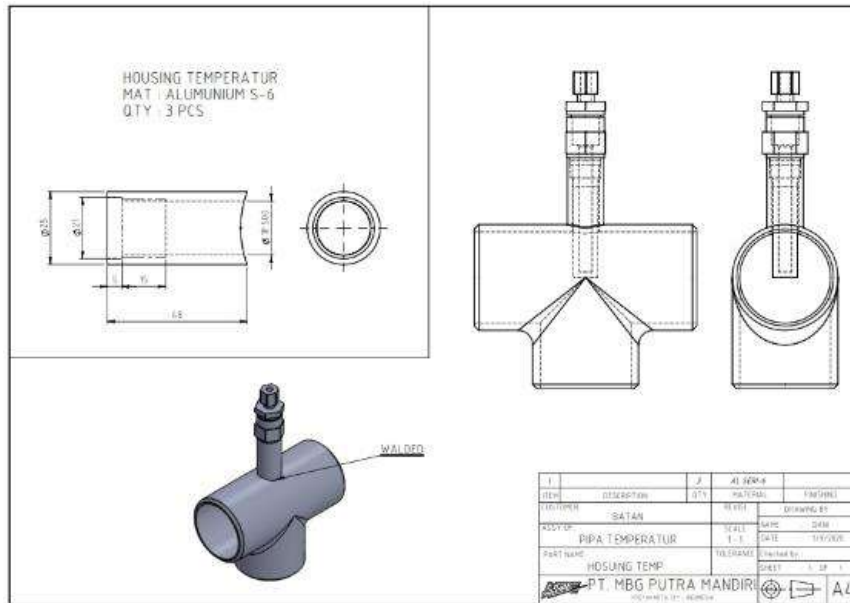


GAMBAR 2. Rangkaian Akuisisi Data Temperatur

Keluaran sinyal SIKA DT-04 berupa arus 4-20 mA yang linear terhadap perubahan temperatur. Sinyal ini harus dirubah terlebih dahulu menjadi tegangan dan dikirimkan pada modul NI-9205. Sinyal tegangan tersebut diolah oleh cRIO-9076. Data kemudian ditampilkan pada komputer informasi yang berada di ruang kendali utama Reaktor Kartini menggunakan aplikasi yang telah dikembangkan berbasis *LabView* sebelumnya.

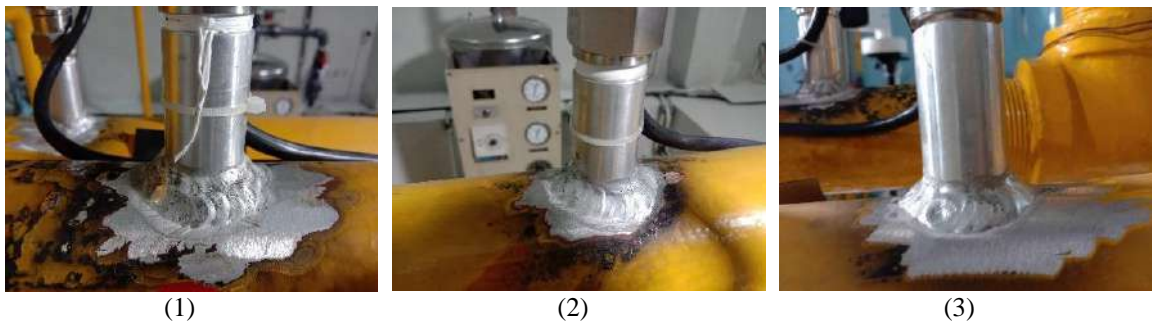
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil desain *housing* yang telah dibuat kemudian direalisasikan menjadi sebuah *housing* berbahan aluminium dengan hasil yang presisi.



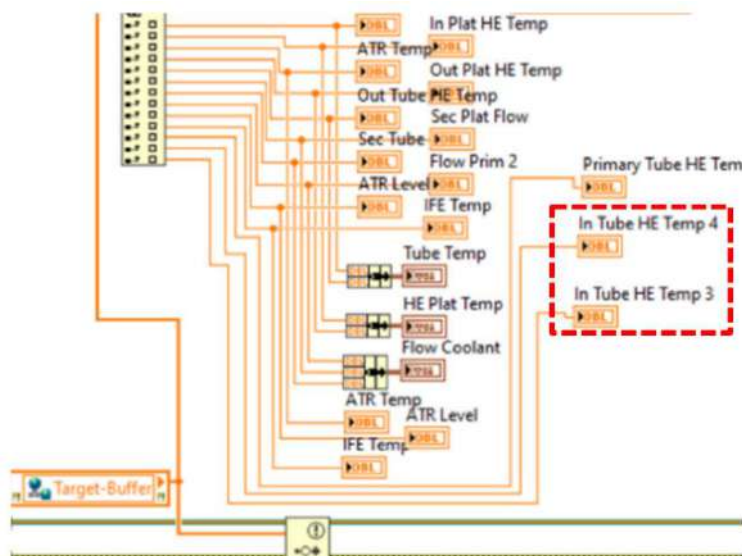
GAMBAR 3. Hasil desain *Housing* pada Pipa oleh Penulis

Housing tersebut terletak pada tiga titik pengukuran diantaranya: inlet HE tube, inlet HE plat dan outlet gabungan HE tube dan plat. Hasil dari pengelasan secara visual tidak terdapat *porosity*. Namun setelah dilakukan *pressure test* masih ada sedikit rembesan sebesar lubang jarum pada hasil las. Kemudian air dalam pipa dikuras dan dilakukan pengelasan kembali untuk menutup lubang jarum tersebut dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



GAMBAR 4. *Housing* 1, 2, dan 3

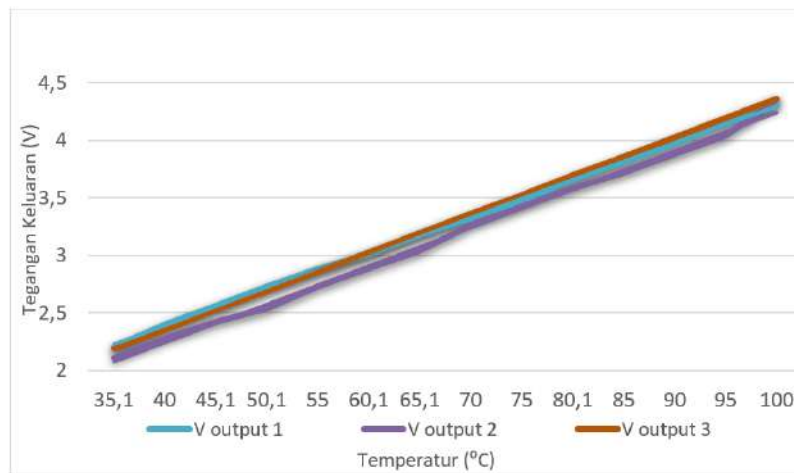
Hasil penambahan blok diagram pada front panel ditampilkan dengan kotak berwarna merah pada Gambar 5.



GAMBAR 5. Diagram Blok Penampil pada *Front Panel*

Penambahan diagram blok tersebut membuat perubahan pada *front panel* yang selanjutnya dapat dilihat saat aplikasi *Labview* dijalankan pada komputer informasi. Masing-masing penambahan variabel tersebut dapat digunakan menjadi sistem penampil data temperatur inlet dan outlet unit penukar panas.

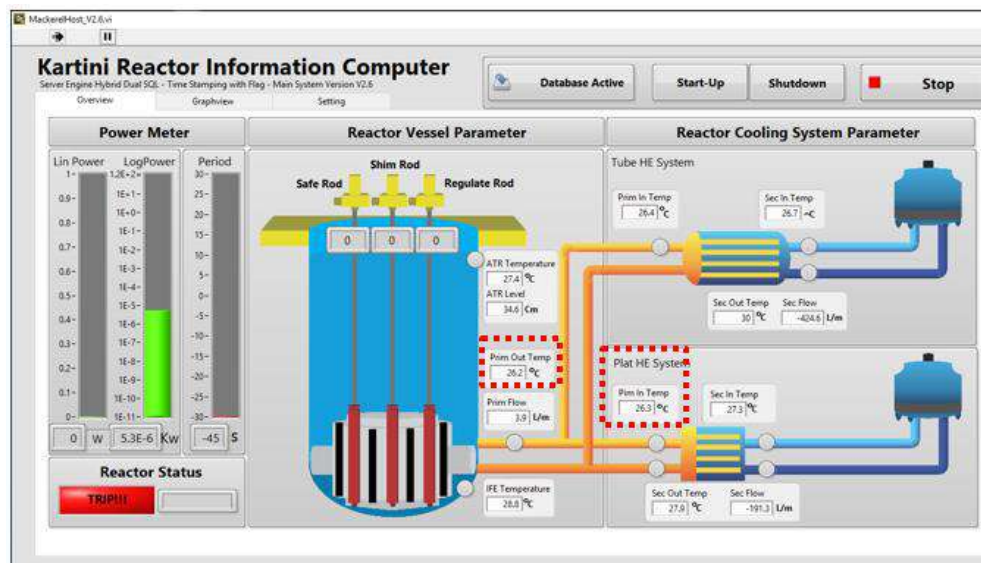
Hasil kurva pengujian respon perubahan temperatur pada SIKA DT04 terhadap keluaran *signal converter* ditampilkan pada Gambar 6 berikut:



GAMBAR 6. Kurva Respon Perubahan Tegangan Keluaran terhadap Temperatur

Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa respon SIKA DT04 yang dihubungkan pada rangkaian *signal converter* memiliki tingkat kelinearitas yang mencapai 0,99. Selain itu juga diperoleh persamaan garis lurus hubungan antara suhu dan tegangan yang akan digunakan dalam pemrograman *LabView*.

Hasil pengujian dengan menjalankan aplikasi *LabView* diperoleh sesuai dengan Gambar 7 berikut:



GAMBAR 7. Tampilan Aplikasi *Labview* pada Komputer Informasi

Hasil pengujian tampilan akuisisi data temperatur sistem pendingin primer telah sesuai. Dimana hasil pengukuran temperatur SIKA DT04 yang telah berhasil diinstal diberi tanda kotak merah. Untuk pengukur temperatur inlet diberi nama 'Prim in temp' sedangkan pengukur temperatur outlet diberi nama 'Prim out temp'. Pada pengembangan IRL di Reaktor Kartini, proses pembelajaran *real-time* menggunakan komunikasi data melalui database dan video *conference* secara bersamaan, sehingga ditentukan sistem akuisisi harus dapat menyediakan data dengan delay kurang dari 3000 ms [12]. Hal ini kemudian memberi kemanfaatan pada operator reaktor, instruktur IRL dan juga peserta dalam pengambilan data dan kecepatan transfer informasi selama praktikum berlangsung.

KESIMPULAN

Perubahan pembacaan alat ukur temperatur dari analog ke digital memberikan dampak yang berarti pada proses pembelajaran IRL. Kesalahan pembacaan dapat dieliminasi dan ketelitian dapat ditingkatkan daripada menggunakan *temperature gauge* sebelumnya. Hasil pemasangan mekanik pada pipa pendingin primer sempat

mengalami kendala, namun telah diuji dan dipastikan tidak terdapat kebocoran. Rangkaian pengkondisi sinyal yang ditambahkan memiliki kelinearitas mencapai 0,99. Hasil instalasi menunjukkan perubahan suhu pada saat reaktor beroperasi sudah dapat dipantau melalui komputer informasi secara *real time* dan dapat digunakan dalam kegiatan *internet reactor laboratory*. Hal ini juga sangat bermanfaat dalam mendukung proses pembelajaran IRL dan juga membantu operator memantau parameter temperatur sistem pendingin primer secara *real time* selama pelaksanaan prosedur operasi Reaktor Kartini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis memberikan apresiasi kepada semua pelaksana fungsi Reaktor Kartini DPFK BRIN yang telah mendukung selama proses instalasi alat ukur temperatur. Kegiatan instalasi ini didukung melalui dana DIPA PSTA BATAN.

REFERENCES

- [1] International Atomic Energy Agency, "History, Development and Future of TRIGA Research Reactors, Technical Report Series No.482," IAEA, Vienna, 2016.
- [2] T. W. Tjiptono and Syarif, "The Current Status of Kartini Research Reactor," in JAERI-Conf--98-015, 1998.
- [3] Taxwim, U. S. Hidayat, T. N. H. Susanto, M. Subchan, E. Sugianto, A. F. Anugerah, N. N. Aufanni, Z. Baskoro, R. Satria and W. Karsono, "The Current Status of The Internet Reactor Laboratory Kartini Research Reactor for Distance Learning Especially for Higher Education," Journal of Physics: Conference Series, vol. 1436, pp. 1-8, 2020.
- [4] E. Sugianto, Taxwim, T. N. H. Susanto, M. Subchan and U. S. Hidayat, "Development of Experiment Protocol for Internet Reactor Laboratory using Kartini Research Reactor," in Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir, Bandung, 2019.
- [5] Center for Accelerator Science and Technology-National Nuclear Energy Agency, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Kartini, Rev 2, Terbitan 2," Center for Accelerator Science and Technology-National Nuclear Energy Agency, Yogyakarta, 2019.
- [6] Syarif and P. I. Wahyono, "Experience in Nuclear Reactor Physics Laboratory Exercises using Kartini Research Reactor," Journal of Physics: Conference Series, vol. 1157, no. 3, 2019.
- [7] Center for Accelerator Science and Technology, Program Manajemen Penuaan Reaktor Kartini PMPRK 04.1/RN 00 02/STA 4, Yogyakarta, 2015.
- [8] A. Abimanyu, D. R. Prijono, A. Arif and Muhtadan, "Internet Reactor Laboratory Application Design on Android," AIP Conference Proceedings, vol. 2217, pp. 1-8, 2020.
- [9] E. D. Hartanto, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kinerja Pompa Sentrifugal dengan Wireless," Surabaya.
- [10] E. Oberg, F. D. Jones, H. L. Horton and H. H. Ryffel, Machinery's Handbook 29th edition, New York: Industrial Press, 2012.
- [11] Lamet and a. et, Welding Brazing and Soldering, ASM International, 1993.
- [12] M. S. Aulia, "Revitalisasi Sistem Akuisisi Data Reaktor Kartini Untuk Menunjang NTC dan IRL," STTN, Yogyakarta, 2017.
- [13] Syarif, A. Abimanyu, S. U. Hidayat, Taxwim and P. I. Wahyono, "Development of Internet Reactor Laboratory Using Kartini Reactor for Training and Education," in 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS), 2018.

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

Apa bentuk keluaran dari digital pressure yg digunakan, aruskah atau tegangan? dan berapa nilai besaran arus atau tegangan tersebut?

Jawaban

Sebagai koreksi, alat yang digunakan adalah digital temperatur bukan digital pressure. Kemudian output atau keluaran dari digital temperatur ini adalah berupa arus yang memiliki rentang 4-20mA yang kemudian dilewatkan sinyal konverter dengan memberikan R sebesar 250 Ohm, sehingga dihasilkan keluaran berupa tegangan yang bisa dibaca oleh cRIO. Berikut saya lampirkan gambar rangkaian sinyal converter dan hasil pengujiannya yang menyajikan data berupa temperatur dan tegangan.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PEMODELAN DAN PERHITUNGAN DISTRIBUSI ALIRAN PENDINGIN DI SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR TRIGA DENGAN ATHLET

Daddy Setyawan^{1, a)}

¹BAPETEN, Nuclear Energy Regulatory Agency for Indonesia, Jl. Gajah Mada no.8, Jakarta Pusat 10120 DKI Jakarta, Indonesia

d.setyawan@bapeten.go.id

Abstract. Reaktor TRIGA terdiri dari beberapa tipe disain dimulai dari tipe TRIGA MARK I, TRIGA MARK II, TRIGA MARK III dan TRIGA daya tinggi. Reaktor TRIGA 2000 Bandung merupakan tipe TRIGA MARK II dengan menggunakan pendinginan secara alamiah. Pemodelan dan perhitungan distribusi aliran pendingin di sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000 telah dilakukan dengan menggunakan program ATHLET. ATHLET adalah program perhitungan termohidrolik yang dikembangkan oleh the Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) yang merupakan organisasi non profit yang menangani penelitian ilmiah dan teknis serta menyediakan tenaga ahli. ATHLET digunakan untuk analisis termohidrolik suatu Reaktor Nuklir dalam kondisi normal dan kondisi kecelakaan seperti kebocoran sistem pendingin atau pecahnya pipa. Pemodelan untuk Teras dan sistem pendingin primer Reaktor TRIGA 2000 sudah berhasil dimodelkan dengan ATHLET. Dari hasil perhitungan distribusi aliran di teras dan sistem pendingin primer Reaktor TRIGA 2000 dengan menggunakan ATHLET diperoleh bahwa maksimal aliran yang bisa melewati kanal sempit teras reaktor adalah sebesar 10% dari total aliran atau setara dengan 5 kg/s.

PENDAHULUAN

Konsep Reaktor TRIGA dimulai di tahun 1955[2]. Prototipe TRIGA MARK I pertama kali kritis tanggal 3 Mei 1958 oleh General Atomic di dekat San Diego California dan dimumkan sukses beroperasi pada tanggal 2 Juni 1958[3]. Tujuan dari penelitian ini adalah diperolehnya nilai aliran maksimal yang bisa melewati kanal sempit teras reaktor TRIGA 2000.

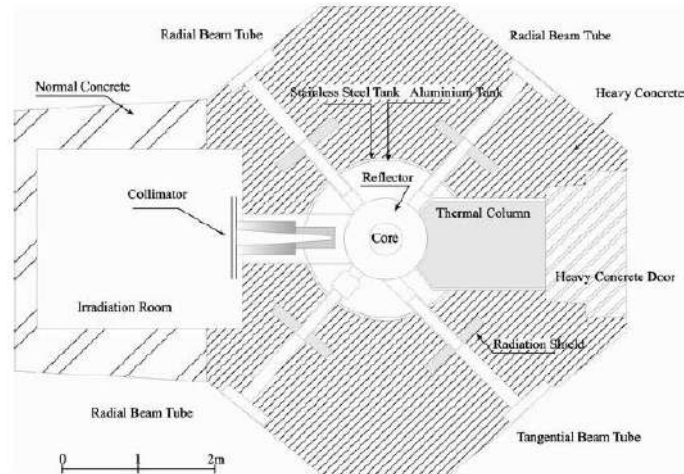
Jenis/Tipe Reaktor TRIGA

TRIGA MARK I adalah konsep reaktor TRIGA pertama yang dikembangkan oleh General Atomic. Reaktor ini menggunakan UZrHx sebagai elemen bahan bakar-moderator yang diletakkan didalam tangki reaktor yang berisi air sebagai pendingin.

Teras reaktor menggunakan grafit sebagai reflektor dengan konfigurasi kolam yang terbuka dan didinginkan secara sirkulasi alamiah. Di dalam teras reaktor terdapat elemen bahan bakar bermoderator, elemen grafit dummy, dan 3 (tiga) elemen batang kendali. 2 (dua) buah grid plat diletakkan di bawah dan di atas agar bisa menjaga elemen bakar bermoderator berdiri secara horizontal. Prototipe Reaktor TRIGA MARK I pertama kali dibangun oleh General Atomic dengan daya sebesar 10 kW dengan menggunakan minimum bahan bakar bermoderator. Tetapi kemudian daya di *upgrade* menjadi 250 kW.

Jumlah bahan bakar bermoderator di teras Reaktor TRIGA MARK I berkisar antara 60 sampai 87 elemen bahan bakar dengan besaran daya yang bisa dicapai ditunjukkan di tabel 1.

Disain Reaktor TRIGA MARK II pada dasarnya sama dengan jenis TRIGA MARK I tetapi ada penambahan 4 *port* fasilitas iradiasi untuk eksperimen. Seperti ditunjukkan di Gambar 1. Sedangkan untuk data *general* reaktor TRIGA MARK I dan TRIGA MARK II ditunjukkan di Tabel 2.



GAMBAR 1. Skema Tata Letak Reaktor TRIGA MARK II dengan Kolom Termal dan *beamport* neutron.

Tabel 1. Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan daya

TABLE 1. TYPICAL NUMBER OF FUEL ELEMENTS REQUIRED FOR VARIOUS REACTOR SIZES

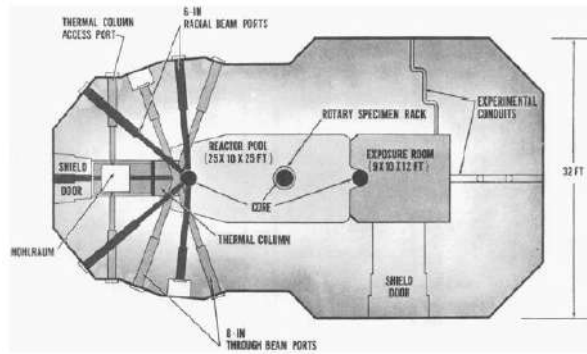
Reactor power (kW)	Fuel elements required (av.)
<100	60
<600	65
<1500	80
1500	90
2000	100

Tabel 2. Data Umum Reaktor TRIGA MARK I dan II

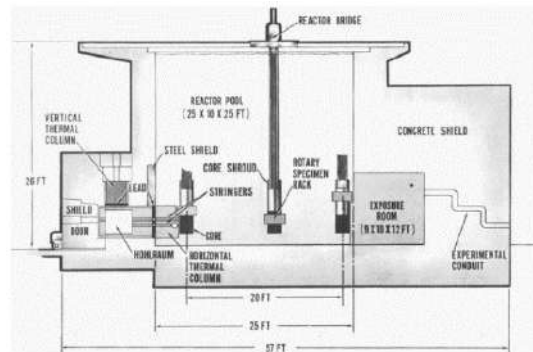
TABLE 2. GENERAL MARK I AND MARK II REACTOR DATA

Parameter	Original configuration	Later configuration
Core type	Below ground, fixed core	Below ground, fixed core
Reflector	Water and graphite	Water and graphite
Operating power	Steady state = 18–250 kW Pulsed ≤ 1 MW	Steady state = 100 kW–2 MW Pulsed ≤ 6 400 MW (1.5 ms)
Neutron flux (steady state)	Thermal $\leq 1.6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Thermal $\leq 8.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Reaktor TRIGA MARK III didisain menggunakan sebuah teras reaktor yang dapat digerakkan di dalam kolam tangki reaktor[4]. Teras reaktor dapat digerakkan dalam 2 kondisi operasi di dalam tangki reaktor seperti ditunjukkan di Gambar 2 dan Gambar 3.



GAMBAR 2. Reaktor TRIGA MARK III tampak atas

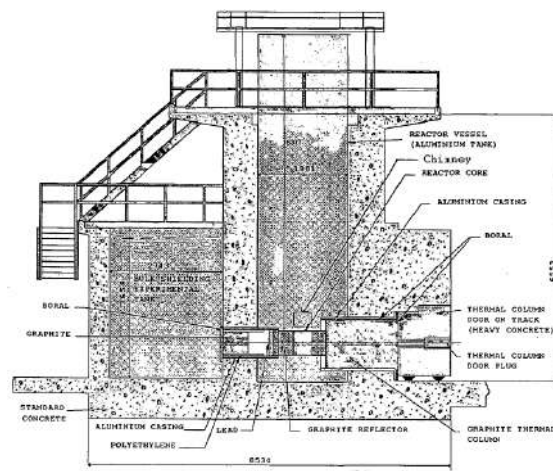


GAMBAR 3. Reaktor TRIGA MARK III tampak samping

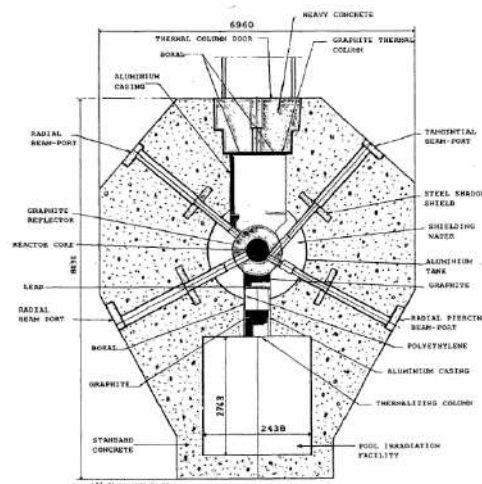
Disain Reaktor *Multipurpose* (MPR) adalah konsep reaktor TRIGA dengan daya tertinggi dengan tetap mengikuti konsep desain sebelumnya. Reaktor tetap menggunakan konsep matrik bahan bakar bermoderator UZRH sebagai keselamatan yang melekat apabila terjadi kejadian penambahan reaktivitas. Tetapi, konfigurasi teras yang digunakan lebih kompak dan memiliki densitas daya yang lebih tinggi sehingga menghasilkan tingkat daya paling rendah adalah 5 MW.

Disain Reaktor TRIGA 2000

Reaktor TRIGA 2000 Bandung termasuk jenis Reaktor TRIGA MARK II[5]. Reaktor ini berjenis tangki dengan kisi teras berbentuk heksagonal dan memiliki 5 (lima) buah batang kendali. Reaktor TRIGA 2000 tampak samping ditunjukkan di Gambar 4 sedangkan tampak atas ditunjukkan di Gambar 5. Tangki Reaktor TRIGA 2000 memiliki ketebalan 6 mm, diameter 198 cm dan tinggi 725 cm. Air setinggi 488 cm di atas teras membentuk perisai arah vertikal.



GAMBAR 4. Reaktor TRIGA 2000 tampak samping



GAMBAR 5. Reaktor TRIGA 2000 tampak atas

Reaktor TRIGA 2000 didinginkan dengan cara sirkulasi alamiah[6]. Pipa inlet diletakkan di bagian bawah teras dan pipa outlet diletakkan di dekat permukaan air tangki reaktor. Sedangkan untuk daya reaktor dikendalikan oleh 5 (lima) buah batang kendali. Sebagai fasilitas iradiasi, reaktor TRIGA 2000 memiliki empat buah pipa berkas (*beamport*) yang menembus dari teras ke permukaan luar dari struktur perisai.

Rancangan Nuklir

Elemen bahan bakar bermoderator merupakan campuran homogen antara paduan uranium dengan zirkonium hidrida, bagian aktif dari elemen bahan bakar bermoderator ini memiliki diameter 3,75 cm dan tinggi 38,1 cm. Terdapat 3 (tiga) jenis elemen bahan bakar bermoderator yang digunakan di dalam reaktor TRIGA 2000 yaitu tipe 8.5-20 (104), 12-20 (106), dan 20-20 (118). Dengan masing-masing tipe memiliki kandungan 8,5 w/o, 12 w/o, dan 20 w/o uranium dengan pengkayaan masing-masing 20%.[7]

Konfigurasi Teras reaktor diisi dengan 111 elemen bahan bakar bermoderator dengan komposisi 105 elemen bakar yang sudah berada di dalam teras, 4 elemen bahan bakar baru dan 2 elemen bahan bakar di rak sementara. Penggunaan konfigurasi ini didasarkan data dari tabel 1 diatas bahwa untuk jenis Reaktor TRIGA MARK II mampu menghasilkan daya 2000 KW dengan menggunakan minimal 100 elemen bahan bakar baru di Teras Reaktor.

Rancangan Termohidrolik

Reaktor TRIGA 2000 merupakan reaktor TRIGA MARK II yang menggunakan pendinginan secara alamiah[8]. Sedangkan beberapa reaktor jenis TRIGA seperti Reaktor TRIGA IPR-1 di Brazil dan Reaktor TRIGA MARK III Penn-State memiliki mode pendidihan *subcooled* untuk kondisi operasinya. Selain jenis pendinginan, konfigurasi elemen bakar di dalam teras sangat mempengaruhi karakteristik perpindahan panas reaktor TRIGA. Dalam kondisi sebaran kandungan elemen bakar yang homogen, nilai faktor puncak daya bisa didekati dengan fungsi Bessel yaitu sebesar 1,65. Tetapi untuk reaktor TRIGA 2000 yang memiliki konfigurasi elemen bahan bakar yang tidak seragam maka nilai faktor puncak daya yang diperoleh lebih tinggi. Berikut ini, beberapa faktor yang mempengaruhi faktor puncak daya di reaktor TRIGA 2000.

1. Keragaman tipe atau jenis bahan bakar yang digunakan
2. Nilai fraksi bakar yang digunakan;
3. Beberapa posisi yang tidak terisi oleh bahan bakar

Sistem Pendingin Reaktor dan Sistem Terkait

Reaktor TRIGA 2000 memiliki 2 *loop* sistem pendingin, sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder. Selain itu Reaktor TRIGA 2000 memiliki sistem terkait lain yang terhubung dengan sistem pendingin primer atau sistem pendingin sekunder antara lain: sistem pendingin teras darurat, sistem pemurnian air, sistem penambah air pendingin primer dan sekunder, dan sistem diffuser.

Sistem pendingin primer terdiri dari kolam reaktor, pompa primer, penukar panas dan pipa penghubung. Ketinggian level air di kolam reaktor tetap dijaga, apabila terjadi penurunan level air maka air harus ditambahkan. Sensor air dipasang didalam tangki untuk mendeteksi apabila adanya penurunan level air baik yang diakibatkan karena penguapan ataupun karena adanya kebocoran. Untuk penukar panas, Reaktor TRIGA 2000 menggunakan alat penukar panas tipe plat. Sedangkan pipa penghubung yang digunakan adalah paduan aluminium dengan diameter 15,24 cm.

METODOLOGI

Pemodelan dan perhitungan distribusi aliran pendingin di sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000 ini menggunakan metode perhitungan atau perangkat lunak ATHLET. Perangkat lunak ATHLET memiliki kemampuan untuk memodelkan pendinginan dengan sistem rangkaian tertutup[1]. Sehingga perangkat lunak ATHLET bisa digunakan untuk memodelkan sistem pendingin primer secara utuh dari tangki reaktor, pemipaan dan kembali ke Tangki Reaktor. Dengan menggunakan perangkat lunak ini maka bisa dimodelkan sistem pendingin primer secara utuh serta bisa diperoleh nilai parameter spesifik di kanal di dalam Teras Reaktor.

ATHLET

ATHLET adalah perangkat lunak termohidrolik yang dikembangkan Institusi Teknik untuk mendukung keselamatan oleh Jerman (GRS). ATHLET ini bisa digunakan untuk analisis termohidrolik suatu Reaktor Nuklir untuk kondisi normal dan kondisi kecelakaan seperti kebocoran sistem pendingin atau pecahnya pipa[1]. Pengembangan ATHLET juga diarahkan untuk perhitungan kecelakaan dasar desain dan kecelakaan di atas dasar desain serta untuk reaktor PWR, BWR dan Reaktor generasi IV. Fitur utama dari program ATHLET yaitu:

1. pemodelan maju termohidrolik (fluida, fase uap dan cair);
2. fluida seperti air ringan, helium, sodium dan *lead*;
3. pembangkitan panas, konduksi panas dan perpindahan panas satu fasa maupun dua fasa dengan mempertimbangkan bentuk geometri seperti silinder atau bola; dan
4. *Couple Interface* dengan model numerik perangkat lunak neutron kinetik 3 dimensi dan perangkat lunak CFD 3 dimensi

ATHLET ditulis dengan menggunakan Bahasa FORTRAN dan terdiri dari beberapa modul dasar untuk perhitungan termohidrolik dari suatu reaktor nuklir. Berikut ini modul-modul dasar yang digunakan untuk pemodelan di dalam ATHLET:

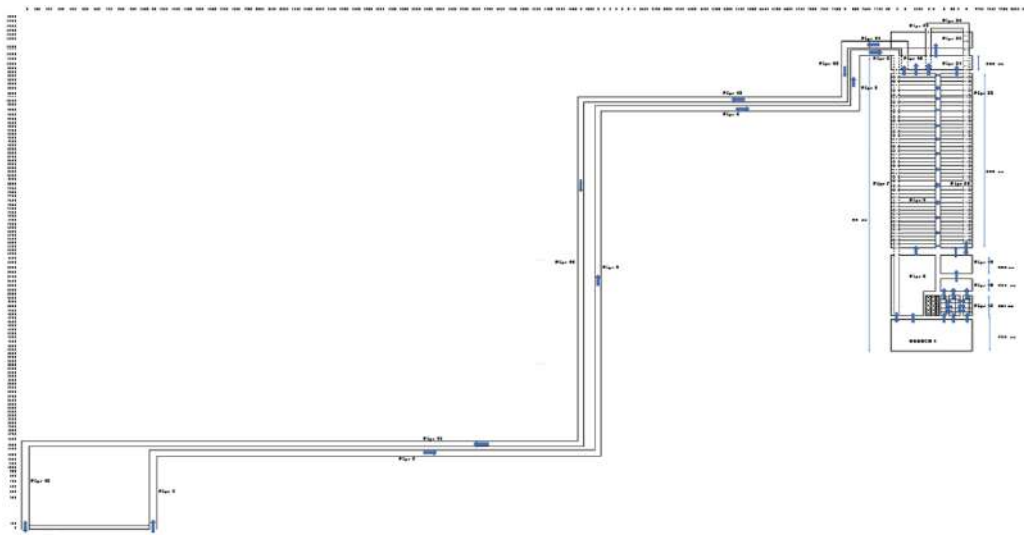
1. Thermo-Fluidynamics (TFD)
2. Heat Conduction dan Heat Transfer (HECU)
3. Neutron Kinetics (NEUKIN)
4. Control and Balance of Plant (GCSM)

Pemodelan

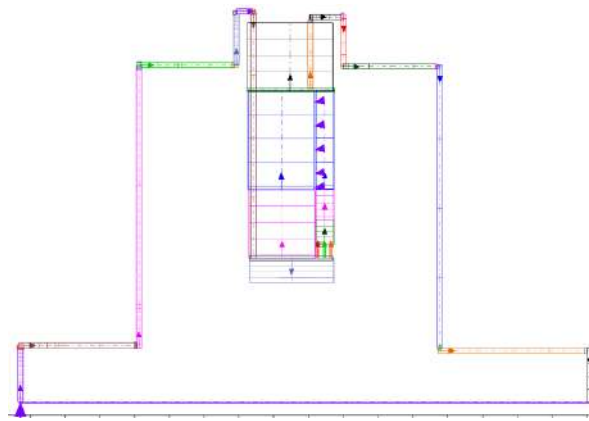
Reaktor TRIGA 2000 pada bagian teras reaktor, tangki reaktor dan pipa sistem pendingin primer dimodelkan menggunakan ATHLET dengan sistem tertutup. Pemodelan dengan ATHLET dibutuhkan untuk mengetahui sirkulasi distribusi aliran dari sistem pendingin primer. Pemodelan dengan ATHLET dimulai dengan melihat dan mengukur dimensi dari teras reaktor, tangki reaktor dan pipa-pipa sistem pendingin primer.

Model di ATHLET

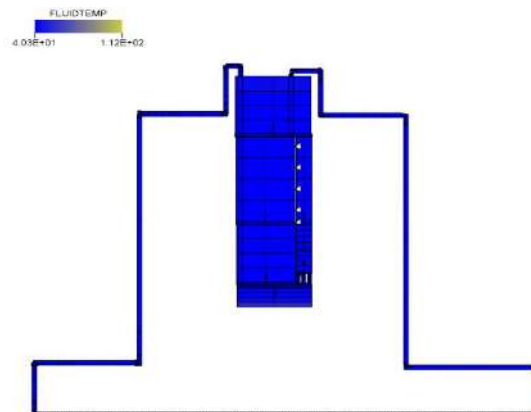
Pemodelan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000 dilakukan dengan mengikuti dimensi sebagai berikut. Tinggi, jari-jari dalam dan jari-jari luar *chimney* (cerobong yang diletakkan diatas teras reaktor dan berfungsi untuk mengarahkan aliran pendingin yang keluar dari teras reaktor) masing-masing adalah 90 cm, 40,3 cm dan 41,3 cm. Tinggi dan jari-jari tangki reaktor adalah 780 cm dan 99,7 cm. Jari-jari pipa system pendingin primer adalah 7.5 cm. Tinggi dan jari-jari teras adalah 150 cm dan 27 cm. Sedangkan panjang bahan bakar keseluruhan dari ujung *top-end fitting* sampai ujung *bottom-end fitting* adalah 28,37 cm. Panjang bahan bakar keseluruhan ini digunakan sebagai asumsi untuk panjang kanal di dalam teras reaktor.



GAMBAR 6. Dimensi Model ATHLET di Excel



GAMBAR 7. Model Sistem dengan ATHLET



GAMBAR 8. Model Sistem dengan ATLAS

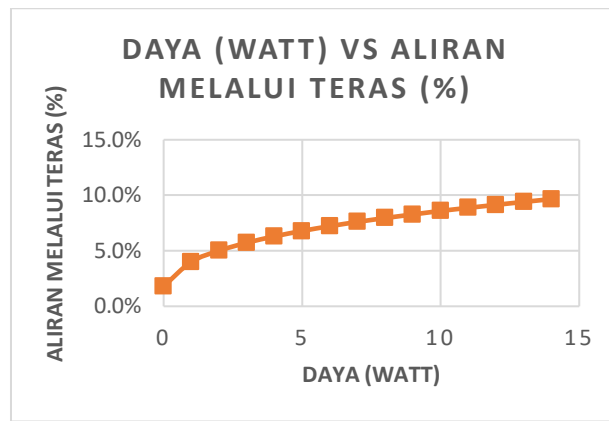
Dimensi untuk model ATHLET di dalam excel ditunjukkan oleh Gambar 6. Sedangkan untuk tampilan model dengan menggunakan program ATHLET dan ATLAS masing-masing ditunjukkan di Gambar 7 dan 8.

HASIL DAN PEMBAHASAN

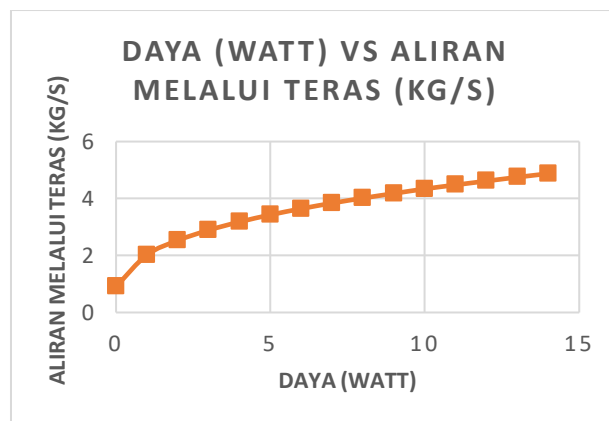
Dengan melakukan pemodelan sistem pendingin primer di Reaktor TRIGA 2000 dengan sistem tertutup menggunakan ATHLET, maka bisa diperoleh distribusi aliran yang terjadi di dalam seluruh sistem pendingin primer. Dalam pemodelan ini, distribusi aliran yang masuk ke dalam teras sangat penting bisa diketahui. Dengan diperoleh besarnya distribusi aliran yang masuk ke dalam teras, maka nilai ini menjadi input untuk pendinginan di dalam teras dengan menggunakan COOLOD-N2. Dengan pemodelan COOLOD-N2 diperoleh hasil perhitungan untuk distribusi temperature bahan bakar, kelongsong dan air pendingin yang melewati teras reaktor tersebut. Dengan diketahuinya besaran distribusi aliran di sistem pendingin, distribusi temperatur bahan bakar, kelongsong dan air pendingin maka bisa diperoleh kesimpulan apakah sistem pendingin primer mampu mendinginkan teras reaktor.

Hasil Perhitungan Distribusi Aliran Pendingin di Sistem Pendingin Primer dengan ATHLET

Di dalam teras reaktor TRIGA 2000 terdapat 2 aliran. Satu aliran melewati teras yang terdapat bahan bakar dan aliran lain yang tidak melewati teras. Besar total aliran adalah sebesar 50,5 kg/s. Untuk aliran yang melewati teras akan dimodelkan dengan dua model, model pertama adalah 2 kanal dan model kedua adalah 3 kanal. Untuk hasil perhitungan daya versus aliran yang melewati teras dengan 2 kanal ditunjukkan di Gambar 9 dalam bentuk (%) aliran dan Gambar 10 dalam bentuk (kg/s). Sedangkan Gambar 11 dan 12 menunjukkan hasil perhitungan daya versus aliran yang melewati teras dengan 3 kanal.

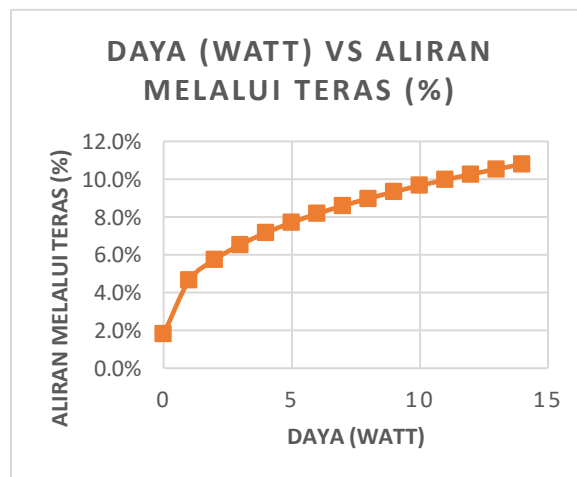


GAMBAR 9. Daya versus aliran (%) yang melewati teras yang terbagi menjad 2 kanal

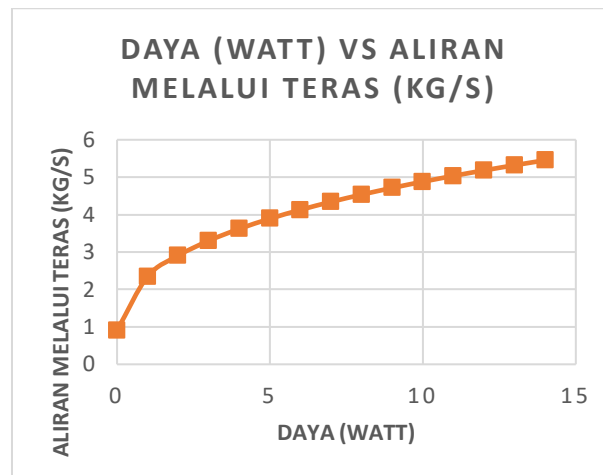


GAMBAR 10. Daya versus aliran (Kg/s) yang melewati teras yang terbagi menjad 2 kanal

Dari Gambar 9 dan 10 terlihat bahwa dengan semakin besar daya yang dibangkitkan, maka semakin besar pula aliran yang melewati kanal tersebut. Tetapi karena ukuran kanal yang sempit maka maksimal aliran yang bisa melewati kanal tersebut hanya sebesar 10% dari aliran total atau kurang lebih setara dengan 5 kg/s.



GAMBAR 11. Daya versus aliran (%) yang melewati teras yang terbagi menjad 3 kanal



GAMBAR 12. Daya versus aliran (Kg/s) yang melewati teras yang terbagi menjadi 3 kanal

Gambar 11 dan 12 menunjukkan fenomena aliran yang terjadi di 3 kanal. Dari Gambar 11 dan 12 terlihat fenomena yang hampir sama dengan fenomena di 2 kanal. Aliran yang melewati kanal sebanding dengan besarnya daya yang dibangkitkan. Untuk batas maksimal aliran yang bisa melewati kanal tersebut berkisar 10% dari total aliran atau sebesar 5 kg/s.

KESIMPULAN

Dari perhitungan dan pemodelan sistem pendingin primer reaktor TRIGA 2000 dengan menggunakan ATHLET diperoleh bahwa nilai aliran maksimal yang bisa melewati kanal sempit teras reaktor adalah sebesar 10% dari aliran total atau setara dengan 5 kg/s.

REFERENSI

- [1] Gesellschaft für Anlagen-und Reaktorsicherheit (GRS)GmbH, *ATHLET User' Manual*, Garching near Munich, Germany, 2016.
- [2] IAEA, *History, Development and Future of TRIGA Research Reactors*, Technical Reports Series No. 482, Vienna, 2016.
- [3] FNCA, *Research and Test Reactors Catalogue*, 2016.
- [4] M.H. Altaf and N.H. Badrun, *Thermal Hydraulic Analysis of 3 MW TRIGA Research Reactor of Bangladesh Considering Different Cycles of Burnup*, Atom Indonesia Vol. 40 No.3, 2014.
- [5] M.H. Altaf, S.M. Tazul Islam and N.H. Badrun, *RIA Analysis of Unprotected TRIGA Reactor*, Atom Indonesia Vol. 43 No. 2, 2017.
- [6] A.R. Antariksawan, S. Widodo and H. Tjahjono, *Parametric Study of LOCA in TRIGA 2000 Using RELAP5/SCDAP Code*, Journal Teknik Reaktor Nuklir Vol. 19 No. 2, pp 59-77, June 2017.
- [7] A.R. Antariksawan, E. Umar, S. Widodo, M. Juarsa and M.H. Kusuma, *TRIGA 2000 Research Reactor Thermal-Hydraulic Analysis Using RELAP/SCDAPSIM/MOD3.4*, International Journal of Technology, pp 698-708, 2017.
- [8] Umar and R. Fiantini, *Modification of the Core Cooling System of TRIGA 2000 Reactor*, AIP Conference Proceeding, Vol. 1244, pp 224-231, 2010.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PRELIMINARY STUDY ON THE EFFECT OF CLADDING MATERIAL ON THE $^{208}\text{Pb-Bi}$ EUTECTIC- COOLED FAST REACTOR CRITICALITY

Nina Widiawati^{1, a)}, Nuri Trianti^{1, b)}, Hakimul Wafda^{1, c)}, Nanda Nagara^{1, d)},
Ahmad Mudzakir Efendi^{1, e)}, Zaki Su'ud^{2, f)}

¹Research Center for Nuclear Reactor Technology (PRTRN), BRIN, Indonesia.

²Bandung Institut of Technology, Indonesia

^{a)} Corresponding author: nina013@brin.go.id

^{b)}nuri012@brin.go.id

^{c)}hakimul.wafda@brin.go.id

^{d)}nanda.nagara@brin.go.id

^{e)}ahmad.mudzakir.efendi@brin.go.id

^{f)}szaki@itb.ac.id

Abstract. The selection of cladding material in a reactor design is one of the most important things. Some of the materials that have been selected for fast reactor cladding include SS316, SS316L, and HT9. These materials were selected based on their good mechanical properties at high temperatures, excellent chemical compatibility with coolant and stability in contact with fuels. However, the effect of using the material on the criticality of the $^{208}\text{Pb-Bi}$ eutectic-cooled fast reactor with the MCANDLE burnup scheme has not been analyzed. The $^{208}\text{Pb-Bi}$ eutectic-cooled fast reactor with the MCANDLE burnup scheme is one type of fast reactor that can consume natural uranium directly without enrichment process. This reactor is predicted to be a solution for depleted uranium waste along with sensitive enrichment process. Therefore, the analysis of the supporting material will be valuable. The calculation of the Effective Multiplication Factor (k_{eff}) value process is conducted using SRAC (Standard Thermal Reactor Analysis Code system) with JENDL 4.0 as Nuclear Data Library. The results showed that the $^{208}\text{Pb-Bi}$ eutectic-cooled reactor with a burnup scheme and HT9 material as the cladding has a higher k_{eff} value during reactor operation.

INTRODUCTION

Cladding is a barrier material that separates the fuel from the cooling material to prevent contamination of radioactive fragments with the cooling material¹. Therefore, the selection of cladding material in reactor design is crucial. The requirements for selecting cladding materials define as follows^{1,2}:

- low neutron absorption cross-section
- Compatible with fuels and coolants
- Stable in high temperature and irradiation
- Resistant to high radiation exposure
- High thermal conductivity
- Good mechanical strength
- Non-corrosive

Typically use of cladding is in the form of metal alloys. Some cladding materials are stainless steel, aluminum, zirconium and so on. Therefore, the characteristics of fast reactors and thermal reactors differ according to the type of cladding material used. Cladding made from zirconium is generally used for Light Water Reactor (LWR), and not suitable for fast reactors because not compatible with very high temperatures. A high burnup in a fast reactor is also a consideration in the selection of material cladding².

Based on long-term scenarios related to the evolution of nuclear reactors there will be an increase in the number of fast reactors operating in the world. Therefore, to anticipate a decrease in the amount of fuel as well as plutonium originating from the remaining LWR fuel, some efforts need to be made to minimize the loading

of fuel into the reactor terrace. Some of these efforts include the use of enriched ^{208}Pb isotop as coolant ³⁻⁵ as well as cladding material with low cross-section of neutron capture ³.

Some of the materials that have been selected for fast reactor cladding include SS316 ^{6,7}, HT-9 ^{5,6,8,9}, and SS316L¹⁰. These materials are chosen based on good mechanical properties at high temperatures, excellent chemical compatibility with coolant and stability when in contact with fuel. However, the effect of using the material on the criticality ^{208}Pb -Bi eutectic-cooled reactor with a MCANDLE burnup scheme has not been analyzed. Therefore, the purpose of this study is to determine the effects of cladding material on the criticality of ^{208}Pb -Bi eutectic-cooled fast reactor with a MCANDLE burnup scheme.

CLADDING MATERIAL PROPERTIES

Suitable cladding materials for fast reactors are materials which able to withstand intense high temperatures and high neutron fluence. Some types of the most preferred stainless steel used as cladding materials in fast reactors are SS316, SS316L, and HT9. Comparison of the three materials' composition is presented in **Table 1** below.

Table 1. Cladding material composition (%wt) ¹

	C	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	V	W
SS316	0.041	0.507	0.023	0.015	17.0	1.014	66.9	12.0	2.5	-	-
SS316L	0.032	1.0	0.045	0.03	17.0	2.0	65.395	12.0	2.5	-	-
HT9	0.2	0.4	0.03	0.02	11.5	0.6	84.95	0.5	1.0	0.3	0.5

Table 1 shows that the composition of stainless steel 316 and 316L does not differ too much. The percentages of Cr, Ni, and Mo are exactly similar. Stainless steel 316L has a slightly lower percentage of C and Fe than SS316, but the percentage of other nuclides is slightly higher. Meanwhile, HT9 has a much higher Fe percentage than SS316 and SS316L, which is 84.95%. HT9 also has a much smaller Ni percentage and has additional elements, which are V and W.

Table 2. Physical properties of the three types of cladding materials

	Density (g/cm ³) ¹	Melting point (K)	Boiling point (K)	Thermal conductivity (W/mK)
SS316	8.000	1,700 ²	3,090 ³	17 ⁴
SS316L	8.000	1,700 ²	3,090 ³	16.3 ⁵
HT9	7.874	1,800 ⁶	3,100 ⁶	17.18 ⁷

Table 2 shows the difference in physical properties among the three cladding materials which are being compared. HT9 material has a higher melting point, boiling point, and thermal conductivity than the other two types. Therefore, this causes the high utilization of HT9 as a cladding material in fast reactors.

METHODOLOGY

Reactor Design

The ^{208}Pb -Bi eutectic-cooled fast reactor with the MCANDLE burnup scheme is one type of fast reactor that can consume natural uranium directly without an enrichment process^{8,9}. This reactor is predicted to be a solution to the problem of depleted uranium waste and a very sensitive enrichment process in the future. In this study, the criticality ratio of the reactor will be analyzed using three different types of cladding materials. The design of the fuel pin and reactor core is shown in Figure 1. The design parameters used in this study are presented in **Table 3**.

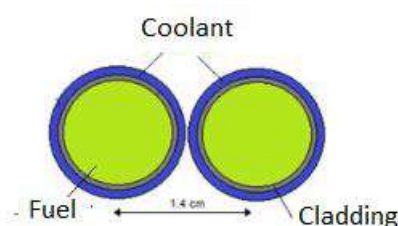


FIGURE 1. Fuel cell geometry

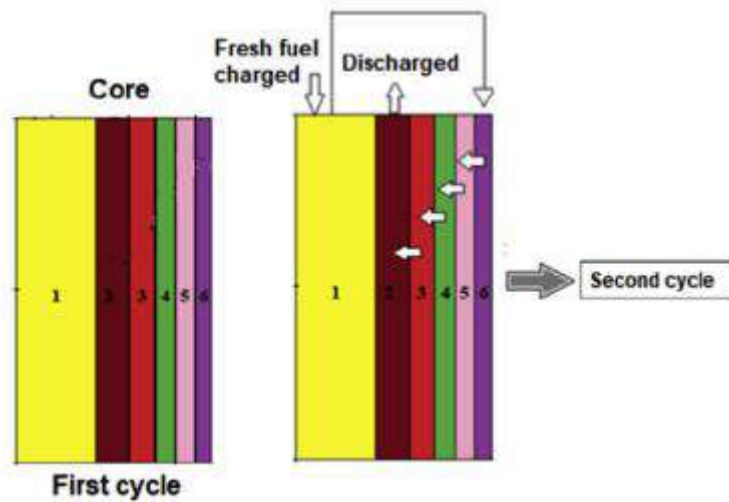


FIGURE 2. Reactor core geometry¹⁰

Table 3. Reactor design parameter

Parameter	Specification
Core radius	150 cm
Core height	150 cm
Reflector thickness	50 cm
Reactor thermal power	800 MWTh
Refuelling cycle	15 years
Fuel material	Uranium Nitride (¹⁵ N)
Cladding material	SS316/ SS316L/ HT-9
Coolant material	²⁰⁸ Pb - Bi eutectic
Pin pitch/ pin fuel diameter	1.4/ 1.232 cm
Fuel-cladding-coolant fraction	65%-12.5%-22.5%

Calculation Method

Calculation of the effective multiplication factor value (keff) using SRAC (Standard Thermal Reactor Analysis Code system)¹¹ with JENDL 4.0 as the nuclear data library¹². This neutronic code system can be applied to analyze the reactor core in this study, including cell and burn up calculations. The calculation modules used in SRAC are PIJ for fuel cell calculations and CITATION for reactor core calculations. **Figure 3** is a cell and core calculation flowchart using SRAC.

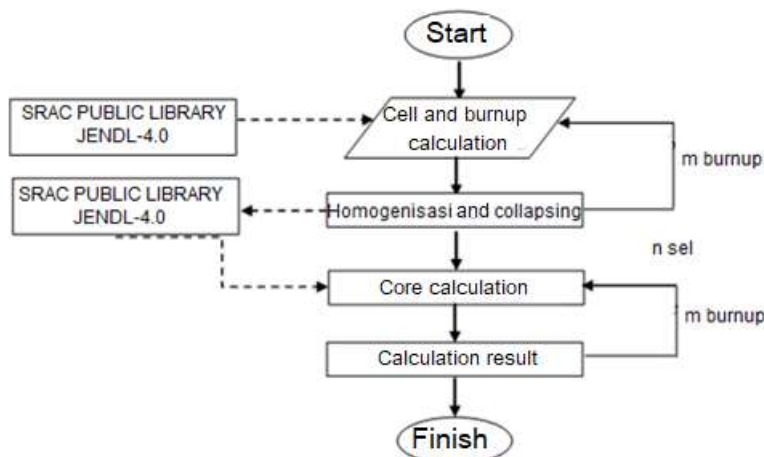


FIGURE 3. Flowchart of cell and core calculations using SRAC

RESULTS AND DISCUSSION

In this preliminary study we compared the criticality (k_{eff}) for reactors with a variety of cladding materials. **Figure 4.** shows the k_{eff} values for three reactors with cladding SS316, SS316L, and HT9. **Figure 4** shows that the three reactors have k_{eff} values that continue to increase during operation. However, the reactor with HT9 cladding had a higher k_{eff} value than the other two reactors. Reactor with cladding SS316 and SS316L has a k_{eff} value that looks not much different. This is because the constituent materials are still the same with a very small percentage difference.

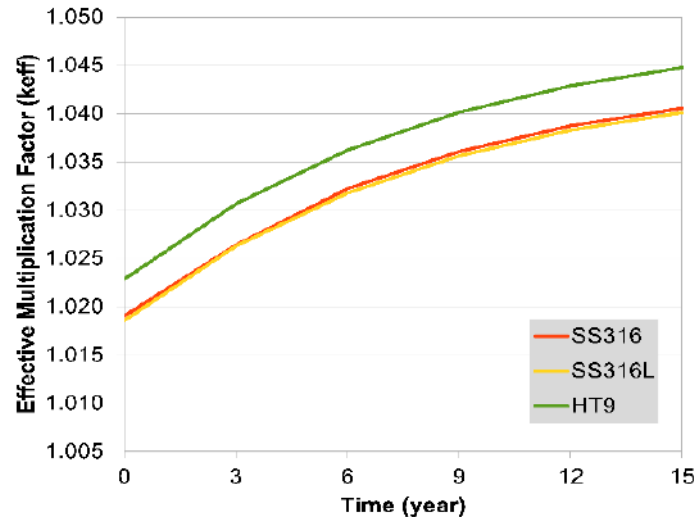


FIGURE 4. Effective multiplication factor (k_{eff}) of reactor with SS316, SS316L, and HT9 cladding

Table 4 shows the absorption cross section data for each constituent element of cladding alloy which was compared in this study. The basic difference between HT9 and the other two materials is that it has a higher percentage of C and Fe elements and additional V and W elements. Table 1 shows that the percentage of Cr, Mn, Ni, and Mo elements in HT9 is much smaller among all cladding materials. Meanwhile, the four elements have a large neutron absorption cross section so that by using HT9 cladding the neutron absorption will decrease and the reactor criticality will increase.

Table 4. Data of absorption cross section for each elements ¹³

NO	Element	Absorption cross section (2200 m/s neutron) (barn)
1	Carbon (C)	0.00353
2	Silicon (Si)	0.171
3	Phosphorous (P)	0.172
4	Sulfur (S)	0.53
5	Chromium (Cr)	3.05
6	Manganese (Mn)	13.3
7	Iron (Fe)	2.56
8	Nickel (Ni)	4.49
9	Molybdenum (Mo)	2.48
10	Vanadium (V)	4.9
11	Tungsten (W)	1.7

Figure 5. shows the comparison of the conversion ratio in the utilization of SS316, SS316L, and HT9 cladding materials. The graph shows that the conversion ratio by using HT9 cladding is higher compared to SS316 and SS316L cladding. The conversion ratio is the ratio between the fissile material produced and the fissile material used. The higher conversion ratio in the use of HT9 cladding results in higher fissile material produced so that the obtained criticality is higher, but in the use of SS316 and SS316L claddings with a lower conversion ratio, the fissile material is produced less so that the obtained criticality is lower.

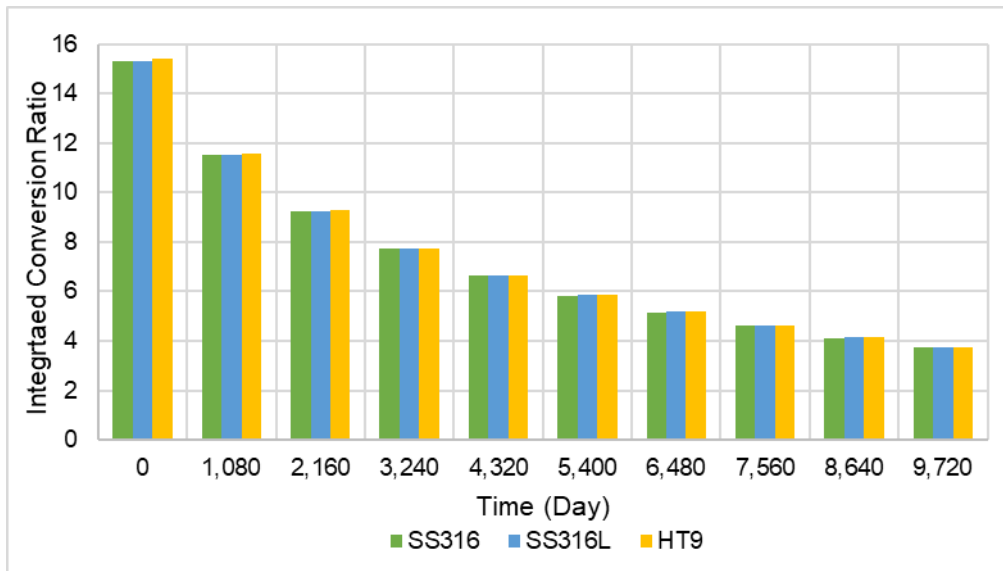


FIGURE 5. Integrated conversion ratio of all reactors with SS316, SS316L, and HT9 as cladding

Figure 6 shows the burnup levels between ²⁰⁸Pb-Bi eutectic-cooled reactor with SS316, SS316L, and HT9 as cladding. The burnup level of the reactor with HT9 as cladding is relatively higher than others. During the burnup period on the 1,080th day, it was noted that the burnup level of the use of SS316 as cladding reached 878,932MWD/Ton; the SS316L cladding reaches 880,437MWD/Ton; and on the HT9 cladding reaches 881.757MWD/Ton. The use of HT9 cladding achieved a higher burnup level compared to SS316 and SS316L. It causes the criticality of the cladding with SS316 and SS316L to be lower than the cladding with HT9.

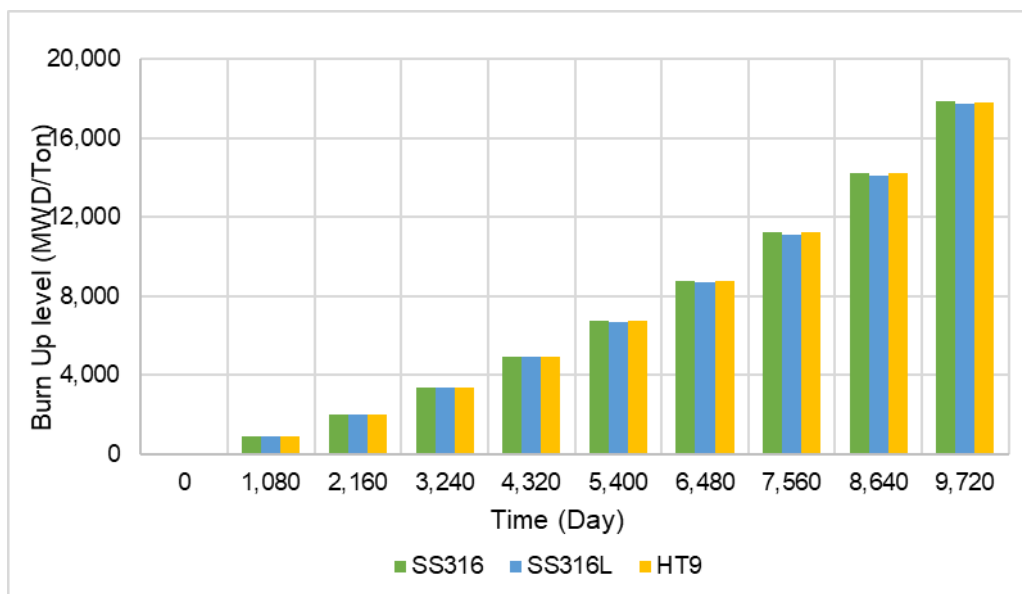


FIGURE 6. Burnup level of all reactors with SS316, SS316L, and HT9 as cladding

CONCLUSION

Comparison of the ²⁰⁸Pb-Bi eutectic-cooled reactor criticality due to variations in cladding material was analyzed. The results showed that the ²⁰⁸Pb-Bi eutectic-cooled reactor with burnup scheme and using HT9 material as the cladding had a higher keff value during operation compared to the other two reactors. This is due to the reduction in the percentage of constituent elements that have high neutron absorption cross section such as Cr, Mn, Ni, and Mo.

REFERENCES

[1] McConn jr, R., Gesh, G., Pagh, R., Rucker, R. and Williams III, R., [Radiation Portal Monitor Project Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling].

- [2] Reichardt, A., Shapiro, A. A., Otis, R., Dillon, R. P., Borgonia, J. P., McEnerney, B. W., Hosemann, P. and Beese, A. M., "Advances in additive manufacturing of metal-based functionally graded materials," *International Materials Reviews* **66**(1), 1–29 (2021).
- [3] Kim, C. S., "Thermophysical properties of stainless steels," ANL-75-55, Argonne National Lab., Ill. (USA) (1975).
- [4] Dongre, G., Rajurkar, A., Haria, A., Kulkarni, A. and Raut, R., "Thermal Modelling for Laser Machining of SS316 L, Inconel 718 and Ti6Al4V," *J. Phys.: Conf. Ser.* **2070**(1), 012226 (2021).
- [5] Wei, C., Sun, Z., Huang, Y. and Li, L., "Embedding anti-counterfeiting features in metallic components via multiple material additive manufacturing," *Additive Manufacturing* **24**, 1–12 (2018).
- [6] Jacob, A., Povoden-Karadeniz, E. and Kozeschnik, E., "Revised thermodynamic description of the Fe-Cr system based on an improved sublattice model of the σ phase," *Calphad* **60**, 16–28 (2018).
- [7] Leibowitz, L. and Blomquist, R. A., "Thermal conductivity and thermal expansion of stainless steels D9 and HT9," 10. symposium on thermophysical properties, Gaithersburg, MD, USA, 20 Jun 1988, 1 January 1988, <<https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1184538/>> (31 May 2022).
- [8] Su'ud, Z., Irka, F. H., Imam, T., Sekimoto, H. and Sidik, P., "Desain Study of Pb-Bi Cooled Fast Reactors with Natural Uranium as Fuel Cycle Input Using Special Shuffling Strategy in Radial Direction," *Advanced Materials Research* **772**, 530–535 (2013).
- [9] Widiawati, N., Su'ud, Z., Irwanto, D., Permana, S., Takaki, N. and Sekimoto, H., "Design study of 208Pb-Bi eutectic-cooled reactor with natural uranium as fuel cycle input with radial fuel shuffling," *Annals of Nuclear Energy* **171**, 109003 (2022).
- [10] Widiawati, N., Su'ud, Z., Irwanto, D., Permana, S., Takaki, N. and Sekimoto, H., "Initial core design analysis of lead (208) -bismuth eutectic-cooled reactor with radial fuel shuffling," *International Journal of Energy Research* **45**(8), 12317–12324 (2021).
- [11] Okumura, K., Kugo, T., Kaneko, K. and Tsuchihachi, K., [SRAC2006; A Comprehensive neutronics calculation code system.], system. JAEA-Data/Code 200 (2007).
- [12] Shibata, K., Iwamoto, O., Nakagawa, T., Iwamoto, N., Ichihara, A., Kunieda, S., Chiba, S., Furutaka, K., Otuka, N., Ohsawa, T., Murata, T., Matsunobu, H., Zukeran, A., Kamada, S. and Katakura, J., "JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering," *Journal of Nuclear Science and Technology* **48**(1), 1–30 (2011).
- [13] Sears, V. F., "Neutron scattering lengths and cross sections," *Neutron News* **3**(3), 26–37 (1992).

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

Selama ini M-Candle dikembangkan menggunakan cladding apa? Kemudian apa latar belakang pemilihan bahan SS dan HT9? Apakah bahan ini kuat menerima serangan neutron selama operasi hingga burnup sebesar itu? Kemudian kenapa dinyatakan HT9 memiliki performa yang lebih baik, bukankah selisihnya dengan SS tidak begitu besar dari grafik yang ditampilkan tadi?

Jawaban

Berdasarkan beberapa paper referensi, reaktor konseptual MCANDLE menggunakan bahan cladding SS316 dan HT9 sehingga hal ini menjadi latar belakang pemilihan kedua bahan tersebut untuk dibandingkan. Sedangkan pemilihan SS316L karena bahan ini juga banyak digunakan pada beberapa desain LFR di dunia dan memiliki komposisi material yang hampir sama persis dengan SS316 sehingga sangat menarik untuk dibandingkan performa neutroniknya dengan SS316. HT9 juga dipilih sebagai bahan cladding pada Travelling Wave Reactor (TWR) Terra Power. Burnup pada reaktor konseptual MCANDLE yang sangat tinggi merupakan keuntungan sekaligus kelemahan pada reaktor konseptual ini. Keuntungannya adalah, hampir 50% dari bahan bakar dikonversi menjadi energi, sementara desain reaktor cepat saat ini hanya dapat mencapai burnup sekitar 10% saja. Namun, tentu kelemahannya adalah keterbatasan material yang mampu menahan iradiasi setinggi itu, oleh karena itu paper ini masih menjadi paper pendahuluan di mana penelitian selanjutnya adalah mencari konfigurasi atau optimalisasi parameter reaktor untuk memperoleh burnup sekitar 20% di mana HT9 dapat menahan laju iradiasi setinggi itu. Performa HT9 lebih baik dilihat dari nilai kekritisitas yang diperoleh. Terlihat dari grafik keff, gap antara HT9 dan SS cukup lebar, dengan kata lain penggunaan HT9 dapat meningkatkan nilai keff, di mana keuntungan yang kita bisa dapatkan adalah dapat meminimalisir pemuatan bahan bakar ke dalam teras reaktor. Berdasarkan cross-section serapan neutron material penyusunnya, HT9 juga memiliki serapan neutron yang paling kecil dibandingkan SS316 dan SS316L. Salah satu upaya untuk meminimalisir pemuatan bahan bakar adalah dengan menggunakan bahan cladding dengan serapan neutron yang rendah, sehingga hal ini menjadikan HT9 sebagai pilihan bahan cladding untuk LFR di masa mendatang.

Tentu saja bahan cladding yang digunakan pada desain reaktor cepat berpendingin logam cair tidak terbatas pada tiga bahan ini saja, sehingga penelitian selanjutnya akan dibandingkan performa neutronik dan termal hidraulik pada banyak bahan cladding lainnya yang telah dipilih sebagai bahan cladding pada LFR.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



INVESTIGATION OF VARIATION THERMAL POWER FOR LONG-LIFE CANDLE-GFR CORE DESIGN

Helen Raflis^{1,2,a)}, Zaki Su'ud¹, Abdul Waris¹, Dwi Irwanto¹

¹*Nuclear Physics and Biophysics Research Division, Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences (FMIPA), Bandung Institute of Technology, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia*

²*Directorate of Inspection for Nuclear Installation and Materials
Nuclear Energy Regulatory Agency (Bapeten), Jl. Gajah Mada No. 8, Central Jakarta 10120, Indonesia*

^{a)}Corresponding author : h.raflis@bapeten.go.id

Abstract. The variation thermal power for the long-life CANDLE-GFR core has been studied using the OpenMC code. The CANDLE-GFR reactor was designed for long-life operation because it has a low burning rate and nuclear fuel burning along the axial direction. Characterization of physical parameters includes fission rate and flux distribution, keff evolution, and power fraction profile. We used the OpenMC code, the open source Monte Carlo method computer code from MIT-USA that was released in 2011. The Legendre and Zernike polynomial equations from the FET-OpenMC feature applied for several power variations. The study also obtained information about the keff evolution and the distribution of the conversion ratio. The results indicate that the CANDLE-GFR using PWR spent nuclear fuel will reach an equilibrium core with a flux distribution and fission reaction rate, with movement proportional to the thermal power. It is known that 200 MWth of power provides an effective multiplication factor distribution that does not fluctuate during 60 years of burning because the contribution of flux and fission reactions is only supplied by starter fuel, but when the power is increased to 600 MWth, there is a fluctuation graph due to the contribution of the power fraction. The distribution of the conversion ratio in the form of a breeding gain of about 0.3 in the initial cycle; when the power is increased, the distribution of the conversion ratio decreases, but at the power of 600 MWth, there is an increase in value after 40 years. The power fraction profile constantly moves in the axial region, which agrees well with candle philosophy.

Kata Kunci: CANDLE, GFR, OpenMC, Breeding Gain, Legendre, Zernike

INTRODUCTION

The gas-cooled fast reactor (GFR) is one of the six advanced reactor concepts selected by generation IV international forums (Behar, 2014; GIF, 2002). The GFR core enables to use of spent fuel as a fuel blanket, particular fuel cycle, and actinides recycling potential. (Helen Raflis, 2020b, 2020a, 2020). In addition, the GFR core has the potential to apply the CANDLE burn-up scheme, which can provide a longer and more sustainable operating cycle.

CANDLE-GFR is a long-life equilibrium core that can be analyzed using OpenMC code. The OpenMC code is the open-source Monte Carlo method computer code from MIT-USA that was released in 2011. The Legendre and Zernike polynomial equations from the FET-OpenMC feature are applied for several power variations. Besides that, the CANDLE-GFR reactor was designed for long-life operation because it has a low burning rate. Moreover, the CANDLE reactor needs more neutron reaction than a conventional fast reactor because it does not use reprocessing and control rod mechanisms. The depletion zone is divided into two zones, i.e., the initial fuel zone and the blanket fuel zone. At the initial power generation, it comes from the initial zone, which will be the burning area in the CANDLE scheme. The initial fuel will supply thermal power after the leaked neutrons provide a transmutation process to convert fertile material into fissile materials (M. Khradmand Saadi and Pazirandeh, 2012).

The CANDLE scheme will provide a long-life core operation because the neutron multiplication factor is in a constant state along the axial direction of the fuel, as shown in Fig.1. When applied with fast reactors, this burning strategy can produce an excellent neutron economy. In this case, only natural uranium is required as the fuel except for the initial core burning region. Small and medium-sized reactors (SMRs) have many advantages,

although it is also economically disadvantaged due to the high fuel cost. However, long-life reactors also have many economic advantages (Nagata A. and H., 2009).

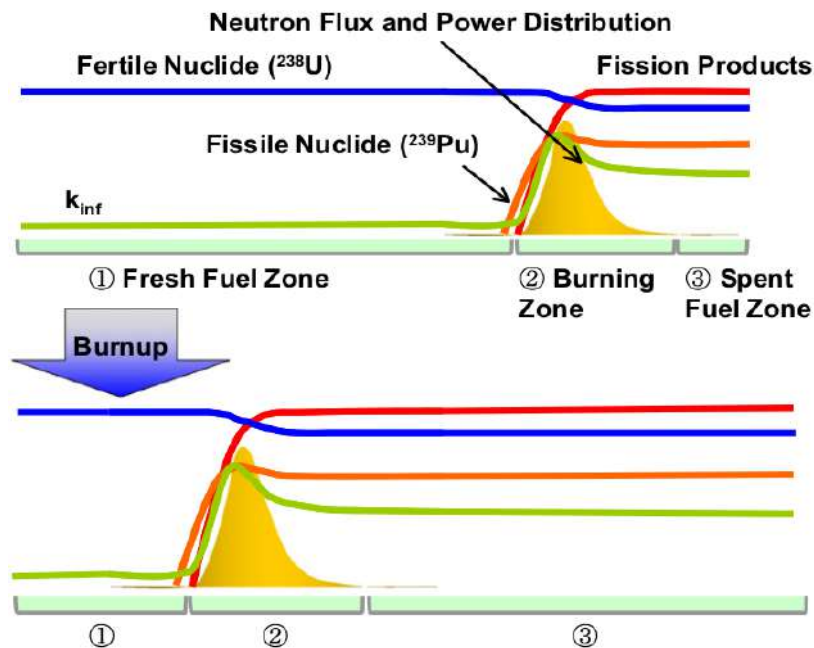


FIGURE 1. Burn-up strategy of CANDLE (Tsuyoshi Okawa, 2010).

DESIGN AND CALCULATION METHOD

The calculation method utilized the OpenMC Monte Carlo computer code to simulate the core design and materials structure. Table 1. informs about the core physical parameters of CANDLE-GFR. Table 2. depicts the information on the characteristics of GFR-CANDLE materials. This calculation applied the OpenMC computer code to calculate the neutronic parameter of the core design. Besides that, We modelled the geometry fuel for fuel pin, gap, cladding, and coolant that shaped cylindrical rod, circular area, cylindrical region, and hexagonal region, respectively. Figure 2. depicts the axial view of the CANDLE-GFR design generated by the OpenMC-matplotlib function script. The total height of the core and reflector is about 370 cm, which is 60 cm of upper and lower reflector height and 250 cm of fuel core. The fuel core contains the starter and fresh fuel, 100 cm of UPuN fuel and 150 cm of PWR spent fuel. Furthermore, The UPuN fuel divided using fissile axially differs is 10%, 7.5%, and 5% of the active core with the dimensions of 60 cm, 20 cm and 20 cm, respectively. Figure 3. informs the radial view of the CANDLE-GFR core design. The design applied about 169 fuel assemblies and eight inner core layers. Besides that, the fuel assembly and reflector are different, using eight and ten layers, respectively. The reflector assembly is tighter than the fuel assembly, which contains 271 reflector pins.

Table 1. Design Parameter of CANDLE-GFR (Helen Rafliis, 2020)

Design Parameters	
Power Rating	200-600 MWth
Core Height	250 cm
Core Diameter	252.41 cm
Reflector Thickness in Radial	67.31 cm
Reflector Thickness in Axial	60 cm
FA Number	169
Number of Core Layers	8
H/D	0.99
Axial Width of Region	5
FA Geometry	Hexagonal
Fuel Rods Number each FA	169
Fuel Pin Radius in Outer	0.525 cm
Inner Radius of Cladding	0.528 cm
Outer Radius of Cladding	0.575 cm
P/D	1.11
Fuel Volume Fraction	61.08 %
Coolant Volume Fraction	26%
Structure Volume Fraction	12.92%

Table 2. Information of CANDLE-GFR materials (Helen Rafalis, 2020)

Parameter	Value
Reflector Pin Radius	0.428 cm
Reflector Cladding Radius	0.478 cm
P/D	1.04
Total Pin in Reflector Assembly	271
Nuclear Fuel Material	(U-Pu)N
Cladding Material	SS HT9
Coolant Material	Helium
Reflector Material	BeO

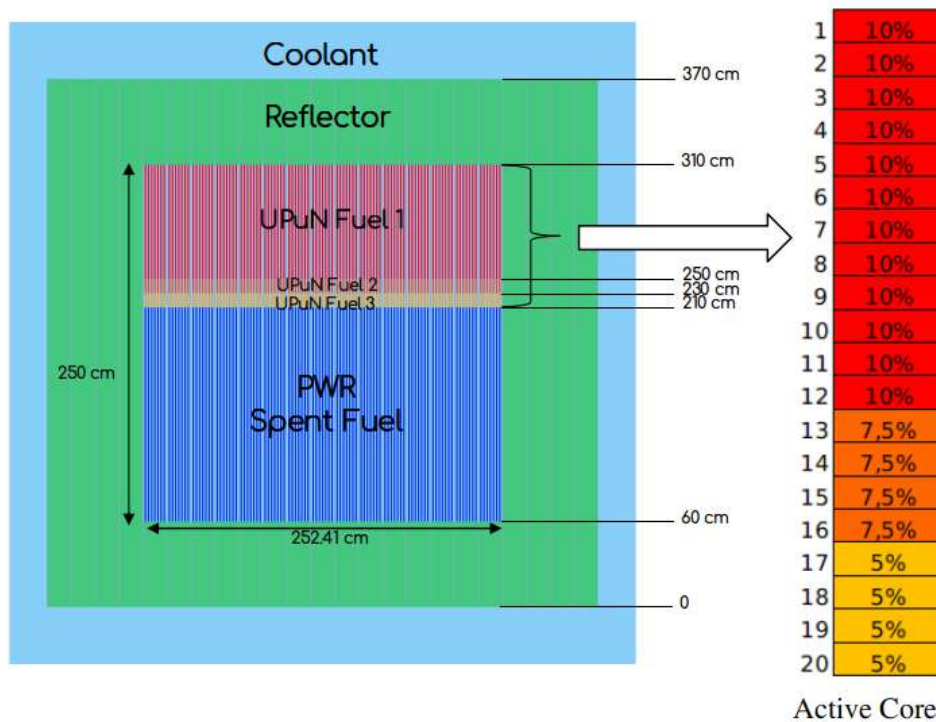


FIGURE 2. Axial view of CANDLE-GFR Core (Helen Rafalis, 2020)

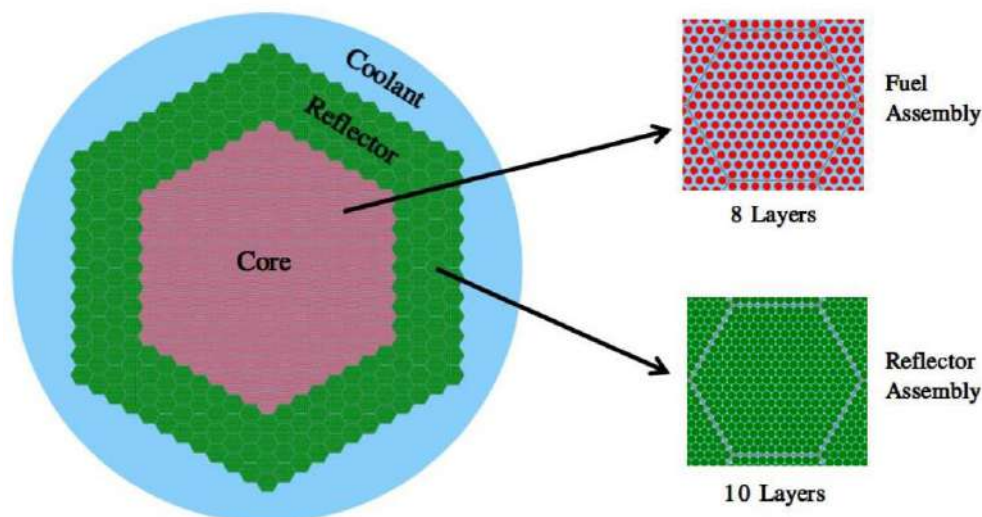


FIGURE 3. Radial view of CANDLE-GFR Core (Helen Rafalis, 2020)

RESULT AND DISCUSSION

Figures 4. and 5. show the evolution of keff and the distribution of the conversion ratio for several power variations in the CANDLE-GFR design. Figure 4 shows that the 200 MW thermal power provides an effective multiplication factor distribution that does not fluctuate during 60 years of burning because the contribution of flux and fission reactions is only supplied by starter fuel. While the power increased to 600 MWth, the graph

fluctuates due to the contribution of the power fraction from fresh fuel. Figure 5. provides information on the distribution of the conversion ratio with the breeding gain of about 0.3 in the initial cycle. When the power increases, the distribution ratio of the conversion decreases, but at 600 MWth, the value increases after 40 years of burning. Figures 6. and 7. present the axial flux distribution under BOL and EOL conditions. Figure 8. describes the radial and axial flux distribution of the CANDLE-GFR core, which implements the Legendre and Zernike polynomial equations of the FET-OpenMC feature.

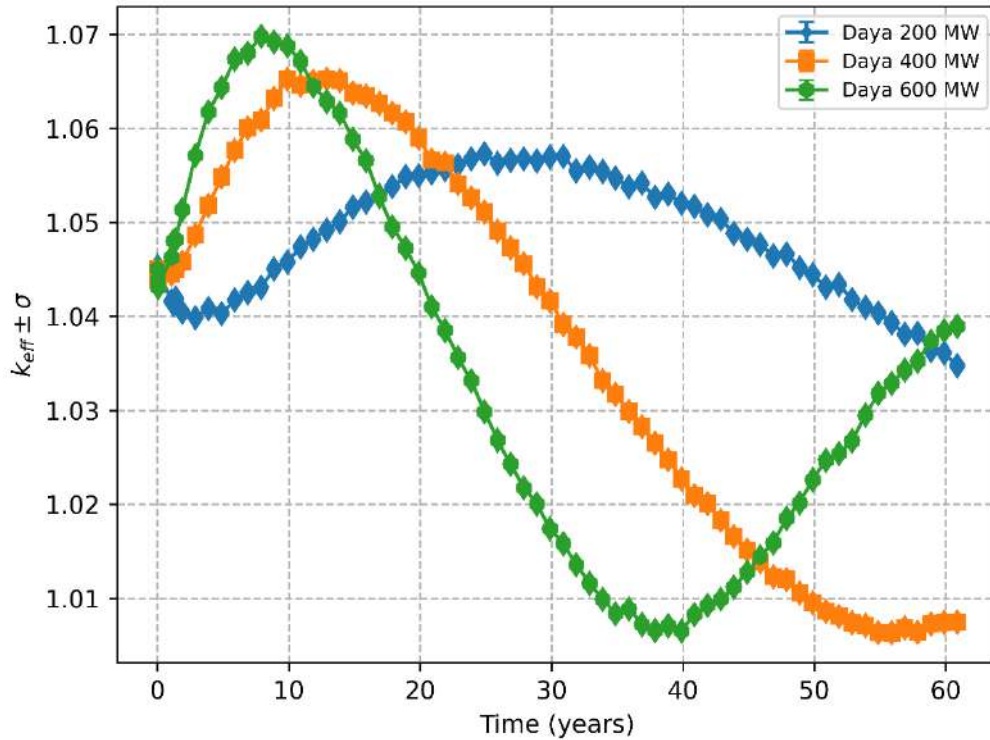


FIGURE 4. Evolution of k_{eff}

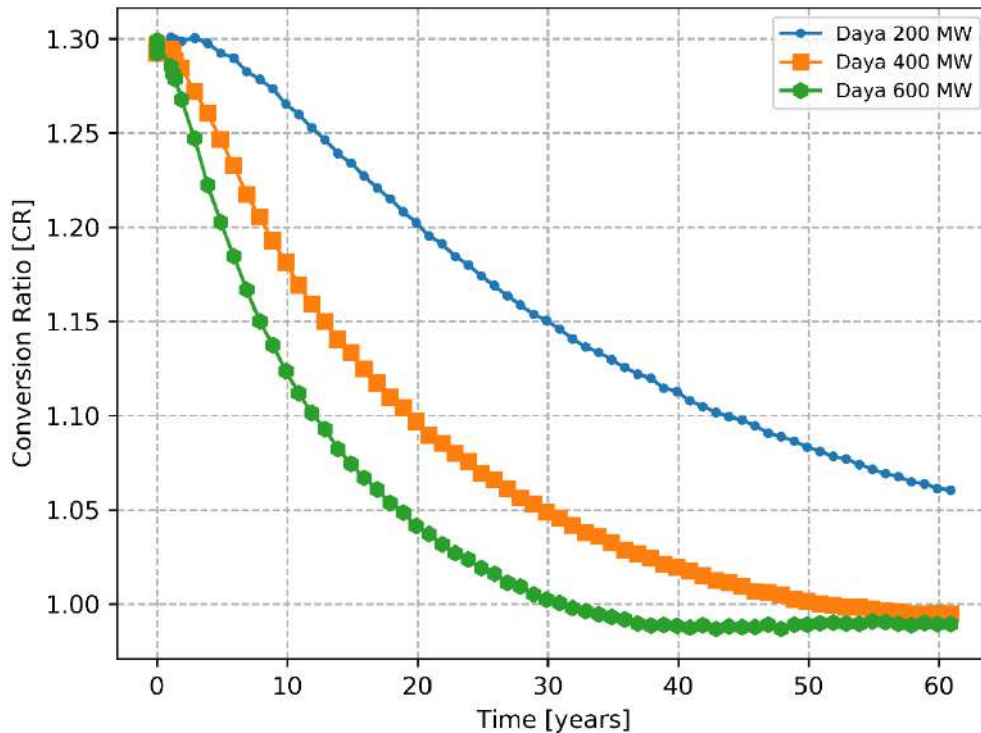


FIGURE 5. Conversion ratio distribution for several power variation.

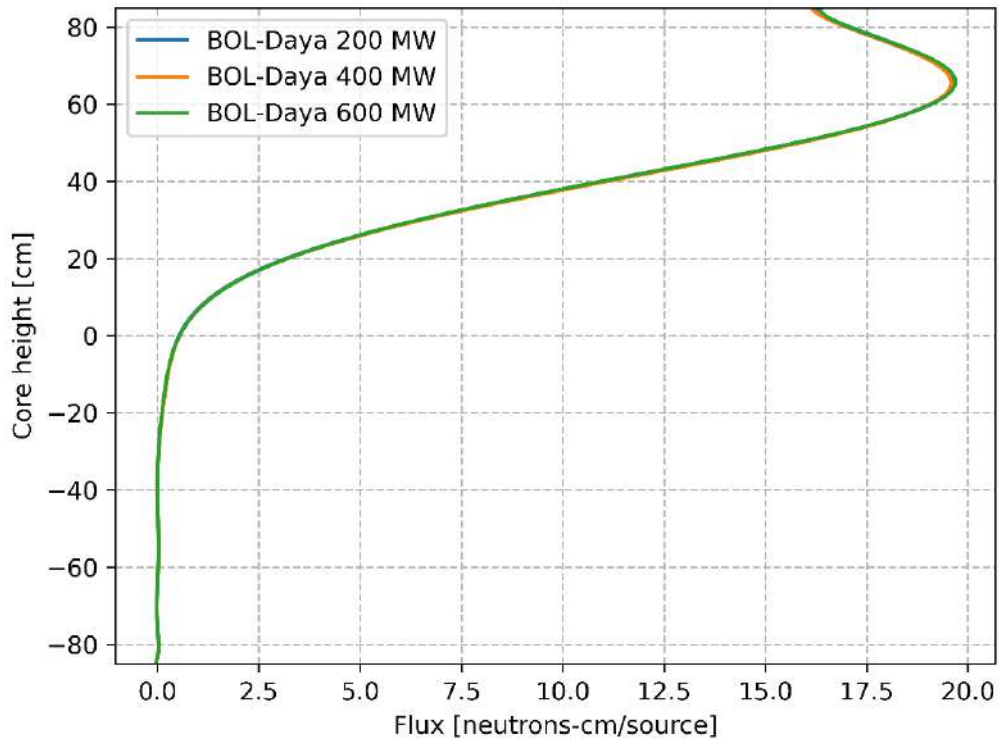


FIGURE 6. BOL Axial Flux distribution

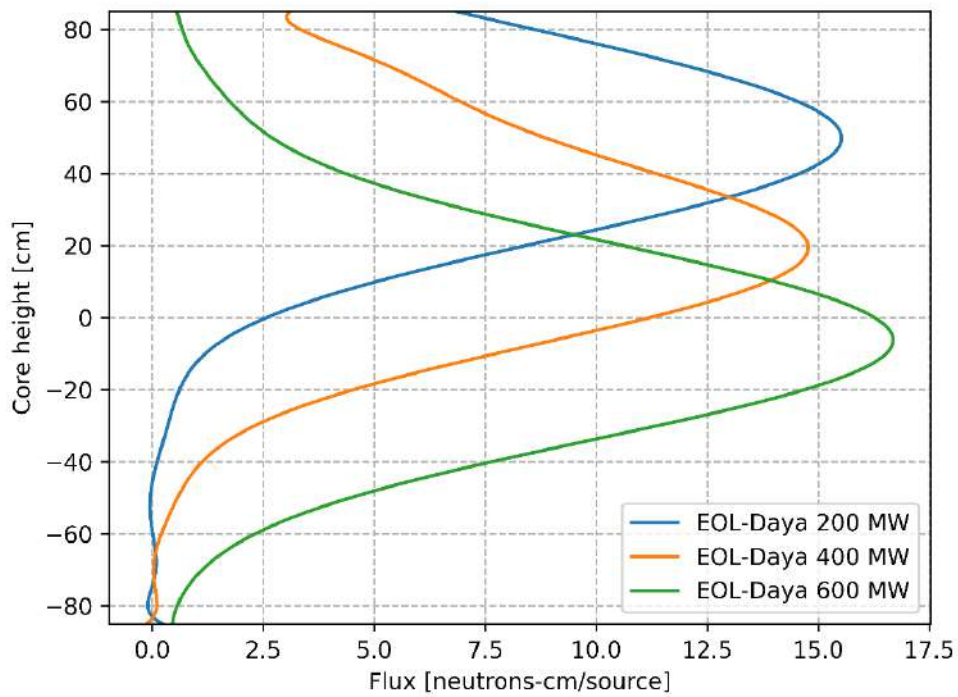


FIGURE 7. EOL Axial Flux distribution

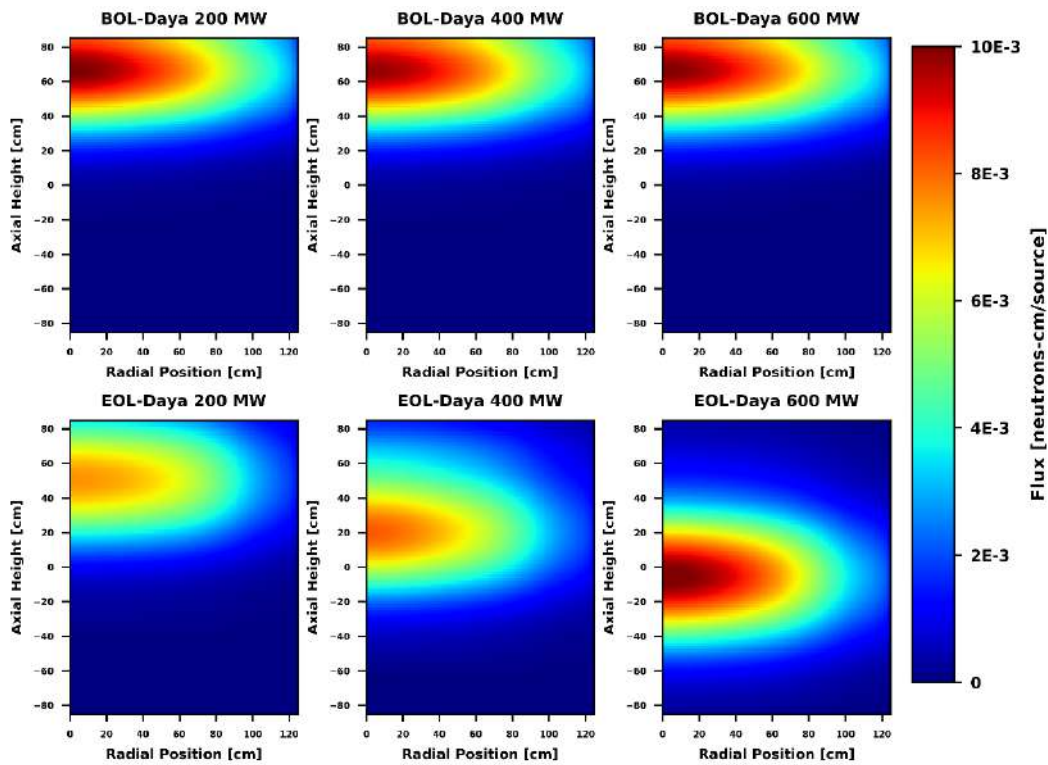


FIGURE 8. Zernike polynomial Flux distribution

CONCLUSION

From this research, we know that the distribution of the effective multiplication factor at 200 MWt power does not fluctuate during 60 years of burning because the contribution of flux and fission reactions is only supplied by starter fuel, but when the power increases to 600 MWth, a fluctuation curve occurs due to the contribution of the fresh fuel fraction. In addition, we obtained breeding gain information of about 0.3 in the initial cycle. The increase in power causes the distribution of the conversion ratio to decrease, but at 600 MWth, the value increases after 40 years of burning. The CANDLE-GFR core radial and axial flux distribution implement the Legendre and Zernike polynomial equations of FET-OpenMC features for multiple power variations. This research concluded that the thermal power rating for CANDLE-GFR of 600 MWth is the feasible power for the burning candle scheme.

REFERENCES

- [1] Helen Rafilis, et al (2020a): Neutronic Analysis of Modular Gas-cooled Fast Reactor for 5-25% of Plutonium Fuel using Parallelization MCNP6 Code, Journal of Physics: Conference Series, 1493, 12008.
- [2] Helen Rafilis, et al (2020b): Reflector materials selection for core design of modular gas-cooled fast reactor using OpenMC code, International Journal of Energy Research, 1–15.
- [3] Ismail, et al (2007): Long Life Small CANDLE-HTGRs with Thorium, Annals of Nuclear Energy, 34, 120–129.
- [4] M. Kheradmand Saadi, A. A., and Pazirandeh, A. (2012): Startup of ‘CANDLE’ Burnup in a Gas-cooled Fast Reactor using Monte Carlo Method, Annals of Nuclear Energy, 50, 44–49.
- [5] Nagata A., T. N., and H., S. (2009): A Feasible Core Design of Lead Bismuth Eutectic Cooled CANDLE Fast Reactor, Annals of Nuclear Energy, 36, 562–566.
- [6] Naoyuki Takaki Hiroki Watanabe, A. N., and Sekimoto, H. (2011): Sodium Cooled CANDLE Reactor Equipped with Reactivity Control Mechanism, Proceedings of GLOBAL 2011, Japan, Paper No. 390765.
- [7] Naoyuki Takaki Yu Sagawa, A. U., and Sekimoto, H. (2013): Start-up Fuel and Power Flattening of Sodium-Cooled CANDLE Core, Proceedings of GLOBAL 2013, USA.
- [8] Sekimoto H., et al (2001): CANDLE: The New Burnup Strategy, Nuclear Science and Technology, 139, 306–317.
- [9] Sekimoto, H., and Ryu, K. (2000): A Long-Life Lead–Bismuth Cooled Reactor with CANDLE Burnup, In: Proceedings of ICENES’2000, September, 198–206.
- [10] Tsuyoshi Okawa, H. S. (2010): A design study on Pb-208 cooled compact CANDLE burning reactor for future nuclear energy supply, Annals of Nuclear Energy, 37, 1620–1625.
- [11] Zaki Su’ud, F. M. (2017): Design study small modified CANDLE based long life Gas-Cooled Fast Reactors, Energy Procedia, 131, 6–14.

- [12] Raflis H, Su'ud Z, Waris A, Irwanto D. Core design selection for a long-life modular gas-cooled fast reactor using OpenMC code. *Int J Energy Res.* 2022;1-15. doi:10.1002/er.7812
- [13] Raflis H, Su'ud Z, Waris A, Irwanto D., Core Depletion Analysis of Long-Life CANDLE Gas-cooled Fast Reactor Using OpenMC Code, *Proceedings of ISCPMS 2020, AIP Conf. Proc.* 2374, 020020-1–020020-7; <https://doi.org/10.1063/5.005>



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PRELIMINARY STUDY OF NEUTRONIC ANALYSIS OF MIXED OXIDE (U,PU)O₂ FUEL IN GAS-COOLED FAST REACTOR (GFR) USING OPENMC

M.A. Kurniawan^{1, b)}, M. Ariani^{1,a)}, F. Monado^{1,c)}, H. Rafli^{2,d)}

¹Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences (FMIPA), Sriwijaya University, Jl. Raya Palembang – Prabumulih Km. 32 Indralaya, OI, South Sumatra 30662, Indonesia.

²Directorate of Inspection for Nuclear Installation and Materials, Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN), Jl. Gajah Mada No. 8, Central Jakarta 10120, Indonesia.

^{a)}Corresponding author: menik_ariani@unsri.ac.id

^{b)} aldikurniawanmuhammad29@gmail.com

^{c)} fibermonado@unsri.ac.id

^{d)} h.raflis@bapeten.go.id

Abstract. This paper discusses the use of MOX fuel in the Gas-cooled Fast Reactor (GFR) core using OpenMC code. GFR is one of the GEN-IV reactors that operate at high temperatures and fast neutrons. MOX is a nuclear fuel consisting of uranium ($U \leq 96\%$) and plutonium ($Pu \geq 4\%$) where plutonium can be obtained from combustion products from thermal reactors such as PWR. The plutonium material in MOX used in this study is 11% and natural uranium is a blanket fuel to extend operating life. OpenMC is an open-source Monte Carlo particle, which uses the Evaluated Nuclear Data File (ENDF/B VIII.0) as the nuclear data library. The physical parameters that became the result of this study included the value of the effective multiplication factor, which was able to reach a critical condition until the tenth year with the highest point in the fifth year, namely 1.02743, and the core was successful in achieving breeding conditions with a conversion ratio value of more than one ($CR > 1$) until the tenth year. Changes in the composition of the material from fertile to fissile, in this case, U238, which transmuted to Pu239, continued until the tenth year, which resulted in a long operating life.

Keywords: Neutronic, MOX, GFR, OpenMC.

INTRODUCTION

MOX is a mixed oxide nuclear fuel, usually consisting of plutonium with a mixture of natural uranium or depleted uranium, from nuclear power reactor waste fuels such as PWR [1]. One of the purposes of using MOX is to utilize the Pu239 isotope which can perform fission reactions instantly when it encounters a neutron, it would be a pity if it was not utilized [1-3] In addition, the use of MOX is also for the use of U235 fissile isotope enrichment in cores which is economically quite expensive [2,3]. The composition of MOX in this study was carried out by varying the percentage of Pu239 in the fuel cell design.

One type of reactor that is currently being developed is the Gas-Cooled Fast Reactor [2-6]. The Gen-IV reactor is projected to be able to operate in 2025 [6,7]. GFR is a reactor that uses fast neutrons in its fission process [1]. The features of the GFR system consist of a fast neutron spectrum, helium coolant, and a closed fuel cycle. In addition, GFR can also use depleted uranium or natural uranium that can be used as a fuel supply, closed fuel cycle, and potential actinide recycling. GFR as one of the reactors that use fast neutrons allows some recycling of plutonium which means that the fuel would be reprocessed on site or in the core and all the actinides recycled repeatedly to minimize the production of long-lived radioactive waste because all transuranic isotopes are fissionable [2,3,5].

In the construction of any type of nuclear reactor, a simulation process is required first to obtain optimum results and as a reference for nuclear safety issues. To obtain optimum results, an analysis of the neutronic behavior of the fuel and nuclear core as a whole is required [5]. One of the tools that support conducting nuclear simulations, namely OpenMC. OpenMC is one of several tools for nuclear simulation that uses the Monte Carlo method in its calculations. OpenMC which can be accessed freely and for free is one of the reasons for using it

tools [8,9]. Application of OpenMC as tools in developing the reactor design in this work to obtain physical parameters and analysis of the results of the OpenMC depletion calculation is the main goal in the initial investigation of the study carried out.

DESIGN AND METHODOLOGY

The reactor design used is a gas-cooled fast reactor with a fast neutron spectrum with a radial fuel arrangement strategy. In this simulation, the reactor is operated in a closed cycle, a cycle where the operation takes place without refueling the reactor [2,3].

Table 1. Reactor Core Design Specification

Parameter	Value	Unit
Power	250	MWt
Core geometry	2-D Hexagonal	-
Apothem	11.16	Cm
Side	12.88	Cm
Height / Diameter	210 / 300	Cm
Number of Fuel Pins Assembly	127 (7 rings)	Rod
Number of Material Fuel Assembly in Reactor Core	127 (7 rings)	Assembly
Number of Blanket Fuel Assembly in Reactor Core	90 (2 rings)	Assembly
Ring 1: 2 : 3: 4 : 5: 6: 7	1 : 6 : 12 : 18 : 24 : 30 : 36	Assembly

Tabel 2. Material Information

Parameter	Value	Unit
Fuel Composition	(U,Pu)O ₂	-
Plutonium Fraction	11	%wo
Blanket Fuel	Natural Uranium	-
Cladding	SS 316	-
Coolant	Hey	-
Reflector	BeO	-

Tabel 3. Fuel Pin Information

Parameter	Value
Pin Radius	0.416
Inner Cladding Radius	0.419456
Outer Cladding Radius	0.483456
Side	0.74
P/D	1.002
Fuel Volume Fraction	65%
Coolant Volume Fraction	24%

Table 1 describes the specifications of the built GFR design geometry [2]. The GFR core is designed at 250 MWt of power and uses 2D hexagonal lattice configuration. The core consists of an inner fuel system lattice arrangement and a blanket. Inner consists of 127 fuel assembly in 7 rings using MOX and fuel blanket consists of 90 fuel assembly in 2 rings using natural uranium. The core is built without the use of control rods because the core is assumed to operate in a state of the control rod in a fully-up state. Table 2 contains information about the materials used [10]. The composition of the materials used in the inner core, blanket, cladding, coolant, and reflector are respectively mixed oxide (MOX), natural uranium, stainless steel SS 316, helium gas, and beryllium oxide (BeO). Table 3 contains information on the physical parameters of fuel pins. The volume fractions of fuel, gap, cladding, and coolant were 65 percent, 0.54 percent, 10 percent, and 24.46 percent.

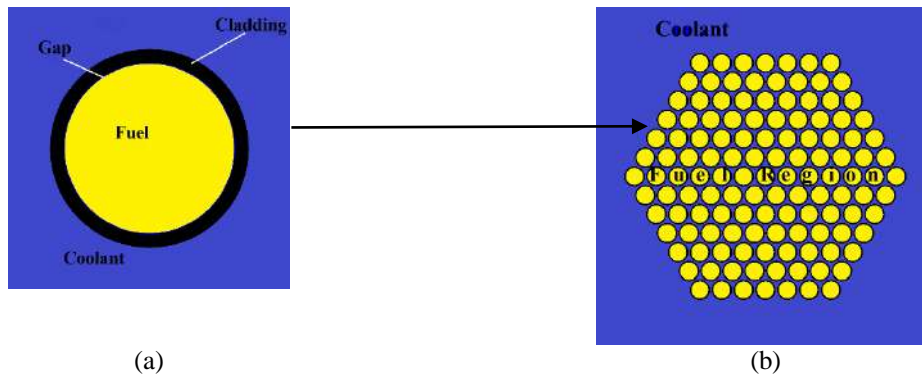


FIGURE 1.GFR design (a) fuel cell pins (b) fuel assembly configuration in XY – axis using Python Matplotlib

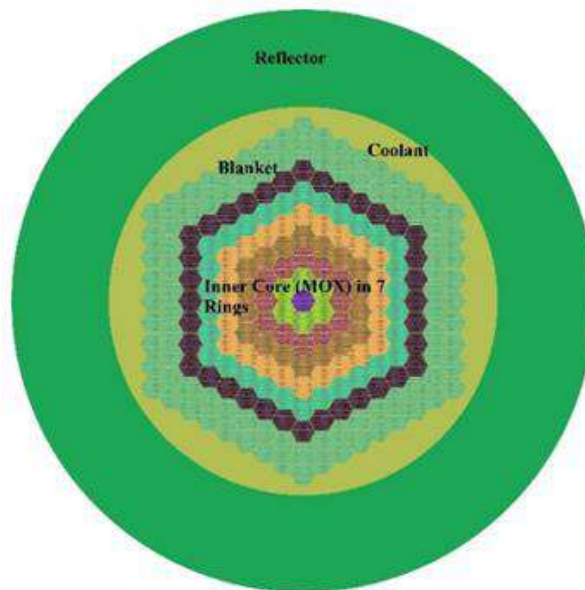


FIGURE 2.GFR Core Design in XY-axis using Python Matplotlib

Figure 1(a) is a model of a fuel cell and Fig. 1(b) is a visualization of a fuel assembly, both images are plotted using the Python Matplotlib module by OpenMC. The fuel rod and fuel assembly use a hexagonal lattice configuration in seven rings where there are 127 fuel pin rods in one ring. Figure 2 is a design of the core configuration consisting of an inner core, blanket, and reflector. The reflector has a thickness of 50 cm and is designed in the form of a solid cylinder using an OpenMC class ZCylinder.

RESULTS AND DISCUSSION

OpenMC is capable of producing very diverse outputs such as effective multiplication factor, flux, rate of fission reaction, neutron production rate, and other parameters. However, in this initial study, we only presented information about effective multiplication factor values, conversion ratios, and material evolution in fissile and fertile. We obtained these output parameters from the results of depletion for ten years. During the depletion process, OpenMC will issue a file in h5 format which will later be used to find out information from the output parameters needed to be analyzed.

Figure 3(a) shows the ratio of the fissile isotope produced to the consumed fissile isotope, by comparing the capture rate reaction on the fertile nuclides to the absorption rate reaction on the fissile nuclide or commonly called the conversion ratio. Capture rate (n, γ) occurs in fertile materials, namely Th232, U238, and Pu240, while the absorption rate is a combination of fission rate ($z, fission$) and capture rate (z, γ) in fissile material, namely U233, U235, Pu239, and Pu241 where a formulation like this is applied in the OpenMC code to determine the CR value. Based on the graph, it can be seen that during ten years of operation the reactor produced more fissile isotopes because ($CR > 1$). A reactor that has a conversion ratio value above one indicates that the reactor is undergoing breeding or so call breeding ratio. The decrease in the breeding ratio that occurs indicates that there is a decrease in the production of fertile to fissile.

Figure 3(b) represents the change in the value of the effective multiplication factor for ten years of operation. From the beginning of the operation until the tenth year, the condition of the reactor was still at a critical point. The highest point of the effective multiplication factor value is in the fifth year, which is 1.02743, and then continues to decline. This criticality level is related to the existing conversion ratio value. A high conversion

ratio value also has an impact on increasing the value of the effective multiplication factor due to increased fissile production so that it has an impact on increasing the number of neutrons born. The decrease in the sixth year to the tenth year is caused by a decrease in the neutron population in the core. Several factors cause a decrease in the neutron population, including a decrease in fissile isotopes, absorption, and blanket fuels that have not occurred in optimal breeding.

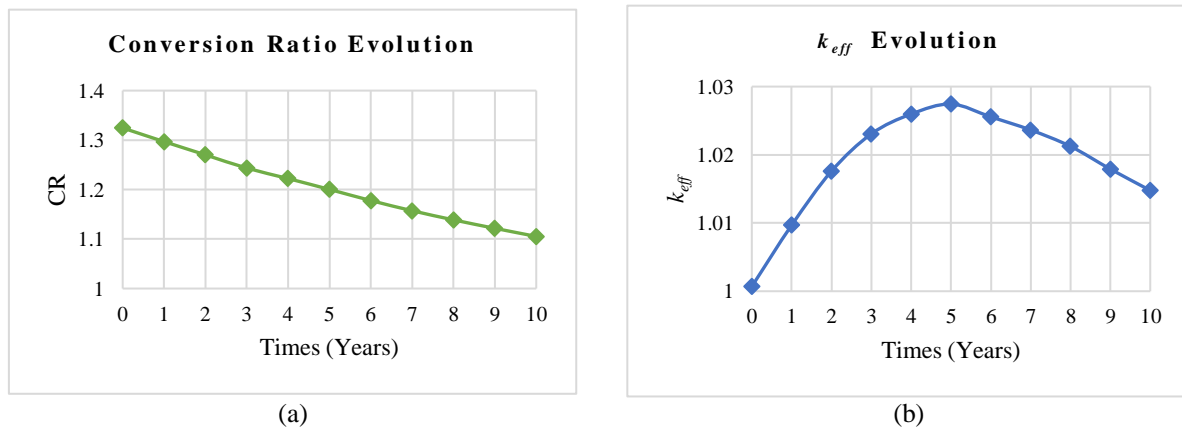


FIGURE 3. Evolution of (a) Conversion Ratio and (b) k_{eff}

Figure 4 is a visualization of changes in fissile and fertile material contained in seven rings containing mixed oxide (MOX) material during 10 years of operation, especially for the U235, U238, and U239 isotopes which were the most common than other isotopes. Each is identified each ring from the first to the seventh ring where the number of the fuel assembly in each ring is as in table 1.

Among the three isotopes in Fig. 4, isotope U235 is the isotope with the lowest composition and also the fastest to burn out. Thus, the depletion process in this reactor does not depend on the U235 isotope. It can be seen in Fig. 4(c) that there is a significant decrease in all rings. The isotope U235 will continue to decrease until it is depleted in all rings. However, U235 is very helpful in the initial startup process because U235 can carry out spontaneous fission reactions when it encounters neutrons.

After U235 is exhausted due to a chain reaction, the reactor will utilize the decay of fissionable materials such as U238 which is capable of transmuting into Pu239. It can be observed in Figures 4(a) and 4(b), that the two isotopes are related to each other. The atomic density of U238 will continue to decrease due to the absorption of neutrons which then transmute into the fissile isotope Pu239 or decay. Until the tenth year, the reactor is still experiencing growth in the inner core. The transmutation that occurs is still in a small amount, it can be observed that until the tenth year U238 in seven rings is still quite large. If the change in the isotope of the blanket fuel is also included, then the amount of Pu239 isotopes that exist will also experience a drastic increase because the composition of the U238 isotope vector in the blanket (natural uranium) is very high, 99.2739 percent. This condition will have a positive impact on the operating life of the reactor.

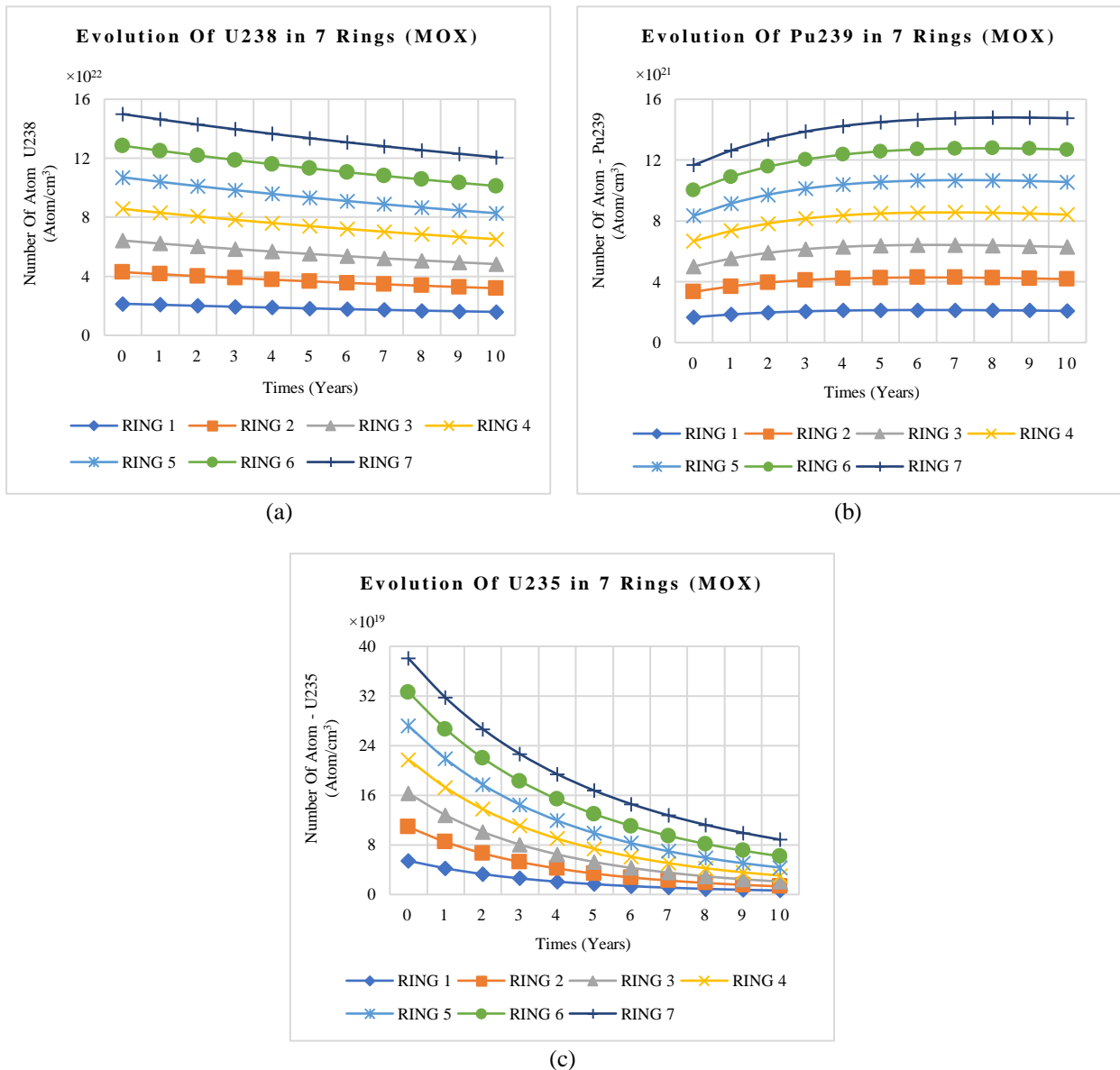


FIGURE 4. Evolution of fissile and fertile material (a)U238, (b)Pu239, and (c)U235 from MOX

CONCLUSION

A preliminary investigation on the design of a modular GFR using OpenMC has been carried out. The modeled design managed to reach critical conditions within ten years of operation. The effective multiplication factor values for BOL and EOL are 1.00069 and 1.01477, respectively. In addition, other output parameter values have also been obtained, the conversion ratio value which is following the expected conditions, (CR>1), even in the tenth year breeding still happening inside the inner core. BOL and EOL of conversion ratio values on the inner core respectively are 1.32446 and 1.10530. Calculation of changes in fissile and fertile material is only carried out on three main isotopes, U235, U238, and Pu239 which are contained in the inner core. The decrease in U238 and the increase in Pu239 which still occurred until the tenth year indicated that breeding still occurs and the operating time may continue for longer.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences (FMIPA) Sriwijaya University and Directed of Inspection for Nuclear Installation and Materials, Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN), which we are gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] Duderstadt, J.J., and Hamilton, L.J, *Nuclear reactor analysis*. Wiley, 1976.
- [2] H. Raffles, M. Ilham, Z. Su'ud, A. Waris and D. Irwanto, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1493, 012008 (2020).
- [3] H. Raffles, I. Muhammad, Z. Su'ud, A. Waris and D. Irwanto, *Int. J. Energy Res.*, 45, Issue 8, 1-15 (2020).
- [4] M. Ariani, Supardi, A. Johan, F. Monado, Z. Su'ud, H. Sekimoto, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1568, 012015 (2020).
- [5] Ariani, Menik, Z. Su'ud, Fiber Monado, A. Waris, I. Arif, A. Ferhat, and H. Sekimoto. "Optimization of small long-life gas-cooled fast reactors with natural Uranium as fuel cycle input". *Applied Mechanics and Materials*, 260, 307-311 (2013).
- [6] Su'ud, Zaki and H. Sekimoto "The prospect of gas cooled fast reactors for long life reactors with natural uranium as fuel cycle input", *Annals of Nuclear Energy*, 54, 58–66 (2013).
- [7] Behar, Christophe, *Technology Roadmap Update for Generation IV Nuclear Energy Systems* (OECD Nuclear Energy Agency, France, 2014).
- [8] Paul K. Romano, et al, "OpenMC: A state-of-the-art Monte Carlo code for research and development", *Annals of Nuclear Energy*, 82, 90–97 (2015).
- [9] Romano, Paul K. and Benoit Forget, "The OpenMC Monte Carlo particle transport code", *Annals of Nuclear Energy*, 51, 274–281 (2013).
- [10] McConn, R.J., Gesh, C.J., Pagh, R.T., Rucker, R.A. dan Williams III, R., 2011. *Compendium of material composition data for radiation transport modeling (No. PNNL-15870 Rev. 1)* (Pacific Northwest National Lab (PNNL), United States, 2011).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PEMBUATAN DATABASE DAYA VS FRAKSI BAKAR PADA BAHAN BAKAR RSG-GAS MENGGUNAKAN FRAMEWORK LARAVEL

Arif Isnaeni^{1a)}

¹Badan Pengawas Tenaga Nuklir

^{a)}a.isnaeni@bapeten.go.id

Abstrak. Pada perhitungan kritikalitas reaktor menggunakan MCNP, pada umumnya penyusun input MCNP hanya memasukkan beberapa nuklida yang penting yaitu nuklida fertil, penyerap neutron, dan nuklida fisil, karena akan sangat sulit memasukkan banyak nuklida yang kisarannya mencapai ratusan nuklida, misalnya pada bahan bakar dengan nilai fraksi bakar tertentu (bukan *fresh fuel*). Pembuatan database daya vs fraksi bakar pada bahan bakar RSG-GAS menggunakan framework Laravel, bertujuan agar nuklida output dari ORIGEN dapat dimasukkan semua ke dalam input MCNP, menyesuaikan data XSDIR (*cross section directory*) yang tersedia. Diharapkan dengan adanya database maka pembuatan input untuk perhitungan neutronik teras reaktor RSG-GAS dengan menggunakan MCNP dapat menjadi lebih mudah. Database dibuat menggunakan program MySQL, sedangkan antarmuka yang digunakan adalah framework PHP yaitu Laravel. Database ini digunakan untuk menyimpan data nuklida dari 420 file hasil keluaran ORIGEN (file pch). Setiap file keluaran ORIGEN (file pch) yang dapat digunakan untuk inputan MCNP rata-rata memiliki 263 data nuklida. Jadi secara keseluruhan dari 420 file pch terdapat 110460 data nuklida. *Standard fuel element* (FE) setelah 230 MWD masih terdapat sisa U-235 sejumlah 35,13 gram atau fraksi bakar 85,95 %. *Control fuel element* (CE) setelah 190 MWD masih terdapat sisa U-235 sejumlah 15,13 gram atau fraksi bakar 91,53 %. Database ini masih harus dilakukan pengembangan, untuk selanjutnya agar bisa memasukkan data nuklida ke dalam input MCNP, sesuai tingkat fraksi bakar dari setiap posisi bahan bakar. Database ini berkaitan dengan penggunaan MCNP untuk perhitungan neutronik RSG-GAS, atau dalam bidang fisika nuklir.

Kata kunci: Database, RSG, inventori nuklida, bahan bakar, fraksi bakar.

Abstract. MCNP criticality calculation, in general the MCNP input maker only insert a few important nuclides, such as fertile nuclides, neutron absorbers, and fissile nuclides, because it will be very difficult to insert many nuclides (hundreds of nuclides), for example in fuels with certain burnup (not fresh fuel). The purpose of creating a power vs burnup database on RSG-GAS fuel using the Laravel framework to insert all nuclides from ORIGEN output to MCNP input, as available in the XSDIR (cross section directory) data. Hopefully with the database application, it will be easier to make input for the neutronic core calculation of the RSG-GAS reactor using MCNP. The database is created using the MySQL program, while the interface used is the PHP framework (Laravel). This database is used to store nuclide data from 420 ORIGEN output files (pch files). Each ORIGEN output file (pch file) that can be used for MCNP input has an average of 263 nuclide data. Totally from 420 pch files there are 110460 nuclides data. Standard fuel element (FE) after 230 MWD there is remaining 35.13 grams of U-235 or 85.95% of burnup. Control fuel element (CE) after 190 MWD there is remaining 15.13 grams of U-235 or 91.53% of burnup. This database still has to be developed, in the future so that it can insert nuclide data into the MCNP input, according to the level of burnup of each fuel position. This database relates to the use of MCNP for RSG-GAS neutronic calculations, or in the field of nuclear physics.

Keywords: Database, RSG, nuclide inventory, fuel, burnup.

PENDAHULUAN

RSG-GAS merupakan reaktor riset terbesar di Indonesia yang dioperasikan oleh BRIN, untuk mempermudah dalam perhitungan neutronik teras reaktor RSG-GAS, perlu dibuat database mengenai inventory nuklida yang terdapat pada bahan bakar RSG GAS pada berbagai nilai fraksi bakar. Data inventory nuklida tersebut merupakan keluaran dari ORIGEN (file pch).

Telah dilakukan perhitungan bahan bakar yang tersisa pada RSG-GAS menggunakan MCNPX [1], data fraksi bakar yang digunakan menyesuaikan data yang terdapat pada LAK (Laporan Analisis Keselamatan), hanya beberapa nuklida penting yang dimasukkan sebagai inputan bahan bakar RSG-GAS yaitu U-235, U-238,

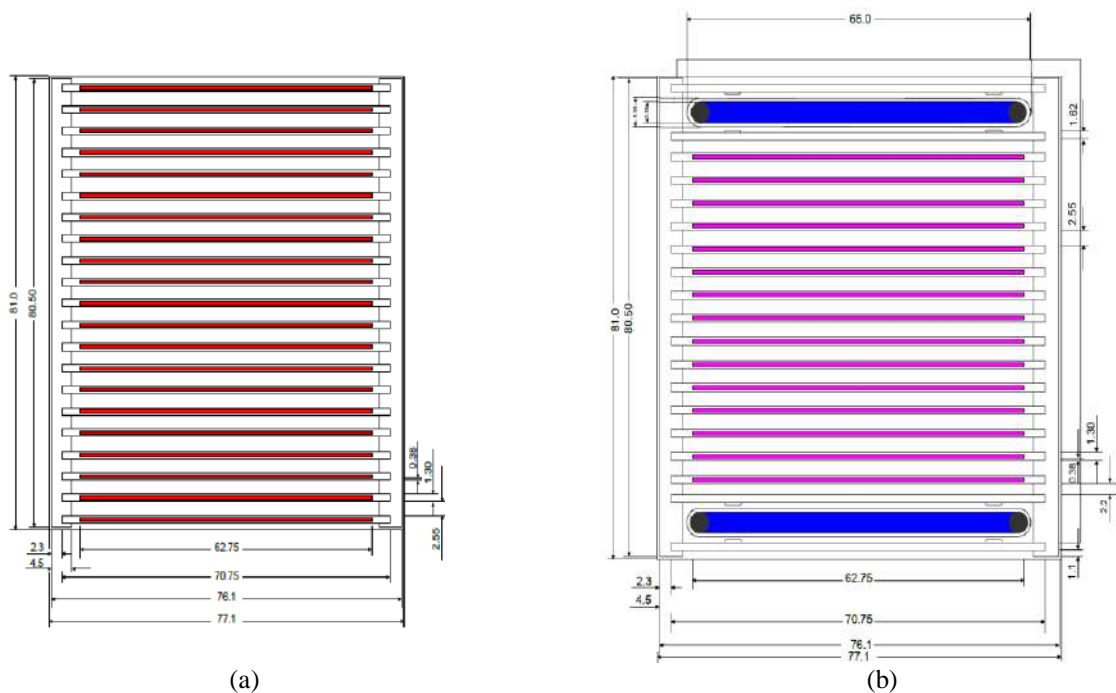
Silisida dan Aluminium. Perhitungan fraksi bakar elemen bakar teras ke-82 di reaktor RSG-GAS dengan BATAN-FUEL [2], menghasilkan fraksi bakar maksimum 57,58% yang masih sesuai dengan LAK. Penelitian mengenai evaluasi manajemen teras reaktor RSG-GAS berdasarkan perhitungan fraksi bakar [3], penelitian tersebut dilakukan karena RSG-GAS pernah menggunakan program excel dalam menghitung fraksi bakar, untuk meningkatkan akurasi pada penelitian tersebut digunakan program SRAC COREBN.

Pada perhitungan kritikalitas reaktor menggunakan MCNP, pada umumnya penyusun input MCNP hanya memasukkan beberapa nuklida yang penting yaitu nuklida fertil, penyerap neutron, dan nuklida fisil, karena akan sangat sulit memasukkan banyak nuklida yang kisarannya mencapai ratusan nuklida, terutama pada bahan bakar dengan nilai fraksi bakar tertentu (bukan *fresh fuel*).

Pembuatan database daya vs fraksi bakar pada bahan bakar RSG-GAS menggunakan framework Laravel, bertujuan agar nuklida output dari ORIGEN dapat dimasukkan semua ke dalam input MCNP, menyesuaikan data XSDIR (cross section directory) yang tersedia.

Diharapkan dengan adanya database tersebut maka pembuatan input untuk perhitungan neutronik teras reaktor RSG-GAS dengan menggunakan MCNP dapat menjadi lebih mudah. Database dibuat menggunakan program MySQL, sedangkan antarmuka yang digunakan adalah framework PHP yaitu Laravel.

RSG-GAS menggunakan 2 jenis tipe bahan bakar [4], sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1(a) yaitu tipe *standard fuel element* (FE), dan Gambar 1(b) yang menunjukkan tipe *control fuel element* (CE).



GAMBAR 1. (a) RSG GAS *Standard fuel element*, (b) RSG GAS *control fuel element* (unit mm) [5]

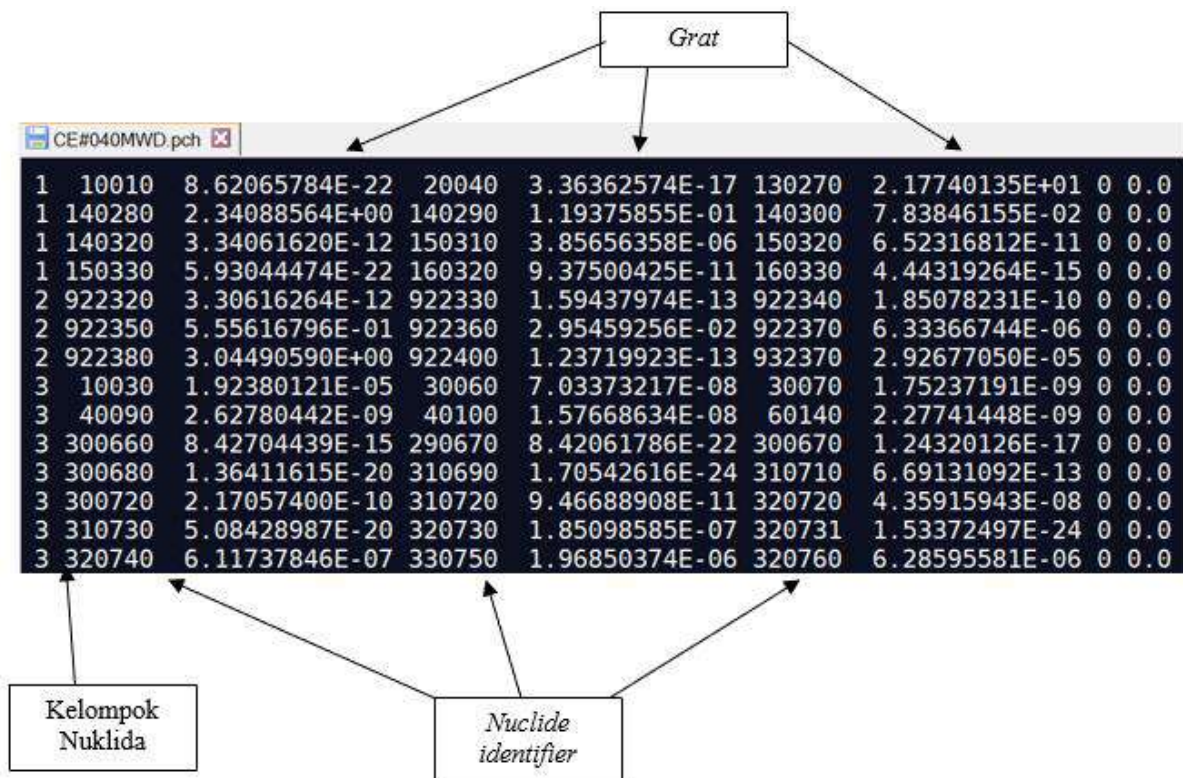
Pada penelitian ini digunakan paket program komputer ORIGEN, komponen bahan bakar yang dijadikan input ORIGEN adalah inventory nuklida pada meat bahan bakar dari reaktor RSG-GAS baik tipe FE maupun CE.

METODOLOGI

ORIGEN adalah *computer code* untuk perhitungan aktivasi neutron, deplesi, reaksi fisi, dan nuklida peluruhan dari hasil reaksi fisi tersebut [6]. File keluaran ORIGEN adalah file teks, teks tersebut hanya berupa angka-angka, yang terbagi dalam tiga kelompok, yaitu:

1. Nuklida hasil dari aktivasi.
2. Unsur Aktinida.
3. Produk fisi, hasil fisi terutama dari fisi U-235, kelompok ini juga mencakup hasil peluruhan dari produk fisi tersebut.

Kelompok kelompok yang berupa kumpulan nuklida tersebut dapat dilihat pada contoh file keluaran ORIGEN yang ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini:



GAMBAR 2. File output ORIGEN (file pch).

Nuclide Identifier atau disebut identifikasi nuklida, adalah primary key dari nuklida yang membedakan satu nuklida dan nuklida lainnya, berupa 6 digit angka yang dijelaskan sebagai:

$$\text{Nuclide Identifier} = (10000 \times Z) + (10 \times A) + \text{IS};$$

Z = atomic number

A = mass number

IS = keadaan isomer, yang berupa angka 1 jika nuklida dalam keadaan tereksitasi, atau angka 0 jika dalam keadaan *ground state*

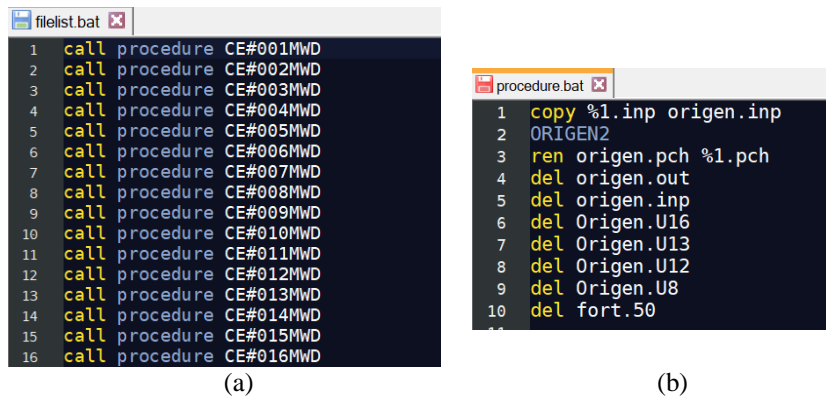
Sebagai contoh pada file keluaran ORIGEN terdapat angka 922350, yang sudah dapat dipastikan sebagai *nuclide identifier*, karena terdiri dari 6 digit angka. Dua digit angka pertama yaitu angka 92 menunjukkan nomor atom, sedangkan tiga digit angka berikutnya yaitu angka 235 menunjukkan nomor masa, angka 0 pada digit terakhir menunjukkan keadaan isomer, yaitu *ground state*. Maka *nuclide identifier* tersebut adalah U-235.

ORIGEN dapat digunakan untuk perhitungan inventory radionuklida di dalam bahan bakar reaktor nuklir, input ORIGEN berupa nuklida (termasuk nuklida fisil dan fertil), daya, durasi waktu iradiasi dan durasi waktu peluruhan. Apabila diperlukan untuk perhitungan kritikalitas dan fraksi bakar ORIGEN harus dikopel dengan MCNP, inputan mcnp berupa inventory nuklida yang dikenal dengan istilah *zaid* dan masa dari radionuklida tersebut. Kelebihan utama apabila menggkopel ORIGEN dan MCNP yaitu inputan nuklida dari MCNP dapat lebih lengkap, misalnya apabila bahan bakar di dalam teras reaktor bukan merupakan bahan bakar baru (*fresh fuel*), ORIGEN dapat digunakan untuk memperoleh data inventori bahan bakar dengan tingkat fraksi bakar tertentu, dengan metode *trial and error*, yaitu dengan memasukkan nilai daya dan waktu iradiasi tertentu. cara lain adalah dengan membuat database yang berisi daftar nuklida menurut tingkat fraksi bakar, sehingga apabila diperlukan sebagai inputan MCNP, kita bisa langsung mengambil daftar inventori nuklida di dalam bahan bakar reaktor sesuai dengan tingkat fraksi bakarnya. Selain berfungsi sebagai penyimpan data nuklida (yang bisa berkisar ratusan nuklida) pada bahan bakar dengan tingkat fraksi bakar tertentu, aplikasi ini dibuat juga untuk mempermudah ekstraksi data nuklida dan masa nuklida tersebut dari file keluaran ORIGEN (file pch).

Bahasa pemrograman PHP digunakan sebagai dasar pembuatan aplikasi ini [7]. Sedangkan database dibuat menggunakan perangkat lunak MySQL. Antarmuka yang digunakan adalah Framework Laravel yang berbasis Bahasa pemrograman PHP. Paket program XAMPP dan atau Laragon digunakan sebagai server lokal (*localhost*) untuk running Bahasa PHP dalam bentuk framework Laravel, serta database MySQL. di dalam paket program XAMPP atau Laragon terdapat Apache (server PHP), dan perangkat lunak MySQL.

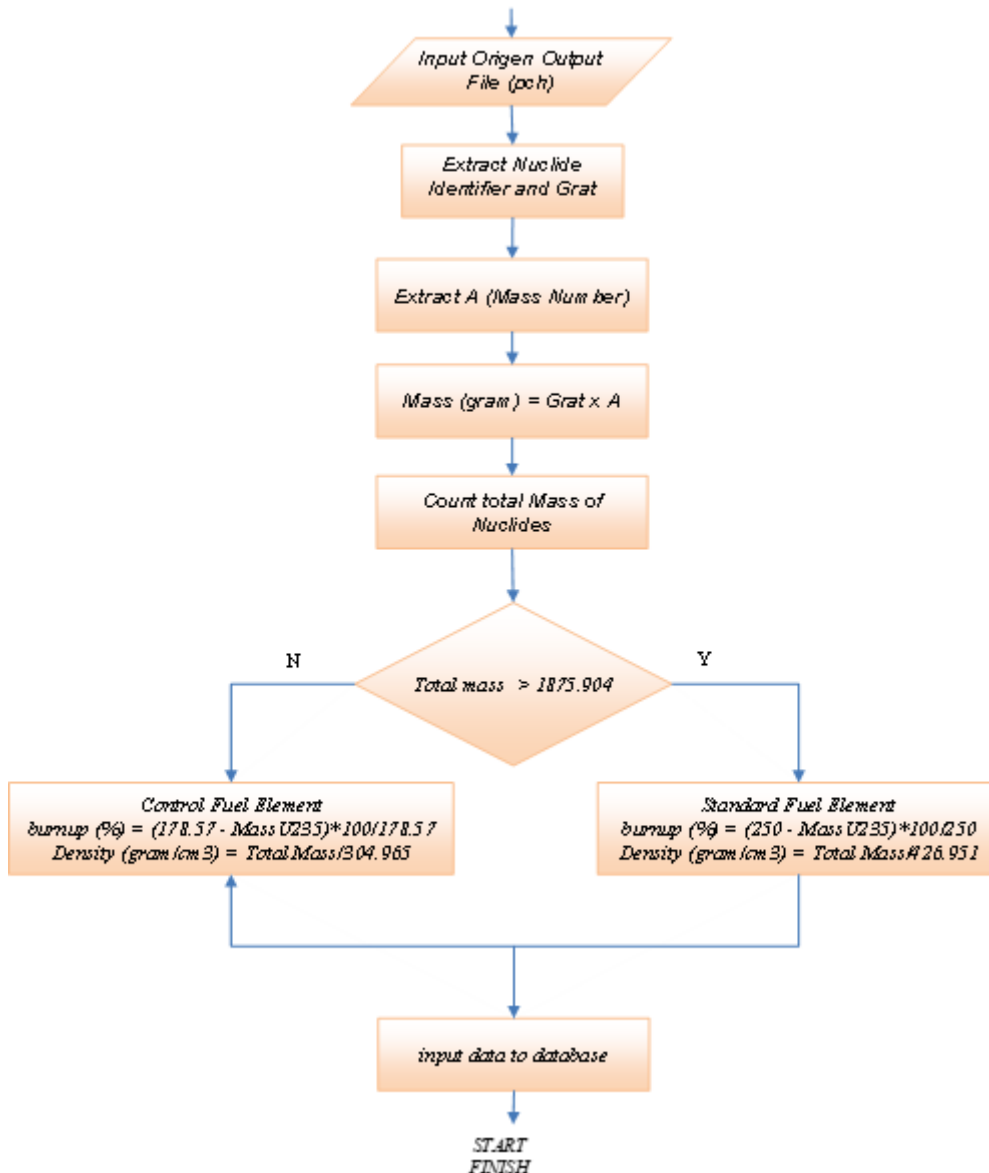
Terdapat 2 jenis tipe bahan bakar RSG GAS yaitu *control fuel element* (CE) dan *standard fuel element* (FE). Dalam rangka membuat database inventory bahan bakar RSG GAS baik bertipe CE dan FE, maka dibuat input ORIGEN dengan variasi daya (MWD) dari rentang 0 s.d 230 MWD untuk *standard fuel element* (FE), dan rentang daya 0 s.d 190 MWD untuk *control fuel element* (CE), sehingga seluruh input file ORIGEN berjumlah

420 file, untuk memudahkan running seluruh file input ORIGEN tersebut, maka perlu disusun batch file (Gambar 3).



GAMBAR 3. (a) file batch (filelist.bat) untuk memanggil 420 file input ORIGEN kemudian di running menggunakan file procedure.bat, (b) file batch (procedure.bat) untuk running setiap file input ORIGEN.

Hasil running file input yang berupa 420 file output ORIGEN (file pch) kemudian dimasukkan ke dalam database dengan flowchart sebagai berikut (Gambar 4):



GAMBAR 4. Flowchart.

Dari Gambar 4 *Flowchart*:

1. Program dimulai dengan upload file output dari ORIGEN (file pch) yang berupa file teks.
2. *Extract nuclide identifier*: file teks tersebut diekstrak *Nuclide Identifier* yang berupa angka yang berkisar antara 5 sampai 6 digit
3. *Extract Grat*: pengambilan nilai grat dari file teks yang berupa karakter (angka dan huruf) yang melebihi 7 karakter.
4. *Extract A (Mass Number)*: mengambil nomor masa dari *nuclide identifier*
5. *Mass (gram) = Grat x A*, masa dari nuklida dapat diperoleh dengan mengkalikan nilai grat dan nomor masa
6. *Count total Mass of Nuclides* : menjumlahkan masa dari seluruh inventori nuklida
7. *Total mass > 1875,904 (Y)*: jika masa total yang diperoleh lebih besar dari 1875,904 maka perangkat bahan bakar tersebut adalah *Standard Fuel Element*, sehingga cara perhitungan:
 - Fraksi bakar (%) = $((250 - \text{Masa U-235}) \times 100) / 250$
 - Densitas (gram/cm³) = jumlah total dari seluruh inventori nuklida / 236,951
8. *Total mass > 1875,904 (N)*: jika masa total yang diperoleh lebih kecil dari 1875,904 maka perangkat bahan bakar tersebut adalah *Control Fuel Element*, sehingga cara perhitungan:
 - Fraksi bakar (%) = $((178,57 - \text{Masa U-235}) \times 100) / 178,57$
 - Densitas (gram/cm³) = jumlah total dari seluruh inventori nuklida / 304,965
9. input data to database: inputkan seluruh data yang diperoleh ke dalam database

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perhitungan kritikalitas reaktor menggunakan MCNP, pada umumnya penyusun input MCNP hanya memasukkan beberapa nuklida yang penting yaitu nuklida fertil, penyerap neutron, dan nuklida fertile, yang secara keseluruhan tidak lebih dari 20 nuklida. Pada database ini nuklida output dari ORIGEN dapat dimasukkan semua ke dalam input MCNP, menyesuaikan data XSDIR (cross section directory) yang tersedia. Daftar nuklida dari output ORIGEN yang dimasukkan ke dalam input MCNP bisa mencapai ratusan nuklida. Hal ini tentu akan sangat merepotkan bila dilakukan manual satu per satu. Dengan penggunaan aplikasi database ini sangat mempermudah dalam mengambil dan menyusun inventori nuklida tersebut.

id	created_at	updated_at	origenid	zaid	gram
58	2022-06-29...	2022-06-29...	104	96244.86c	1.16179637664E-5
19	2022-06-29...	2022-06-29...	104	88226.86c	7.6581797486E-18
20	2022-06-29...	2022-06-29...	104	89225.86c	2.70416646E-16
21	2022-06-29...	2022-06-29...	104	89227.86c	2.7669301492E-13
22	2022-06-29...	2022-06-29...	104	90227.86c	5.7481672983E-16
23	2022-06-29...	2022-06-29...	104	90228.86c	2.92413192E-11
24	2022-06-29...	2022-06-29...	104	90229.86c	2.14448054165E-12
25	2022-06-29...	2022-06-29...	104	90230.86c	8.433809579E-12
26	2022-06-29...	2022-06-29...	104	90231.86c	2.07480624582E-10
27	2022-06-29...	2022-06-29...	104	90232.86c	3.0209863296E-7
28	2022-06-29...	2022-06-29...	104	90234.86c	1.46213868528E-8
29	2022-06-29...	2022-06-29...	104	91231.86c	5.0042034504E-8
30	2022-06-29...	2022-06-29...	104	91232.86c	5.4532425224E-12
31	2022-06-29...	2022-06-29...	104	91233.86c	5.2405918465E-9
32	2022-06-29...	2022-06-29...	104	92232.86c	1.46388243224E-8
33	2022-06-29...	2022-06-29...	104	92233.86c	8.0780217629E-9
34	2022-06-29...	2022-06-29...	104	92234.86c	2.3867295426E-5
35	2022-06-29...	2022-06-29...	104	92235.86c	51.02138768
36	2022-06-29...	2022-06-29...	104	92236.86c	28.72131682
37	2022-06-29...	2022-06-29...	104	92237.86c	0.0079365522414
38	2022-06-29...	2022-06-29...	104	92238.86c	1009.44996558

GAMBAR 5 Tampilan HeidiSQL yang memperlihatkan database MySQL, Tabel *Nuclides* yang menyimpan data inventori nuklida dari keluaran file ORIGEN (file pch)

Gambar 5 memperlihatkan tampilan database untuk tabel *nuclides*, yang terdiri dari kolom:

1. id, merupakan primary key dari table *nuclides*, id di-generate otomatis oleh MySQL, memberikan identitas unik untuk setiap baris data pada table *nuclides*.
2. created_at adalah waktu input data.
3. updated_at adalah waktu edit data, apabila terjadi perubahan atau *editing* data.
4. origenid adalah foreign-key, yang berasal dari tabel *origens*, tampilan data tabel *origen* yang ditampilkan dalam halaman web, dapat dilihat pada Gambar 6, origenid adalah nomor unik pada kolom paling kiri.

5. zaid, adalah identitas unik dari nuklida, yang disertai dengan kode, misalnya pada Gambar 5 terdapat angka 86c, ini merupakan identitas nuklida yang terdapat pada XSDIR, yaitu library data *cross section* nuklida untuk inputan MCNP.
6. gram, merupakan masa dari nuklida.

Tabel 1. memberikan gambaran perhitungan gram dari output ORIGIN. Output ORIGIN hanya memberikan data grat dan nuclide identifier, Mass Number atau nomor masa (tiga digit angka) diperoleh dari data nuclide identifier. Nomor masa dikalikan dengan grat maka akan diperoleh masa nuklida dalam satuan gram. data masa (dalam satuan gram) dimasukkan kedalam database, seperti terlihat pada Gambar 5, pada kolom paling kanan.

TABEL 1. Data dari file pch (keluaran ORIGIN) dan pehitungan masa nuklida

Nuclide Identifier	Nomor masa	grat	gram
922340	234	1,85078231E-10	4,330830605E-08
922350	235	5,55616796E-01	130,5699471
922360	236	2,95459256E-02	6,972838442
922370	237	6,33366744E-06	0,001501079
922380	238	3,04490590E+00	724,6876042
922400	240	1,23719923E-13	2,969278152E-11
932370	237	2,92677050E-05	0,006936446

Seluruh data inventori nuklida dari 420 file keluaran ORIGIN (file pch), disimpan pada aplikasi database yang menggunakan tampilan halaman web, yang dibuat dari framework Laravel, tampilan aplikasi database tersebut dapat dilihat pada Gambar 6. setiap file keluaran ORIGIN (file pch) yang dapat digunakan untuk inputan MCNP rata-rata berjumlah 263 data nuklida. Jadi secara keseluruhan dari 420 file pch terdapat 110460 data nuklida.

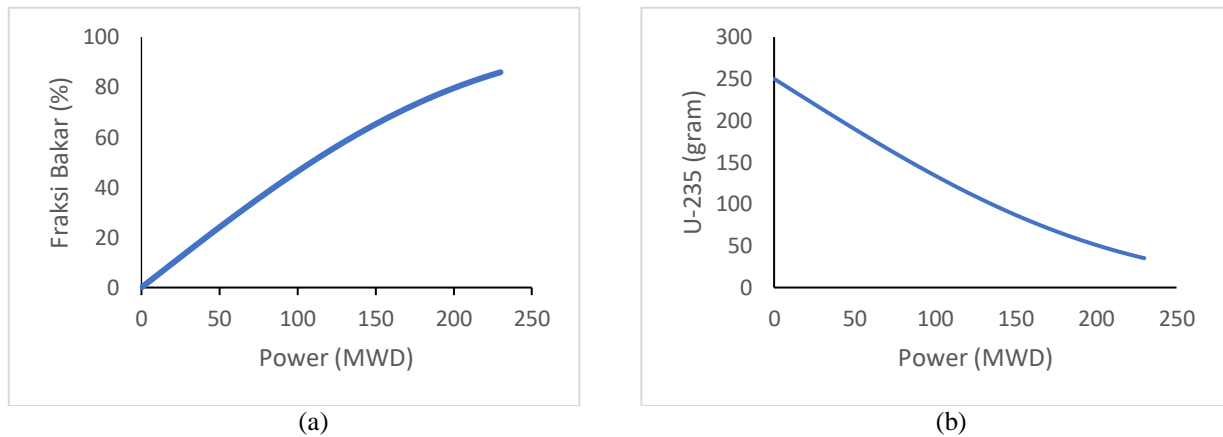
#	Origen File Name	Burn Up	U-235 (gram)	Total Mass (gram)	Fuel Type	Volume	Density	Action
17	CE#040MWD.pch	26.880817947331	130.56994706	1563.2742078313	CE	304.965	5.1260774443994	[Action icons]
18	CE#041MWD.pch	27.530942054551	129.40901134	1563.2705863335	CE	304.965	5.1260655692735	[Action icons]
19	CE#042MWD.pch	28.179458141113	128.250947085	1563.2667951824	CE	304.965	5.1260531378433	[Action icons]
20	CE#043MWD.pch	28.826319225811	127.09583819	1563.2630223044	CE	304.965	5.126040766332	[Action icons]
21	CE#044MWD.pch	29.47150162064	125.943726955	1563.2592764138	CE	304.965	5.1260284833137	[Action icons]
22	CE#045MWD.pch	30.114958344393	124.794697275	1563.2554697282	CE	304.965	5.1260160009449	[Action icons]
23	CE#046MWD.pch	30.756650311864	123.648818945	1563.253491584	CE	304.965	5.1260095144818	[Action icons]
24	CE#047MWD.pch	31.396538043046	122.506162465	1563.249737226	CE	304.965	5.1259972036986	[Action icons]
25	CE#048MWD.pch	32.034582452733	121.36679763	1563.2459286871	CE	304.965	5.1259847152528	[Action icons]
26	CE#049MWD.pch	32.670744324119	120.23079447	1563.2421289112	CE	304.965	5.1259722555415	[Action icons]
27	CE#050MWD.pch	33.304992204799	119.09820915	1563.238322138	CE	304.965	5.125959728855	[Action icons]

GAMBAR 6. Tampilan database dari aplikasi menggunakan Framework Laravel.

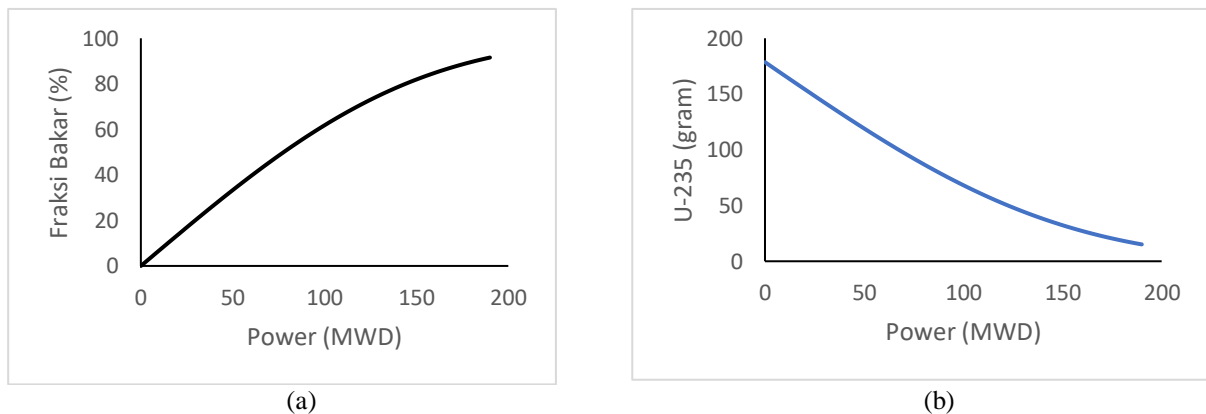
Gambar 6, merupakan salah satu tampilan halaman web dari database:

1. kolom paling kiri merupakan primary key dari tabel origins yang *di-generate* otomatis oleh MySQL, memberikan identitas unik untuk setiap baris data pada tabel origins.
2. *Origen File Name* adalah nama file input database, berasal dari file output ORIGIN. Pada nama file tertulis juga nilai daya (MWD) yang digunakan dalam iradiasi pada satu *bundle*/perangkat bahan bakar RSG-GAS
3. *Burn Up* adalah fraksi bakar untuk satu *bundle*/perangkat bahan bakar RSG-GAS
4. U-235 (gram), menyatakan masa dari U-235 yang ada di dalam satu *bundle*/perangkat bahan bakar RSG-GAS.
5. Total Mass (gram), meyakinkan seluruh masa dari nuklida yang terkandung di dalam *meat* pada satu *bundle*/perangkat bahan bakar RSG-GAS.
6. Fuel Type, menyatakan tipe bahan bakar:
 - CE: *Control fuel element*

- FE: *Standard fuel element*,
7. Volume, yaitu volume dari *meat* bahan bakar pada satu *bundle*/perangkat bahan bakar RSG-GAS
 8. Density, yaitu densitas dari *meat* bahan bakar pada satu *bundle*/perangkat bahan bakar RSG-GAS
- Hasil running input ORIGEN dengan variasi daya (MWD) dari rentang 0 s.d 230 MWD untuk *standard fuel element* (FE) ditampilkan pada gambar 7, sedangkan hasil running input ORIGEN dengan variasi daya (MWD) dari rentang dan 0 s.d 190 MWD untuk *control fuel element* (CE) ditampilkan pada Gambar 8. Pada Gambar 7 dan 8 dapat dilihat untuk:
1. *Standard fuel element* (FE) setelah 230 MWD masih terdapat sisa U-235 sejumlah 35,13 gram atau fraksi bakar 85,95 %
 2. *Control fuel element* (CE) setelah 190 MWD masih terdapat sisa U-235 sejumlah 15,13 gram atau fraksi bakar 91,53 %

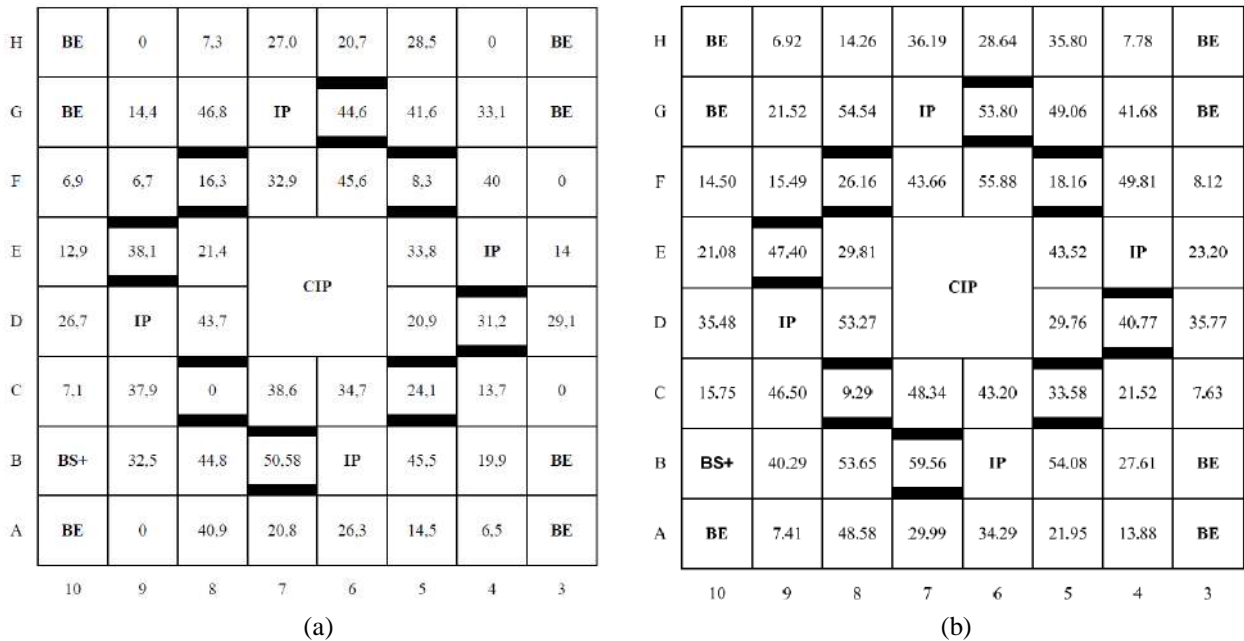


GAMBAR 7. (a) Power (MWD) vs Fraksi Bakar (%) and (b) Power (MWD) vs Remaining U-235 (gram) in *Standard Fuel Element*



GAMBAR 8. (a) Power (MWD) vs Fraksi Bakar (%) and (b) Power (MWD) vs Remaining U-235 (gram) in *Control Fuel Element*

Dengan ketersediaan data inventori nuklida yang lengkap untuk berbagai tingkat fraksi bakar dari bahan bakar RSG-GAS maka penyusunan input MCNP akan menjadi lebih mudah, Gambar 9 memperlihatkan berbagai tingkat fraksi bahan bakar untuk awal dan akhir siklus.



GAMBAR 9. (a) Distribusi fraksi bakar teras setimbang Silisida pada saat awal siklus, (b) Distribusi fraksi bakar teras setimbang Silisida pada saat akhir siklus [8]

Database ini masih harus dilakukan pengembangan, untuk selanjutnya bisa memasukkan data nuklida ke dalam input MCNP, sesuai tingkat fraksi bakar dari setiap posisi bahan bakar. Database ini berkaitan dengan penggunaan MCNP untuk perhitungan neutronik RSG-GAS, atau dalam bidang fisika nuklir.

KESIMPULAN

Telah dibuat aplikasi database yang berisi data daya vs fraksi bakar pada bahan bakar RSG-GAS menggunakan framework Laravel, database ini digunakan untuk menyimpan data nuklida dari 420 file hasil keluaran ORIGEN (file pch). Setiap file keluaran ORIGEN (file pch) yang dapat digunakan untuk inputan MCNP rata-rata memiliki 263 data nuklida. Jadi secara keseluruhan dari 420 file pch terdapat 110460 data nuklida. *Standard fuel element* (FE) setelah 230 MWD masih terdapat sisa U-235 sejumlah 35,13 gram atau fraksi bakar 85,95 %. *Control fuel element* (CE) setelah 190 MWD masih terdapat sisa U-235 sejumlah 15,13 gram atau fraksi bakar 91,53 %. Database ini masih harus dilakukan pengembangan, untuk selanjutnya agar bisa memasukkan data nuklida ke dalam input MCNP, sesuai tingkat fraksi bakar dari setiap posisi bahan bakar. Database ini berkaitan dengan penggunaan MCNP untuk perhitungan neutronik RSG-GAS, atau dalam bidang fisika nuklir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N Hidayah, *Perhitungan Bahan Bakar yang Tersisa pada RSG-GAS*, Skripsi Jurusan Fisika UIN Sunan Kalijaga, Yogyakarta (2014).
- [2] A Sunardi dan M Imron, *Perhitungan fraksi bakar elemen bakar teras ke-82 di reaktor RSG-GAS dengan BATAN-FUEL*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir (2013).
- [3] L Suparlina dan J Susilo, *Evaluasi manajemen teras reaktor RSG-GAS berdasarkan perhitungan fraksi bakar*, Prosiding PPI - PDIPTN, Yogyakarta (2009)
- [4] M Farhan dan A. Majid, *Effects of High Desity Dispersion Loading on the Kinetic Parameters of a Low Enrichment Uranium Fueled Material Test Reserch Reactor*, Annals of Nuclear Energy 35 (2008).
- [5] Sudjatmi K.A., Endiah Puji Hastuti, Surip Widodo, Reinaldy Nazar, *Analisis Konveksi Alam Teras Reaktor TRIGA Berbahan Bakar Tipe Pelat Menggunakan COOLOD-N2*, J. Tek. Reaktor. Nukl. Vol. 17 No. 2. (2015)
- [6] Croff, A. G. RSICC Computer Code Collection Origen 2.2 Isotope Generation And Depletion Code, los alamos national laboratory, Tennessee. (1980),
- [7] Kadir, *Abdul Dasar Pemrograman Web Dinamsi menggunakan PHP*, Penerbit Andi Yogyakarta (2008),.
- [8] BATAN, *Laporan Analisis Keselamatan*, No Ident: LAK 001.001/RN 00 03/RSG 4.2 (2018)

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

1. Untuk konfirmasi, apakah database tsb sudah mencakup fungsi posisi dari CE/FE dan juga fungsi daya (atau fluks) dari RSG-GAS?
2. Pengembangan apa yang rencananya akan dilakukan dalam waktu dekat terkait riset ini? Barangkali apabila databasenya sudah komprehensif untuk teras Silisida, bisa dikembangkan untuk teras Oksida dan Molibdenum.
3. Pada kondisi sebenarnya, massa bahan bakar segar di RSG bervariasi. Apakah hal ini dapat diakomodir dalam database yang sedang dibuat.

Jawaban

1. Database belum mencakup fungsi posisi dari CE/FE, database berisi data nuklida yang terkandung dalam bahan bakar sesuai dengan tingkat burnup, data merupakan fungsi dari daya vs burnup dari CE dan FE
2. Rencana pengembangan berikutnya adalah untuk membuat input MCNP dari data nuklida yang berasal dari output ORIGEN. Data menggunakan bahan bakar tipe Silisida.
3. Memang ada sedikit variasi massa Uranium dalam bahan bakar segar RSG GAS, untuk itu patokan yang digunakan sebaiknya bukanlah burnup dari bahan bakar, tetapi sisa massa U-235



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



SAFETY CONSIDERATIONS IN THORIUM FUEL CYCLE: FROM FUEL PRODUCTION, OPERATION TO WASTE DISPOSAL

Petit Wiringgalih^{1, a)}, Yudi Pramono^{1, b)}, Bintoro Aji^{1, b)}

¹*Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN)
Jalan Gajahmada No 8 Jakarta Pusat, Indonesia*

^{a)} Corresponding author: p.wiringgalih@bapeten.go.id; petit.wiringgalih@gmail.com

^{b)} y.pramono@bapeten.go.id

^{c)} b.aji@bapeten.go.id

Abstract. Thorium-based liquid fuel is the dominant feature of molten salt reactors, yet the safety aspects of thorium fuel cycle have not been addressed thoroughly. This paper investigates the safety associated with the use and operation of thorium fuel cycle to ensure safe production and use of fluoride-based liquid fuel, and the safe disposal of the waste generated from the molten salt reactor. Literature review was undertaken to review the safety of thorium fuel cycles. Various safety aspects of thorium fuel cycles have been identified, namely in the mining and production of fuel, the radiotoxicity of the waste, the material degradation and generation of tritium caused by the use of the liquid fuel in the molten salt reactors. It is expected that such safety consideration of thorium fuel cycle could further strengthen the regulatory control of the generation-IV reactors, such that any embarking countries could transition into green energy using nuclear technology while managing the radioactive waste safely and properly.

Keywords: thorium, fuel cycle, safety, molten salt reactors, mining, radiotoxicity, waste, fuel qualification, tritium

INTRODUCTION

Uranium supply chain has been solidly established to support the existing nuclear power programme around the world. Several countries such as United States, Russia, United Kingdom, France, Japan and India have progressed further by establishing a closed uranium fuel cycle [1]. Thorium fuel cycle, on the other hand, has largely fallen behind as major nuclear power countries and, consequently, the nuclear vendors in these countries rely on the uranium-fuelled nuclear power plants [2].

However, the emergence of molten salt reactors and the use of thorium in their liquid fuels could energise the thorium fuel cycle. Molten salt reactors are a subset of a new type of nuclear power plants, known as small modular reactors. Small modular reactors are defined as nuclear reactors with the power capacity of up to 300 MWe, where the systems and components of the reactors can be manufactured in a factory, transported to and assembled at the site as modules [3]. Such characteristics are expected to reduce the complexity of systems and components, which subsequently lower the capital costs and the construction time of the nuclear power plants [3]. Molten salt reactors are generation-IV nuclear reactors that utilise molten salts that perform any of the following functions: chemical form of the fuel, the carrier salt, the coolant and/or the neutron moderators [4]. Molten salt reactors usually understood to operate at the thermal neutron spectrum, while molten salt fast reactors activate in the fast neutron spectrum (thus requiring no moderator and possessing the breeding capability). Molten salt reactors could have either solid fuel (usually in three-layered fuel pebbles known as TRISO) or liquid fuel dissolved in carrier salts [4]. This paper only discusses liquid fuel molten salt reactors, such as those proposed by, among others, ThorCon Inc and Seaborg Technologies.

Molten salt reactors are excellent development of nuclear reactors that have potentials to be safer and cheaper than the current generation of light water reactors. Among the benefits in the use of molten salt reactors are the use of low pressure, thus reducing the need for thick and high strength materials for containment. In addition, the nuclear fuel is in the liquid form, thus there is no need to fabricate expensive fuel assemblies. The use of liquid fuel in molten salt reactor also allows easy and continuous removal of nuclear poisons, while solid fuel requires periodic inspection since it is more vulnerable to radiation and mechanical damage [4]. A higher

efficiency of nuclear fission above LWRs can be achieved in molten salt reactors. In addition, the use of molten salt as fuel also avoids the possibility of zirconium runaway reaction in LWRs and metal fire in sodium fast reactors (SFRs).

Thorium is an essential part of liquid fuels used in molten salt reactors, as the fuel is the hallmark of generation-IV reactors. Thorium is thought to be four times more abundant than uranium [5]. Thorium is often found in monazite rocks, where the contents of thorium oxides range from 6 to 12% [6]. Thorium can also be recovered from titanium and ilmenite ores [6]. The availability of thorium reserves is shown in **Table 2** in **APPENDIX**. The huge abundance of thorium therefore avoids the demand crunch of uranium supply.

Development of molten salt reactor consequently requires the development and the establishment of thorium fuel cycle. Currently, there is a lack of consolidated approach in assessing the safety of thorium fuel cycle utilised in molten salt reactors. In addition, most international safety standards and the prevalent codes and standards are developed based on light water reactors that utilise solid fuel assemblies. The global safety standards therefore require further development to accommodate molten salt reactors, especially those with liquid fuel [4,7–9].

This paper investigates safety issues in the production, the use and the disposal of thorium-based liquid fuel in the nuclear fuel cycles. This paper is expected to provide firm understandings to regulators, policy makers, utility organisations and other stakeholders unfamiliar with the recent development of liquid fuel molten salt reactors and the safety considerations in the associated thorium fuel cycles. Such firm understanding is necessary prior to embarking to thorium-based nuclear power programme, especially using the emerging molten salt reactor technology. The scope of this paper is limited to the thorium fuel cycle and the corresponding fuel salts in the molten salt reactors. Waste generated by other than the nuclear fuel, e.g., graphite moderators, is not discussed in this paper.

RESEARCH METHODOLOGY

The research methodology is initiated with the formulation of research questions: what are the key aspects in thorium fuel cycle needed to support liquid fuel molten salt reactors. Various literatures were selected and key topics were identified. The literatures were categorised into several literature groups, namely:

- 1) Global safety standards and best practices, primarily from the International Atomic Energy Agency (IAEA) and the Nuclear Energy Agency (NEA) of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD);
- 2) Safety regulations and regulatory guidance from countries anticipating molten salt reactors, including but not limited to United States, Canada, France, China and Russia;
- 3) Technical documents from research organisations and national laboratories, such as IRSN, Oak Ridge National Laboratories and Shanghai Institute of Applied Physics;
- 4) Technical documents from molten salt reactor technology vendor, such as ThorCon US, Inc, Terrestrial Energy, Flibe Energy and Seaborg Technologies; and
- 5) Various scientific papers and academic theses published on the topic of thorium fuel cycle, especially in its safety matters.

The results of the literature survey were then analysed and synthesised to produce a coherent framework of research findings. The results are then reported with emphasis of key understanding of the topic. The summary of the research methodology framework is presented in **FIGURE 1**.

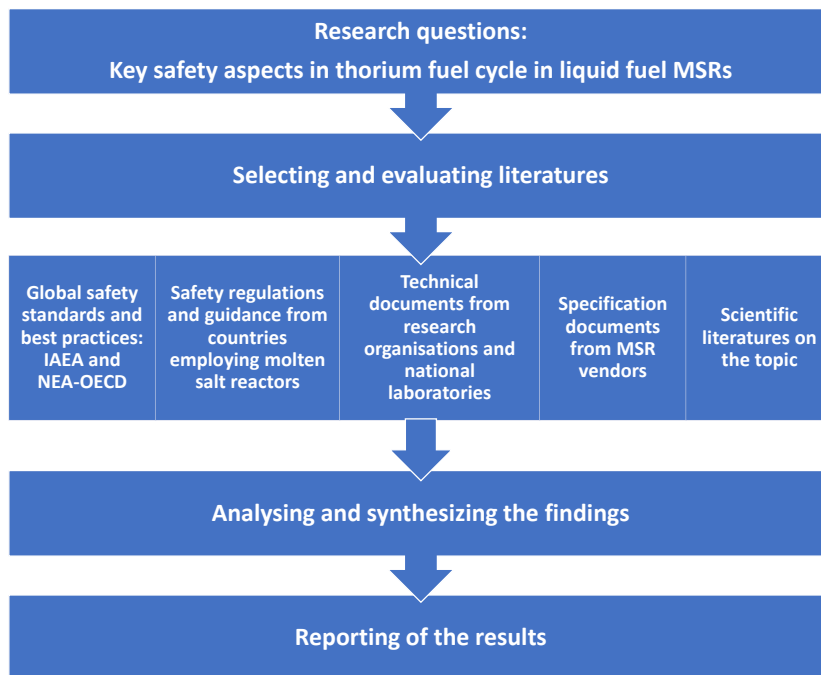


FIGURE 1 Framework of research methodology of the safety considerations in thorium fuel cycle.

RESULTS AND DISCUSSION

Mining and Fuel Production

The mining of thorium is much less demanding than that of uranium. Thorium is often found as by-products of tin and titanium mining. The radiological impacts of thorium and uranium are shown by their decay chains in **FIGURE 2**. An important decay product of thorium-232 is radon-220 with the half-life of 55 seconds. This is much shorter than the decay product of uranium-238, which is radon-222 with the half-life of 3.8 days. Nonetheless, the radioactivity of the mined thorium ores is higher than that of mined uranium ores, since thorium-232 decays into thallium-208, which produces high energy gamma of 2.6 MeV. Meanwhile, uranium-238 decay chain only produces weak gamma rays and uranium-235 could generate gamma rays of 186 keV at most [10]. Nonetheless, it is generally understood that thorium mining is easier than uranium mining, since thorium is easily accessible from monazite deposits through open pit mining. If conversion and breeding of fertile thorium to fissile uranium are taken into account, the amount of thorium-bearing ores would be much less than that of uranium [6].

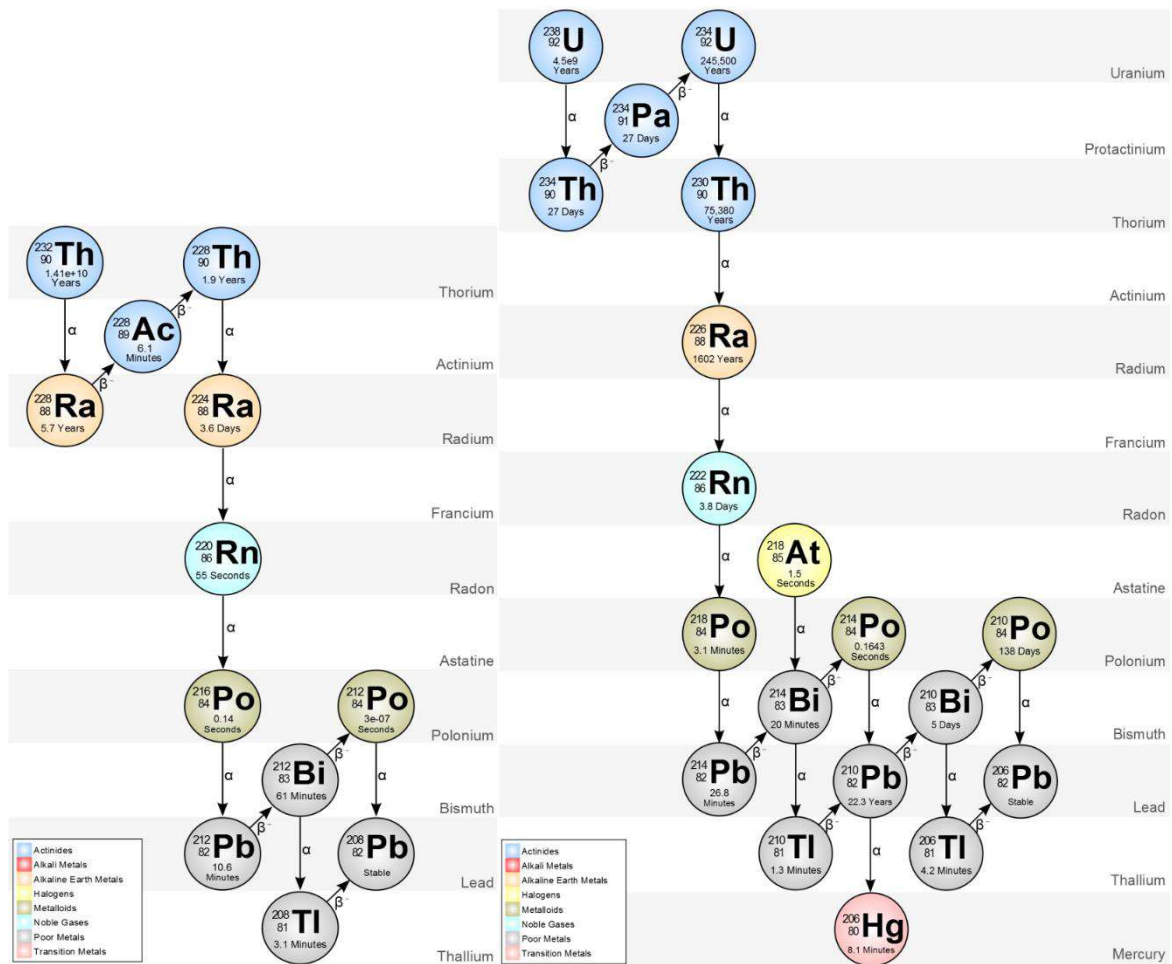
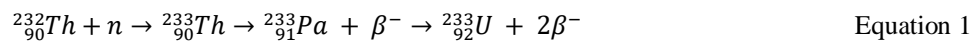


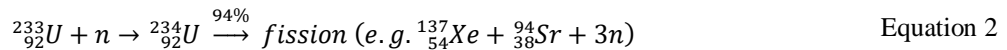
FIGURE 2 Decay chains of Th-232 (left) and U-238 (right) (images by BatesIsBack, distributed under a CC-BY 3.0 licence)

Waste Radiotoxicity

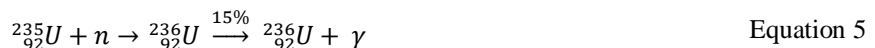
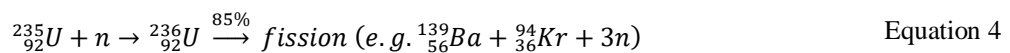
Upon capture of a neutron, thorium-232 is converted to uranium-233 through the following reaction:



Then, further capture of neutron causes fission reaction to occur with uranium-233 as shown in **Equation 2**, with side reaction shown in **Equation 3**:



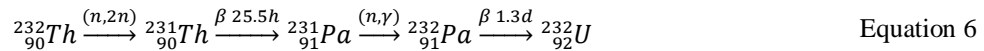
This is similar to the fission of uranium-235 shown in **Equation 4**, with the side reaction shown in **Equation 5**:



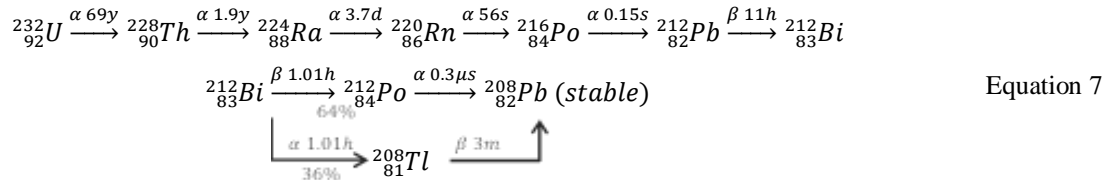
Based on the reactions above, it is possible to generate more fissile radionuclides than the original fertile thorium radionuclide. Such generation of more fissile products than the initial ones are known as breeding reactions. However, not all molten salt reactors use breeder concepts. Notably, TMSR-500 developed by ThorCon produced less fissile products than the original feed, hence the reactor converts thorium instead of

breeding it. The obvious advantage of thorium waste is the reduced generation of highly radioactive waste containing plutonium and minor actinides (neptunium, americium and curium) [5].

However, the neutron capture of thorium in the molten salt reactor generates uranium-232 as shown in the equation below:



The formation of uranium-232 in fuel salt causes high level of radiation due to the intensity of gamma radiation from its daughter products. In particular, the daughter products such as bismuth-212 and thallium-208 emit strong gamma radiations of 0.7–1.8 MeV and 2.6 MeV, respectively. The hazards of uranium-232 decay chains are shown in **Equation 7**.



Therefore, the radioactive waste of thorium-based molten salt reactors would be highly radioactive due to the presence of the decay products of uranium-232. Processing of such waste would be difficult and would require remote handling [11]. Such inherent radiation barriers cause the thorium-based fuel to be proliferation resistant since it would be impractical to acquire the fissile materials in the waste, e.g., uranium-233. Nonetheless, the waste from thorium fuel would be less radioactive in the long term due to the lack of actinides [12].

Material degradation

The suitability of fuel salt solvent is essential in the design of molten salt reactor. Key considerations in the choice of fuel salt solvent are: 1) low neutron absorption; 2) stable at high temperature and high radiation environment; 3) low vapour pressure; 4) able to dissolve the fissile materials; 5) excellent heat transfer properties; 6) compatibility with the reactor components; and 7) low costs [4,8,13,14].

Generally, thorium fuels operating in thermal spectrum of neutron are dissolved in fluoride carrier salts [4]. Such salts are safe if it is kept in the molten condition. However, the corrosive features of the fuel salts become stronger when the fuel has higher content of moisture and oxygen. Formation of oxides are particularly troublesome as they are difficult to dissolve and may dissociate into a second phase, further complicating the thermohydraulic parameters of the liquid fuel molten salt reactors [15,16]. Another key issue in the fuel salt quality is the presence of impurities. Such impurities could have a marked effect on the materials in the reactor due to the high temperature and radioactivity of the fuel salts [8,16]. Below is the type of thorium-based fuels that are used in molten salt reactors

Table 1 Fuel salt systems and enrichment in various molten salt reactor concepts employing thermal neutron spectrum

Reactor concepts	Fuel salt systems	Start-up fuel enrichment
TMSR-500, ThorCon US, Inc [17]	NaF-BeF ₂ -ThF ₄ -UF ₄ (76-12-10.2-1.8 mol%)	12% U-235
IMSR-400, Terrestrial Energy [18]	UF ₄ and other fluoride salts (e.g., NaF-BeF ₂ and/or LiF)	2–3% U-235
TMSR-LF, SINAP [19,20]	LiF-BeF ₂ -UF ₄ -ThF ₄	19.75% U-235
LFTR, Flibe Energy [21]	LiF-BeF ₂ -UF ₄ *)	Derived from Th-232
MSTW, Seaborg Technologies [22]	Sodium-actinide fluoride salts (93% Th, 3.5% U 3.5% Pu)	1.1% U-235, Pu 69%
CMSR, Seaborg Technologies [23]	NaF-KF-UF ₄ (50.5-21.5-28%)	6% U-235

*) U-233 fuel salt is derived from Th-232 fuel salt in the reactor blanket.

Tritium generation

Another key issue in the thorium-based fuel in molten salt reactors is the generation of tritium. Tritium (3_1H) is a hydrogen radioisotope with a weak beta emitter ($E_{\max} = 18.6$ keV) and the half-life is 12.43 years. Tritium is also generated naturally via cosmic radiation through our atmosphere. As a hydrogen isotope, however, it has the ability to permeate to any materials, from steels to human skins [24].

Molten salt reactors in particular generates a higher amount of tritium if the fuel salts contain lithium, as shown by the equation below:



Beryllium-based fuel salts can also produce tritium via the following reactions:



where 6_3Li generates tritium upon neutron capture, as shown in **Equation 8**. Furthermore, fluoride-based salts can also form tritium through the following reaction:



Tritium fluoride (3_1HF) has the same corrosive feature of hydrogen fluoride. The corrosion in molten salt reactors is directly proportional to the generation of tritium fluoride. Hence, the tritium mitigation has a direct impact to corrosion control in molten salt reactors [25].

Regulatory approach to ensure safety in thorium fuel cycle

Thorium mining is more practical than uranium mining. While thorium decay chain contains thallium-208 and exhibits a higher external gamma radiation than that of uranium, thorium tailing produces a lower radiation exposure than that of uranium tailing. The reason is that thorium produces a shorter half-life of radon-220 (half-life of 55 seconds, daughter of radium-224 with half-life of 3.8 days) compared to radon-222 (half-life of 8 days, daughter of radium-226 with half-life of 1,600 years). In addition, thorium deposits are widely available via open pit mining, while uranium deposits are less accessible and may require underground mining or in situ leaching [2]. However, regulators are required to establish safety in the mining of thorium ores and the disposal of their tailings.

The long-term radiotoxicity of waste generated by thorium fuel cycle is much lower than that of uranium due to the lack of actinides. However, the presence of high radiation field from uranium-232 decay products, particularly bismuth-212 and thallium-208, may cause significant exposure to radiation workers. Regulators should therefore request the vendors of molten salt technology to provide the basis of radiation protection in the handling and processing of the radioactive waste containing the decay products of uranium-232 [12].

Nuclear fuels play a fundamental part in the safety of nuclear reactors, both during operation and accident conditions. International standards for solid fuels in water-cooled reactors have been established, even though regulators may have different domestic codes and standards which reflect their varying needs, circumstances and capabilities [26]. The use of liquid fuel in molten salt reactors, however, have huge implications in the current international standards and the national regulatory framework which are mostly based on solid fuels. Consequently, the regulators are required to work with industries to establish liquid fuel qualifications for molten salt reactors. Such fuel qualification may include, among others, the compatibility of the fuel materials to the structure, systems and components, the solubility of actinides and the limits on oxygen and impurities in the liquid fuel [8].

Due to the radiotoxicity of tritium, its exposure to workers and its emission to the environment have to be controlled. In addition, tritium directly affects the corrosion rate in the molten salt reactor. Hence, there has to be a regulatory framework for the control of tritium in the design of molten salt reactors as well as the occupational exposure and the release to the environment. To mitigate tritium production, regulators may focus on the assessment on the tritium barrier, trap and scrubber systems in the design of molten salt reactors [25,27].

CONCLUSION

It has been found that the key safety aspects in the thorium fuel cycle is the mining and production of fuel, the radiotoxicity of the waste, material degradation and tritium production, caused by the operation of fluoride-based fuel salts in molten salt reactors. These important issues in the safety of thorium fuel cycle warrants a strengthened regulatory regime for molten salt reactors. Regulators are expected to enhance the regulatory regimes in thorium mining, radiation protection in the handling and processing of radioactive waste, development of fuel qualification and tritium mitigation and control. It is expected that such consideration will improve the prospect of molten salt reactor technology for countries embarking on their nuclear power programme. Firm understanding of the safety aspects of thorium fuel cycle is important for countries aiming to accelerate green energy transition using nuclear technology while managing the radioactive waste safely and properly.

ACRONYM

CMSR	Compact Molten Salt Reactor
IMSR	Integral Molten Salt Reactor
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) – The French Institute for Radiation Protection and Nuclear Safety
LWR	Light Water Reactor
MSFR	Molten Salt Fast Reactor
MSR	Molten Salt Reactor
MSTW	Molten Salt Thermal Wasteburner
TMSR	ThorCon Molten Salt Reactor
TMSR-LF	Thorium-based Molten Salt Reactor – Liquid Fuel
TRISO	TRi-structural ISOtropic particle fuel
SFR	Sodium Fast Reactor
SINAP	Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences

REFERENCES

- [1] B.F. Myasoedov, S.N. Kalmykov, Y.M. Kulyako, S.E. Vinokurov, Nuclear fuel cycle and its impact on the environment, *Geochemistry Int.* 54 (2016) 1156–1167. <https://doi.org/10.1134/S0016702916130115>.
- [2] Nuclear Energy Agency; International Atomic Energy Agency, Uranium 2016: Resources, Production and Demand - Executive Summary, 2017.
- [3] International Atomic Energy Agency, Advances in Small Modular Reactor Technology developments, A Suppl. to IAEA Adv. React. Inf. Syst. 2020 Ed. (2020) 354. <http://aris.iaea.org/>.
- [4] International Atomic Energy Agency, Status of Molten Salt Reactor Technology, International Atomic Energy Agency (IAEA), 2021.
- [5] S. David, E. Huffer, H. Nifenecker, Revisiting the thorium-uranium nuclear fuel cycle, *Europhys. News.* 38 (2007) 24–27. <https://doi.org/10.1051/EPN:2007007>.
- [6] Nuclear Energy Agency, Perspectives on the Use of Thorium in the Nuclear Fuel Cycle - Extended Summary, Nuclear Energy Agency of the OECD (NEA), 2015.
- [7] Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Review of Generation IV Nuclear Energy Systems, (2015) 1–239.
- [8] G.F. Flanagan, D.E. Holcomb, W.P. Poore, Molten Salt Reactor Fuel Qualification Considerations and Challenges., *Ornl Ltr-2018-1045.* (2018).
- [9] G.F. Flanagan, A.L. Qualls, Establish Fuel Qualification Expectations, 2018.
- [10] R.B. Oberer, L.G. Chiang, M.J. Norris, C.A. Gunn, B.C. Adaline, The use of Tl-208 gamma rays for safeguards, nondestructive-assay (NDA) measurements, (2009) 11.
- [11] International Atomic Energy Agency, Thorium Fuel Cycle - Potential Benefits and Challenges, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005.
- [12] B. Ade, A. Worrall, J. Powers, S. Bowman, G. Flanagan, J. Gehin, Safety and Regulatory Issues of the Thorium Fuel Cycle, 2014.
- [13] M.K.M. Ho, G.H. Yeoh, G. Braoudakis, Molten salt reactors, Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments, *Mater. Process. Energy Commun. Curr. Res. Technol. Dev.* (2013) 761–768.
- [14] D.F. Williams, L.M. Toth, K.T. Clarno, Assessment of Candidate Molten Salt Coolants for the Advanced High-Temperature Reactor (AHTR), 2006.
- [15] J. Serp, M. Allibert, O. Beneš, S. Delpech, O. Feynberg, V. Ghetta, D. Heuer, D. Holcomb, V. Ignatiev, J.L. Kloosterman, L. Luzzi, E. Merle-Lucotte, J. Uhlíř, R. Yoshioka, D. Zhimin, The molten salt reactor (MSR) in generation IV: Overview and perspectives, *Prog. Nucl. Energy.* 77 (2014) 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.02.014>.

- [16] J. McFarlane, P. Taylor, D. Holcomb, W.P. Poore, Review of Hazards Associated with Molten Salt Reactor Fuel Processing Operations, 2019.
- [17] ThorCon US, Status Report - ThorCon, Adv. React. Inf. Syst. (2020).
- [18] Terrestrial Energy, Status report - IMSR-400, Adv. React. Inf. Syst. 23 (2001) 2.
- [19] Generation-IV International Forum (GIF), Research and Development Infrastructure Task Force Final Report, 2021.
- [20] D. Zhang, L. Liu, M. Liu, R. Xu, C. Gong, J. Zhang, C. Wang, S. Qiu, G. Su, Review of conceptual design and fundamental research of molten salt reactors in China, Int. J. Energy Res. 42 (2018) 1834–1848. <https://doi.org/10.1002/er.3979>.
- [21] Flibe Energy, Status Report - LFTR, Adv. React. Inf. Syst. (2016).
- [22] Seaborg Technologies, Status Report - MSTW, Adv. React. Inf. Syst. (2016).
- [23] Mateusz Pater, Multiphysics simulations of Molten Salt Reactors using the Moltres code, Université Paris-Saclay, 2019.
- [24] United States Department of Energy, Primer on Tritium Safe Handling Practices, 1994.
- [25] C.W. Forsberg, D.M. Carpenter, D.G. Whyte, R. Scarlat, L. Wei, Tritium control and capture in salt-cooled fission and fusion reactors, Fusion Sci. Technol. 71 (2017) 584–589. <https://doi.org/10.1080/15361055.2017.1289450>.
- [26] P. Wiringgalih, Y. Pramono, Regulatory approaches in mitigating chemical degradation of zirconium alloys in the design and operation of light water reactors, AIP Publishing LLC AIP Publishing, 2021. <https://doi.org/10.1063/5.0060923>.
- [27] Canadian Nuclear Safety Commission, Evaluation of Facilities Handling Tritium Part of the Tritium Studies Project, 2010.

APPENDIX

Table 2 Proven reserves of thorium ores around the world [2]

Countries	Tonnes Thorium
Australia	595,000
USA	595,000
Egypt	380,000
Turkey	374,000
Venezuela	300,000
Canada	172,000
Russia	155,000
South Africa	148,000
China	100,000
Norway	87,000
Greenland	86,000
Finland	60,000
Sweden	50,000
Kazakhstan	50,000
Other countries	1,725,000
World total	6,355,000



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENGEMBANGAN APLIKASI FORM DIGITAL LOGBOOK OPERASI REAKTOR KARTINI MENGUNAKAN WINDOWS FORM

Bagus Agul Triyandi ^{a)}, Argo Satrio Wicaksono ^{b)}, Okviandra Putrianti ^{c)}

*Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran – Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. Babarasari kotak pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281*

^{a)}Corresepoding Authorr: bagu013@brin.go.id

^{b)}argo002@brin.go.id

^{c)}okvi001@brin.go.id

Abstrak. Aplikasi *Form Digital Logbook* Operasi Reaktor Kartini adalah sebuah aplikasi berbasis Visual Basic digunakan untuk mencatat data parameter operasi reaktor Kartini menggunakan perangkat komputer dengan hasil *output* data berupa file Excel. Aplikasi ini dibuat untuk menggantikan sistem pencatatan data parameter operasi yang selama ini masih menggunakan buku *logbook* fisik yang harus diisi secara manual dengan ditulis tangan. Aplikasi dibuat dengan menggunakan program Visual Studio dengan bahasa pemrograman Visual Basic. Dengan dibuatnya aplikasi ini, diharapkan proses pencatatan data parameter operasi dapat dilaksanakan dengan lebih mudah dan dapat mengurangi kesalahan pencatatan data yang selama ini sering terjadi.

Kata kunci : Aplikasi, Digital, *Form*, *Logbook*, Reaktor

Abstract. *Digital Form Application Kartini Reactor Operation Logbook is an application based on Visual Basic that is used to record data parameters during Kartini Reactor operations using a computer hardware with the data output in an Excel file format. This Application is made to replace the current system that still uses handwritten logbook to record the data parameters during reactor operation. The application is made with Visual Studio program using Visual basic language. With this application, it is hoped that the data recording process will be simplified and any human error that happen during data recording might be reduced.*

Keywords : *Application, Digital, Form, Logbook, Reactor.*

PENDAHULUAN

Sesuai dengan Perka BAPETEN No 8 Tahun 2019 tentang Keselamatan Operasi Reaktor Non Daya bahwa dalam pengoperasian reaktor dibutuhkan beberapa Petugas Instalasi Bahan Nuklir, khususnya Supervisor dan Operator. Supervisor mempunyai tugas salah satunya adalah melaksanakan pengawasan terhadap pelaksanaan operasi Reaktor Nondaya untuk semua moda operasi, termasuk pengawasan operasi dari semua sistem bantu. Sedangkan operator mempunyai tugas salah satunya adalah melaksanakan pengamatan parameter operasi dan pengisian rekaman operasi [1]. Selama ini pengisian rekaman operasi di Reaktor Kartini oleh operator masih dilakukan secara manual, dimana operator mengisinya dalam sebuah *logbook* fisik. Kelemahan dari buku fisik ini adalah setiap orang yang memerlukan data rekaman operasi untuk kepentingan pembuatan laporan harus meminjamnya. Selain itu, kondisi pandemi Covid-19, mengharuskan sebagian pekerja melakukan *work from home* dan mengurangi kontak pada peralatan yang berpotensi menjadi sarana penyebaran virus. Disatu sisi *logbook* fisik harus selalu berada di ruang kendali utama selama operasi reaktor berlangsung. Memasuki era revolusi industri 4.0 ditambah dengan kondisi pandemi COVID-19 membuat semua orang harus terus berinovasi, termasuk proses digitalisasi data. Data dalam bentuk digital tentunya akan memberikan kelebihan dalam hal kemudahan akses dan proses pengolahan data dibanding dengan *logbook* fisik. Dengan dilakukan digitalisasi data tentunya dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi kerja pegawai dan mendukung program pemerintah *work from home* dimasa pandemi saat ini. Digital *logbook* telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor dengan manfaat, misalnya untuk mengakses data penting, melakukan diagnosa mendalam, menerima peringatan atau pengingat, membuat perbandingan, hingga membaca versi detail dan lainnya [2]. *Logbook* elektronik juga pernah dikembangkan selama komisioning *Korea Superconducting Tokamak*

Advanced Research (KSTAR) *device* untuk mencatat mengenai pendapat peserta mengenai prosedur dan hasil eksperimen [3]. Logbook elektronik juga telah digunakan untuk mendokumentasikan operasi integrasi dan pengujian sistem ruang angkasa dari satelit ilmiah di *Stanford Linear Accelerator Center*. Setelah pengujian selama 19 bulan beroperasi, lebih dari 41.000 catatan telah dibuat untuk berbagai komponen dokumentasi, tanpa ada data yang rusak atau hilang secara kritis [4]. Pembuatan aplikasi *form logbook* digital ini sangat penting untuk penyederhanaan proses pencatatan parameter operasi, dan kemudahan akses data oleh pekerja lain yang membutuhkan, tanpa mengganggu jalannya operasi reaktor.

Dalam operasi reaktor, panas yang dihasilkan Reaktor Kartini tidak dimanfaatkan namun dibuang ke lingkungan menggunakan sistem pendingin primer, penukar panas (*heat exchanger*) dan sistem pendingin sekunder. Sistem pendingin primer Reaktor Kartini memiliki dua pompa pendingin yang dapat dioperasikan secara bergantian. Masing-masing pompa tersebut terhubung dengan *heat exchanger* yang berbeda jenis. Pompa pendingin primer 1 terhubung dengan *heat exchanger* jenis *shell and tube*, sedangkan pompa pendingin primer 2 terhubung dengan *heat exchanger* jenis plat. Selain dua pompa tersebut, terdapat juga pompa demin untuk mensirkulasikan air pendingin primer ke dalam perangkat demineralizer [5]. Selain parameter sistem pendingin, perlu dicatat juga parameter sistem instrumentasi dan kendali reaktor yang meliputi hasil kalibrasi daya dan perioda, pemeriksaan pancung dan *interlock*, sistem komputer, daya *thermal* yang dibangkitkan dan posisi dari ketiga batang kendali. Laju paparan radiasi pada titik lokasi yang telah ditentukan dan daftar petugas yang bekerja, sampai runtutan peristiwa selama operasi reaktor saat itu juga merupakan parameter yang harus dicatat dalam *logbook*. Setidaknya terdapat 37 jenis parameter *form* isian yang harus diisi saat prosedur *start up*, 21 saat prosedur operasi tingkat daya dan 29 saat prosedur *shut down*. Kompleksitas ini tentunya akan berpotensi menimbulkan *human error* bagi operator dalam pencatatan data-data parameter operasi reaktor. Selama ini kenyataan di lapangan, penggunaan *logbook* secara manual banyak mengalami kendala, diantaranya banyaknya data yang harus diisi dan tulisan tidak mudah terbaca, maupun kertas yang mudah basah dan sobek [6]. Padahal data dalam *logbook* merupakan data primer yang digunakan dalam penyusunan laporan triwulan operasi reaktor kartini sebagai syarat perijinan dan merupakan obyek dokumen inspeksi oleh Badan Pengawas. Sehingga sangat dibutuhkan sebuah metode baru dalam pencatatan *logbook* data parameter operasi untuk mengurangi *human error* dan menjamin kebenaran data parameter yang dicatat.

Tujuan utama dibuatnya Aplikasi *Form Digital Logbook* Reaktor adalah untuk memudahkan dan mengefisienkan pencatatan parameter data reaktor saat berlangsungnya operasi reaktor. Dengan adanya Aplikasi *Form Digital Logbook* Reaktor, kegiatan operasi reaktor diharapkan dapat dilaksanakan secara lebih efisien dan tidak mengganggu berjalannya proses operasi reaktor. Selain itu Aplikasi *Form Digital Logbook* Reaktor diharapkan dapat mengurangi kesalahan pencatatan data parameter yang sering terjadi pada saat menggunakan catatan *logbook* manual.

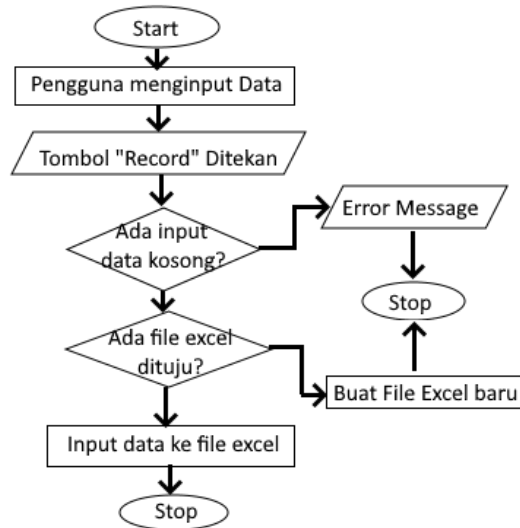
METODE DAN PERALATAN

Untuk pembuatan Aplikasi *form* digital *logbook* data parameter operasi reaktor kartini diperlukan komputer yang terinstal beberapa perangkat dan *software* antara lain: Windows 7/8/10, Visual Studio, NET Core 3.0 dan MS Excel. Selanjutnya langkah-langkah pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi data parameter yang akan dimasukkan dalam aplikasi *form logbook* reaktor.
2. Desain aplikasi *form* digital *logbook* menggunakan program *Visual Studio* [7].
3. Lakukan penulisan pemrograman Aplikasi *Form Digital Logbook* menggunakan bahasa *Visual Basic*. Penjelasan terkait dengan pemrograman dengan *Visual Basic* Net telah dijelaskan terpisah [8].
4. Uji coba pencatatan data menggunakan Aplikasi *Form Digital Logbook* pada saat reaktor operasi
5. *Upload* data parameter operasi hasil uji coba ke *Cloud Storage* Bidang Reaktor Kartini

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi *Form logbook* digital adalah program yang berfungsi untuk mencatat data parameter operasi menggunakan perangkat komputer. Hasil *output* data adalah berupa file Excel yang berisikan data parameter yang sudah dimasukkan dalam aplikasi. Adapun alur penggunaan program dapat dilihat pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Diagram Alur Logika Program

Aplikasi didesain sedemikian rupa sehingga memudahkan dalam proses penggunaannya. Dikarenakan banyaknya data parameter yang harus dimasukkan sebagai *input*, maka kotak *input* dibagi menggunakan *Groupbox* sehingga proses pengisian lebih mudah. Data parameter tersebut dibagi menjadi Groupbox seperti berikut:

1. No. Operasi, Tanggal dan Waktu
2. Petugas Operator
3. Data Sistem Primer
4. Data Sistem Sekunder
5. Data Teras Reaktor
6. Level Radiasi
7. Checklist

Adapun bentuk dan keterangan dari aplikasi dapat dilihat pada Gambar 2. *Input* aplikasi sudah disesuaikan dengan data parameter yang ada pada buku *logbook* data parameter operasi reaktor Kartini yang asli. Adapun fungsi dari tiap fitur dalam aplikasi sesuai dengan keterangan antara lain:

Keterangan:

1. Input Tanggal dan Waktu
2. Input Data Personal Operasi reaktor
3. Input Data Parameter Sistem Primer
4. Input Data Parameter Level Radiasi
5. Input Checklist
6. Pemilihan Jenis Data Operasi Reaktor
7. Kotak Input Keterangan Operasi
8. Input Data Parameter Sistem Sekunder
9. Input Data Parameter Teras Reaktor
10. Input Tanda Tangan Supervisor
11. Tombol Record dan Lock

GAMBAR 2. Aplikasi *Form Logbook* Digital Data Parameter Operasi reaktor Kartini

- **Tanggal dan waktu:** Di isi dengan keterangan tahun, bulan, tanggal, dan waktu sesuai dengan label dan juga no operasi reaktor yang dilaksanakan. Pencatatan waktu secara default adalah Manual namun dapat dipilih dengan *Record mode: Automatic*. Mode *Automatic* akan mengisi waktu secara otomatis pada saat tombol record ditekan sesuai dengan waktu dari sistem komputer .
- **Personel Operasi reaktor:** Di isikan dengan nama dari petugas reaktor yang bertugas pada saat operasi berlangsung beserta dengan Petugas Proteksi Radiasi yang bertugas serta Supervisor dari operasi reaktor pada saat itu.

- **Data Sistem Primer:** Di isikan dengan data dari sistem primer reaktor antara lain: Pompa primer yang digunakan, laju arus pipa primer, suhu *Heat Exchanger* primer, tekanan pipa primer, laju arus demineralizer, pH Air, ketinggian air tangki reaktor dari dek, dan tegangan detektor CIC dan FC.
- **Level Radiasi:** Di isi dengan data level radiasi di tiap area ruang reaktor. Data diisi dalam satuan milirem dan diambil oleh petugas PPR yang bertugas pada waktu operasi.
- **Checklist:** Checklist dilaksanakan untuk memeriksa kondisi dari tiap sistem operasi reaktor. *Checklist* dilaksanakan tiap waktu startup operasi.
- **Tipe Data Operasi:** Sebelum melakukan *input* data, dilakukan pemilihan tipe data yang akan dicatat. Tipe data yang dipilih akan menentukan data *input* apa saja yang harus dimasukkan. Tipe data operasi juga akan menentukan dimana data tersebut akan disimpan di *sheet* file excel data operasi reaktor
- **Kotak Keterangan Operasi:** Di isi dengan data keterangan mengenai operasi tersebut. Data yang dimasukkan adalah *informasi* tambahan yang tidak termasuk dalam *input* data yang disediakan dalam aplikasi *form logbook* reaktor yang dibuat
- **Data Sistem Sekunder:** Di isikan dengan data parameter sistem sekunder mulai dari pompa sekunder digunakan, laju arus sekunder, sistem ventilasi digunakan, menara pendingin yang digunakan, suhu *Heat Exchanger* sistem sekunder, dan tekanan filter sistem ventilasi.
- **Data Parameter Teras Reaktor:** Di isikan dengan data parameter sistem teras reaktor antara lain posisi batang kendali, daya reaktor, suhu permukaan air, dan suhu bahan bakar reaktor.
- **Input Tanda Tangan Supervisor:** Di isikan dengan tanda tangan supervisor yang bertugas. Fitur ini untuk sementara tidak digunakan karena fungsi *logbook* digital hanyalah sebagai data pendukung dan bukan pengganti dari buku *logbook* fisik. Fitur hanya digunakan apabila sebagai pengganti dari *logbook* fisik yang ada.
- **Tombol Record dan Lock:** Tombol record ditekan untuk menyimpan data yang telah di *input* di aplikasi ke dalam file data parameter operasi excel. Tombol lock digunakan agar data yang di *input* dalam aplikasi tidak dihapus secara otomatis pada saat dilakukan penyimpanan data ke excel.

Program akan otomatis membuat file excel dan akan menuliskan data yang di *input* ke dalam aplikasi ke file excel yang dituju. File Excel akan dibagi menjadi 4 *sheet* sesuai dengan tahap operasi reaktor yang dicatat. *Sheet* tersebut antara lain:

1. Data Parameter Start-up
2. Data Parameter Operasi
3. Data Parameter Shutdown
4. Rekap Data Operasi

Sheet Data Parameter Start-up berisi data-data parameter operasi reaktor pada saat startup dan sesuai dengan data yang dicatat pada *logbook* asli. *Sheet* Data Parameter Operasi berisi data parameter reaktor pada saat operasi daya tertentu dan disesuaikan dengan data parameter yang tercantum pada *logbook* asli. *Sheet* Data Parameter Shutdown berisikan data parameter reaktor pada saat reaktor Shutdown. *Sheet* Rekap Data Operasi berisikan data singkat dan keterangan dari data saat reaktor startup sampai dengan reaktor shutdown dalam satu *sheet*.

Data parameter yang di *input* di aplikasi *form logbook* reaktor akan disimpan di file excel ke *Sheet* yang sesuai dengan ketentuan. Data tersebut kemudian dapat dilihat dengan membuka file excel tersebut. Selain dilakukan pemrograman *input* data, dilakukan juga bug testing untuk mencari permasalahan dalam kode yang muncul pada saat uji coba.

Pengisian data pada aplikasi harus lengkap sesuai dengan data yang ada pada buku *logbook* data parameter reaktor Kartini yang asli dan berurutan tahap mulai dari Start-up sampai dengan Shutdown dengan tanggal dan waktu yang berurutan pula. Data yang disimpan kemudian akan masuk ke dalam file excel dengan nama sesuai dengan tahun *input* data tersebut. Adapun cara penggunaan dari aplikasi *form logbook* digital data parameter operasi reaktor kartini adalah seperti berikut.

1. Pengguna membuka aplikasi *Form Logbook* Digital data Parameter Operasi Reaktor Kartini.
2. Pengguna mengisi data kedalam aplikasi sesuai dengan data yang ditulis pada buku *logbook* data parameter operasi reaktor Kartini.
3. Pengguna menekan tombol Record untuk menyimpan data ke dalam file excel. File excel tempat penyimpanan data akan memiliki nama file sesuai dengan tahun yang di *input* pada aplikasi *form logbook* digital.
4. File data kemudian akan di *upload* ke cloud storage bidang reaktor oleh admin akun bidang reaktor.
5. File akan dibuat link dan kemudian di share kedalam database induk link bidang reaktor.
6. Pegawai yang memerlukan data dapat mengakses data melalui link yang di share tersebut.

Untuk saat ini aplikasi sudah selesai dibuat dan dapat digunakan. Data parameter operasi reaktor juga sudah dapat diakses secara digital melui link yang di share tersebut. Hal ini tentunya juga akan mendukung peran pengawasan ketenaganukliran dalam transisi energi hijau dan pengelolaan limbah radioaktif dapat dilakukan

menjadi lebih efektif dan efisien. Untuk kedepannya aplikasi akan terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan pengguna dan operator serta memudahkan dan mengurangi kesalahan *input* dari operator.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kegiatan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa aplikasi *form* digital *logbook* data parameter operasi reaktor Kartini telah selesai dibuat dan dapat digunakan. Sehingga diperoleh data digital parameter operasi reaktor Kartini harian. Pada saat dilakukan uji coba, ditemukan beberapa hal yang dapat ditingkatkan didalam aplikasi untuk mempermudah penggunaan dan mengurangi kesalahan pencatatan. Selain itu, ditemukan permasalahan yang didapat antara lain diperlukan komputer tersendiri untuk digunakan sebagai pencatat data. Hal ini dikarenakan komputer yang digunakan pada saat uji coba adalah Komputer yang berfungsi untuk menampilkan *informasi* parameter data. Komputer ini diperlukan pada saat operasi karena menampilkan data-data parameter operasi yang diperlukan saat mencatat sehingga kinerja komputer sudah cukup berat. Secara keseluruhan aplikasi sudah berjalan dengan lancar dan sesuai harapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2019 Tentang Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya, BAPETEN, 2019.
- [2] M. Signorini, S. L. Spagnolo and M. C. DeJaco, "A Digital Logbook as an Interactive Tool to Fulfill Service Companies' Needs and Requirements in Building Renovations," in 6th International Conference on Architecture, Materials and Construction (ICAMC 2020), Lisbon, Portugal, 2020.
- [3] B. Sulhee, L. Sangil, P. Mikyung, W. C. K. Kim, O. Yeong-kook, N. Hoonkyun and K. Myeun, "Electronic logbook development for the KSTAR commissioning," Fusion Engineering and Design, vol. 85, pp. 487-490, 2010.
- [4] A. T. Kavelaars, E. Bloom, R. Claus, K. Fouts and S. Tuvi, "Electronic Logbook for Space System Integration & Test Operations," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 45, no. 1, pp. 167-178, 2009.
- [5] Pusat Sains dan Teknologi Akselerator - BATAN, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Kartini, Rev 2, Terbitan 2," Pusat Sains dan Teknologi Akselerator - BATAN, Yogyakarta, 2019.
- [6] H. Nugroho, A. Sufyan and N. N. Wiadnyana, "Aplikasi Teknologi Elektronik Log Book Penangkapan Ikan untuk Mendukung Pengelolaan Perikanan," Jurnal Kelautan Nasional, vol. 10, pp. 113-124, 2017.
- [7] B. Johnson, Profesional Visual Studio 2012, John Wiley & Sons, 2012.
- [8] Y. Bai, Practical Database Programming with Visual Basic.NET, Charlotte, North Carolina: John Wiley & Sons, 2012.

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

1. Jika menggunakan cloud storage pihak ketiga, apakah ada upaya terkait keamanan data/informasi yang terekam menggunakan aplikasi tsb ?
2. Apakah ini dapat bersifat online, artinya dapat dibuka dimana saja?
3. Dalam isian daya pada formulir yang diisikan apakah dari daya NP1000 atau NLW2?
4. Apakah desain sudah dilakukan evaluasi berdasarkan man-machine interaction utk mengurangi kesalahan pengguna/operator. Karena kl dilihat scr visual tampilannya terlalu penuh, shg dikhawatirkan terjadinya kesalahan isi dari operator
5. Apakah pengisian/input data ke form digital bisa menggunakan HP? untuk efektivitas input dan pantau.
6. Bagaimana sinkronisasi terhadap kebutuhan rekaman inspeksi keselamatan Bapeten dan SOP terkait?
7. Bagaimana kaitan formulir data operasi tersebut dengan IRL Reaktor Kartini? Apakah aplikasi tersebut sudah mengakomodir timbulnya notifikasi jika terdapat parameter keselamatan operasi Reaktor Kartini yang melampaui nilai KBO yang ditetapkan sebagai early warning? Bila belum ada, bagaimana mekanisme internal yang dilakukan jika terjadi kondisi tersebut, apakah ada formulir tersendiri untuk mendokumentasikan adanya ketidaksesuaian dan tindakan yang dilakukan?

Jawaban

1. Cloud storage yang digunakan adalah cloud storage pihak reaktor. Untuk keamanan akses, cloud storage hanya dapat diakses apabila pengguna memiliki link dan account user yang dibuatkan oleh admin cloud storage.
2. Cloud storage bersifat online sehingga dapat diakses dimana saja. Namun untuk akses harus memiliki link dan account yang telah disediakan oleh admin.
3. Daya yang digunakan untuk pencatatan data adalah daya linear terukur dari NP1000 karena dianggap paling akurat.
4. Untuk mengurangi kesalahan pengisian, aplikasi akan mengecek data terdahulu sebelum direkam. Selain

itu tidak semua kolom diisi pada saat pencatatan data, data yang diisi tergantung dari tahap operasi yang dilakukan (Start-up, Operasi Daya, dan Shut Down) dan aplikasi hanya akan menampilkan kolom data yang perlu diisi tergantung dari tahap operasi yang dipilih. Selain itu untuk aplikasi versi terbaru sudah dapat mengisi data secara otomatis dengan mengambil data parameter yang terdapat di server IRL reaktor.

5. Aplikasi dibuat berbasis windows form dan .NET sehingga hanya dapat dijalankan pada perangkat Android. Namun aplikasi dapat dibuka pada perangkat Tablet dengan operating system Windows.
6. Data parameter operasi reaktor itu sendiri tidak digunakan sebagai rekaman inspeksi keselamatan, namun rangkuman data tersebut digunakan untuk membuat laporan keselamatan yang disampaikan ke bapeten tiap triwulan operasi reaktor.
7. Aplikasi tidak terintegrasi dalam IRL, namun aplikasi pada versi terbaru menggunakan data yang ada di server IRL untuk pencatatan datanya. Aplikasi hanya berfungsi untuk pencatatan data, dan hanya akan memberikan warning apabila terdapat parameter diatas KBO pada saat pencatatan data. Ketidakesesuaian KBO akan disampaikan didalam laporan keselamatan yang akan disampaikan ke Bapeten tiap triwulan.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



ANALISIS MEKANISME SUMBER GEMPA PADA CALON TAPAK PLTN, KALIMANTAN BARAT

Akhmad Muktaf Haifani*, Nur Siwhan**, Arifin Muhammad Susanto**

*Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inoasi Nasional

** Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN

Akhm02@brin.go.id

Abstract. Pembangunan dan pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Kalimantan Barat membutuhkan calon tapak yang selamat khususnya terhadap bahaya gempabumi termasuk salah satu penyebabnya adalah patahan permukaan. Pendekatan untuk menentukan jenis patahan adalah dengan mengidentifikasi pergerakan awal gelombang P terkait gerakan naik dan turun gelombang seismik yang terbaca dalam seismogram. Metode inversi *waveform* mengidentifikasi orientasi bidang geser yang diperoleh pada area calon tapak PLTN Kalimantan Barat pada bidang Nodal adalah Strike 116 – 211, Dip 62 – 81 dan rake 28 – 170. Solusi mekanisme sumber gempa di area tapak adalah patahan geser.

Kata kunci: patahan, seismogram, inversi *waveform*, sumber gempa

PENDAHULUAN

Pembangunan dan pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) membutuhkan calon tapak yang sesuai dengan memperhatikan aspek keselamatan terhadap bahaya eksternal alam maupun buatan. Bahaya gempabumi dalam suatu area tapak harus diperhitungkan selama umur operasi instalasi nuklir. Keberadaan patahan permukaan harus dipastikan potensi maksimum yang dapat terjadi tidak ada patahan kapabel pada radius 5 (lima) kilometer atau patahan kapabel tidak menuju arah tapak [1]. Dimensi patahan sebagai kriteria untuk mendefinisikan parameter gempa berupa panjang, lebar, zona hancuran adalah parameter yang harus diidentifikasi sejak suatu tapak ditetapkan sebagai kandidat tapak karena akan mencerminkan tingkat maksimum gempa yang dapat terjadi [2].

Parameter gempa bumi dapat diketahui dari hasil analisis data gempa yaitu gelombang seismik. Data yang digunakan untuk menentukan karakteristik gempa bumi adalah data *waveform* atau bentuk gelombang lokal tiga komponen [3]. Metode untuk menentukan jenis patahan adalah dengan meneliti pergerakan awal gelombang P di mana ditentukan gerakan *up* dan *down* pada gelombang seismik yang terbaca dalam seismogram. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode inversi *waveform*. Metode ini diimplementasikan dalam perhitungan mekanisme fokal dengan menggunakan *software* ISOLA [4]. Mekanisme Fokal yang mengindikasikan bidang patahan dan arah pergeseran, menentukan orientasi dari *seismogenic stress* [5]. Pemahaman tentang *seismogenic stress field* memerlukan mekanisme fokal untuk gempa mikro, khususnya pada area seismisitas rendah [6, 7]. Penyelidikan yang komprehensif dari mekanisme fokal gempa mikro diperlukan karena berkontribusi untuk mengungkapkan *regional stress field* [8].

Studi mekanisme fokal gempa ini dilakukan pada calon tapak potensial di pantai gosong Kalimantan Barat. Terdapat beberapa patahan geologi potensial yang terletak di wilayah tapak diantaranya patahan Adang-Lupar, Patahan Naik Sabah Serawak, dan Patahan mendatar Geser Sabah-Serawak [9], [10], [11]. Patahan Adang – Lupar yang melintas dekat dengan area calon tapak PLTN menjadi hal yang penting untuk dievaluasi mengingat bukti geologi di lapangan terkait keberadaan patahan geologi sangat minim dan kejadian gempa bumi dengan skala besar sebagai akibat aktivitas patahan *shallow crustal* sedikit ditemukan. Patahan tersebut hanya berjarak beberapa kilometer dari calon tapak PLTN Pantai Gosong Kalimantan Barat. Patahan adang ini harus dianalisis dan dibuktikan kapabilitasnya. Patahan Adang dinyatakan oleh beberapa ahli geologi sebagai patahan geser mendatar menganan [11]. Keberadaan patahan Adang ini ini tidak ditunjang dengan ~~minimnya~~ data gempa historis dan data rekaman di calon tapak Kalimantan Barat, mengingat bahwa wilayah ini bukan merupakan area penelitian ataupun area pengembangan kawasan pemukiman oleh pemerintah.

Berdasarkan beberapa hal tersebut, maka dilakukan kajian ini untuk mengidentifikasi keberadaan patahan di area tapak PLTN dan menentukan mekanisme pergerakannya serta untuk memahami seismisitas calon tapak PLTN di Pantai Gosong. Kajian ini dilakukan dengan cara membandingkan *waveform* yang terukur oleh stasiun dan *waveform* sintetik yang telah dihitung melalui fungsi Green. Nilai variasi reduksi digunakan sebagai acuan untuk melihat akurasi hasil pengolahan data. Hasil pengolahan data gempa bumi di Pulau Jawa tahun 2011 menggunakan metode inversi *waveform* memberikan informasi penyebab gempa yang terjadi pada tanggal 24 Agustus 2011.

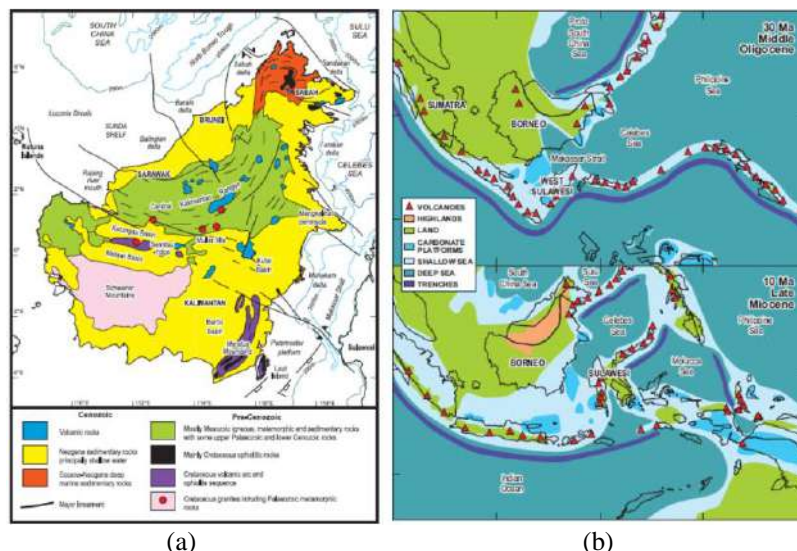
TEKTONIK DAN SEISMISITAS KALIMANTAN BARAT

Pulau Kalimantan mempunyai tingkat seismisitas yang rendah [12] berdasarkan sejumlah fakta sebagai berikut: pertama, wilayah Pulau Kalimantan memiliki jumlah struktur patahan aktif yang jauh lebih sedikit daripada pulau-pulau lain di Indonesia, kedua wilayah Pulau Kalimantan lokasinya cukup jauh dari zona tumbukan lempeng (*megathrust*), sehingga suplai energi yang membangun medan tegangan terhadap zona seismogenik di Kalimantan tidak sekuat dengan akumulasi medan tegangan zona seismogenik yang lebih dekat zona tumbukan lempeng, dan ketiga beberapa struktur patahan di Kalimantan kondisinya sudah berumur tersier sehingga segmentasinya banyak yang sudah tidak aktif lagi untuk dapat memicu gempa. Keberadaan sejarah kegempaan di Kalimantan Barat dapat terdeteksi dengan adanya rekaman kejadian gempa yang direpresentasikan berupa sebaran titik episenter.

Secara garis besar seismisitas dapat diklasifikasikan menjadi dua yakni gempa independen dan gempa dependen. Van Stipout [13] menyatakan bahwa secara umum, kegempaan terdiri dari dua bagian: (1) gempa bumi yang berdiri sendiri dan (2) gempa bumi yang bergantung satu sama lain seperti (*foreshock*) gempa pendahuluan, (*aftershock*) gempa susulan, atau gempa *multiplet*. Gempa bumi independen diasumsikan sebagian besar disebabkan oleh *secular*, pembebanan tektonik atau, dalam kasus *seismic swarms*, oleh transien tegangan yang tidak disebabkan oleh gempa bumi sebelumnya. *Swarm* gempa adalah suatu sekuens gempa yang terjadi di kawasan sangat lokal, dengan magnitudo relatif kecil, memiliki karakteristik frekuensi kejadian sangat sering, dan berlangsung dalam periode waktu tertentu. Dalam hal ini variasi sekuler yakni medan magnet bumi yang memiliki nilai yang bervariasi sebagai akibat perubahan posisi kutub magnet bumi, yang mengalami perubahan jangka panjang yang berlangsung perlahan dan tidak terlihat.

Posisi Pulau Kalimantan yang merupakan bagian dari Asia Tenggara yang dibatasi di utara dan barat oleh lempeng Eurasia dan di selatan oleh lempeng India-Australia menghasilkan terbentuknya sistem patahan Tersier yakni Patahan Adang-Lupar. Meskipun sejauh ini belum terdapat banyak bukti sejarah gempa tektonik yang merusak, kajian menjadikan kondisi ini sebagai suatu tantangan untuk membuktikan aktivitas tektonik tersebut yang dilihat dari banyaknya rekaman data gempa. Proses pembuktian ini dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis data seismisitas sebanyak mungkin dan selama mungkin dengan mengandalkan data historis dan data rekaman dari berbagai stasiun pencatat gempa.

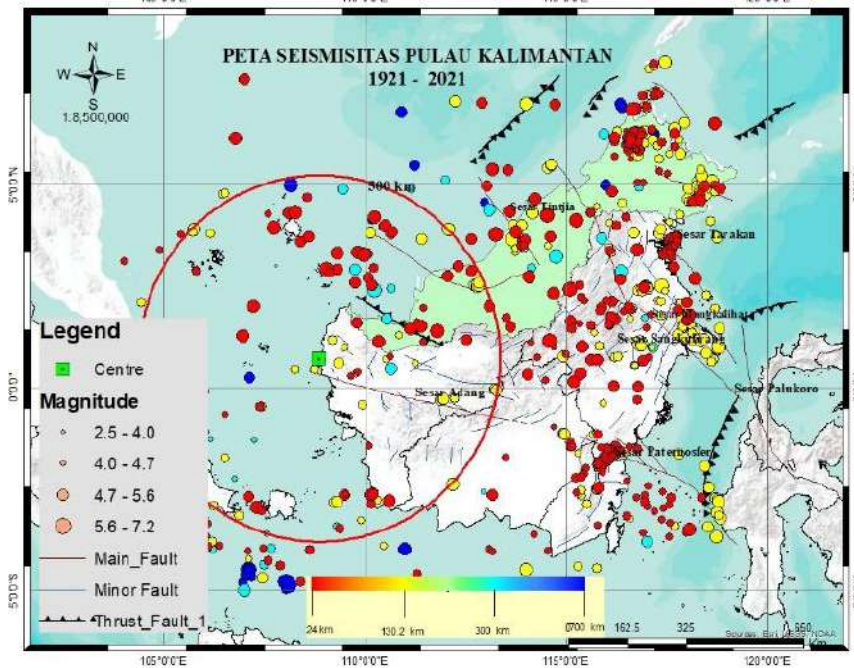
Secara umum, Pulau Kalimantan merupakan hasil akresi Mesozoikum dari ophiolitik, busur pulau dan fragmen mikrokontinen asal Cina selatan dan Gondwana, dengan penutup sedimennya, ke inti kontinen Paleozoikum Pegunungan Schwaner di barat daya pulau [9], [14], and [15] (Gambar 1.a). Pada awal Kenozoikum Kalimantan membentuk tanjung Sundaland di tepi timur Eurasia [11] sebagian dipisahkan dari Asia oleh lempeng samudra proto-Laut Cina Selatan (Gambar 1.b).



GAMBAR 1. (a) Peta Geologi Kalimantan yang disederhanakan (dimodifikasi dari Hamilton 1979), Moss dan Wilson (1998) [5]; (b) Rekonstruksi tektonik lempeng Asia Tenggara pada 30 Ma dan 10 Ma (dari Hall 1996). Distribusi topografi dan batimetri dari Hall (2001).

Hall [11] juga menyatakan bahwa selama Kenozoikum wilayah yang sekarang merupakan Asia Tenggara dibatasi di utara dan barat oleh lempeng Eurasia, dan di selatan oleh lempeng India-Australia. Pergerakan lempeng-lempeng tersebut cukup terkenal dan posisinya memberikan batas zona di mana Asia Tenggara lempeng mikro dan fragmen sub lempeng dapat dipindahkan ketika mencoba melakukan rekonstruksi lempeng.

Hasil kompilasi data seismisitas yang diperoleh dari lima (5) stasiun pencatatan gempa yakni BMKG, IRIS, USGA, ISC, GFZ, menunjukkan bahwa untuk area Kalimantan Barat diperoleh data 739 kejadian gempa untuk area dengan batas koordinat 80 LU – 50 LS dan 107 0 – 1170 BT (Gambar 2). Data ini tersebar dengan rentang waktu dari September 1921 – Maret 2021, rentang Magnitude 2.15 – 7.15 dan rentang kedalaman 0 – 782.3 m.



GAMBAR 2. Kompilasi data seismisitas dari tahun 1920 – 2021 untuk area 500 km dari calon tapak PLTN

METODOLOGI

Parameter gempa bumi yakni berupa kedalaman gempa, magnitudo, posisi, dan jarak sumber ke area tapak dapat diidentifikasi pengolahan gelombang seismik. Data yang digunakan untuk menentukan karakteristik gempa bumi adalah data *waveform* atau bentuk gelombang lokal tiga komponen yang diolah dengan menggunakan pendekatan metoda inversi [3]. Pendekatan yang dilakukan untuk menentukan mekanisme fokal berupa identifikasi jenis patahan berdasarkan pergerakan awal gelombang P terhadap naik dan turunnya gerakan amplitudo gelombang seismik. Kajian ini dilakukan dengan cara melakukan komparasi *waveform* yang terukur oleh stasiun dan *waveform* sintetik yang dihitung dengan menggunakan fungsi Green. Nilai variasi reduksi digunakan sebagai acuan untuk melihat tingkat ketelitian pengolahan data. Metode inversi *waveform* ini digunakan untuk analisis data seismik dari baik untuk analisis data seismik lokal maupun regional.

Metoda Inversi adalah menentukan suatu himpunan model parameter yang tidak diketahui $m=(j=1,2,3,\dots,N)$ dari himpunan data hasil pengamatan $d=(i=1,2,3,\dots,M)$. Momen tensor dan *focal mechanism* didapatkan dari hasil inversi momen tensor. Inversi ditentukan berdasarkan pembacaan data seismogram, Fungsi *Green* dan komponen momen tensor seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$u_i(t) = \sum_{j=1}^M G_{ij} m_j \tag{3.1}$$

sedangkan persamaan fungsi Green adalah

$$G_z(\vec{r}) = \int_R \frac{g(1-v)^2}{\pi E} \tag{3.2}$$

$$G_z(\vec{r}) = \int_R \frac{g(1-v)(1-2v)}{\pi E} \tag{3.3}$$

dimana: u_i = rekaman seismogram, G_{ij} = fungsi *Green*, m_j = komponen momen tensor, v = rasio poisson, E = modulus Young, g = percepatan gravitasi, r dan z = adalah sistem koordinat

Untuk melakukan perhitungan momen tensor dan mekanisme fokal, kajian menggunakan Program ISOLA – GUI. Program ini merupakan program yang menggunakan *tool* Matlab yang digunakan untuk mempermudah perhitungan beberapa parameter dengan cepat, diantaranya persiapan data, perhitungan Fungsi *Green* dan proses inversi serta visualisasi hasil perhitungan mekanisme fokal. Program ISOLA merepresentasikan sumber titik tunggal dan metode iterasi dekonvolusi seperti yang digunakan oleh Kikuchi dan Kanamori [16] untuk mengolah data gempa teleseismik. Untuk perhitungan Fungsi *Green*, analisis menggunakan metode *discrete wavenumber* oleh Bouchon [17]. Metode ini baik digunakan untuk gempa lokal dan regional.

Inversi yang digunakan dalam program ini adalah inversi linier dengan d merupakan data dan m adalah parameter yang dicari. Solusi inversi linear dari parameter model m dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$d = mG \quad (3.4)$$

$$m = \frac{d G^T}{G G^T} = [G^T G]^{-1} d G^T \quad (3.5)$$

dimana $G^T G$ = matriks bujur sangkar dengan dimensi (N x M) menurut jumlah parameter model yang dicari. ISOLA-GUI menjabarkan mekanisme fokal dari momen tensor gempa. Dari proses inversi dapat diketahui besar nilai eigen dan vektor eigennya. Vektor eigen menghasilkan nilai jurus (*strike*), kemiringan (*dip*), dan *rake* (*slip*). Nilai eigen memberikan besar momen skalar M_0 . Untuk mendapatkan hasil yang bagus, maka dilakukan pencocokan kurva *displacement* antara data sintetik dan data lapangan. Dinyatakan bahwa d adalah data lapangan dan s adalah data sintetik. Kecocokan (*fit*) diantara kedua data diukur dengan *variance reduction* (*varred*) melalui persamaan:

$$varred = 1 - \frac{|d - s|^2}{d^2} \quad (3.6)$$

Nilai 1 menjelaskan kurva data sintetik berimpit dengan kurva data observasi, apabila kurang dari satu atau lebih dari satu maka terjadi perbedaan signifikan pada kurva yang menunjukkan ketidaksesuaian perhitungan antara besar *even* dengan hasil pengolahan. Ketidaksesuaian ini dipengaruhi oleh penentuan jumlah *subeven* yang akan menghasilkan data residu yang berpengaruh pada nilai *varred*-nya, Sokos dan Zahrandik [18]. Selain itu, proses penapisan berpengaruh pada periode yang akan digunakan oleh program ISOLA-GUI dari data seismogram dalam proses perhitungan inversi.

PEMBAHASAN

Analisis untuk mengidentifikasi mekanisme sumber gempa yang diduga sebagai akibat aktivitas Sesar Adang Lupar di Kalimantan Barat dianalisis dengan menggunakan data dari institusi penyedia data gempa iris/washington.edu. Data event dalam bentuk time series yang mencatat aktivitas gempa didownload melalui link website https://ds.iris.edu/wilber3/find_event. Terdapat enam (6) events yang terindikasi sebagai akibat pergerakan sesar Adang Lupar (Tabel 1). Disisi lain untuk analisis mekanisme fokal dan Moment Tensor gempa membutuhkan data spesifik stasiun yang merekam kejadian gempa dengan menggunakan https://ds.iris.edu/wilber3/find_stations/3323276. Namun demikian dalam analisis ini tidak semua data gempa dapat digunakan karena terkait dengan ketersediaan data yang terekam dengan baik oleh stasiun terdekat.

Tabel 1. Data gempa yang terindikasi sebagai akibat dari aktivitas Patahan Adang-Lupar

Date (UTC)	Region	Magnitude	Latitude	Longitude	Depth
2012-04-06 20:20:29	Borneo	Mlv 3.1	-0.98°	114.69°	10 km
2015-05-14 10:25:05	Borneo	Mb 3.6	0.65°	108.89°	10 km
2011-08-24 15:51:43	Borneo	Mb 4.7	0.69°	108.90°	35 km
2011-04-14 12:41:47	Borneo	Mb 4	-0.26°	112.23°	35 km
2013-08-05 03:37:21	Borneo	Mb 4	-1.37°	115.09°	10 km
2019-05-19 13:13:06	Borneo	Mb 4.2	-1.16°	115.80°	16.3 km

Kajian ini telah mengidentifikasi satu kejadian gempa yang memiliki rekaman gempa dari beberapa stasiun perekaman data gempa, sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan mekanisme gempa. Kejadian gempa tanggal 24 Agustus 2011 terekam oleh 5 stasiun pencatat gempa yakni SBM, KSM dan KMO (MYA, Malaysian Seismic Network) dan PPBI dan PKKI (INA, BMKG-Indonesia), secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Informasi rinci tentang parameter gempa yang dipakai dalam analisis moment tensor dan mekanisme fokal yang diindikasikan sebagai akibat aktivitas patahan Adang-Lupar

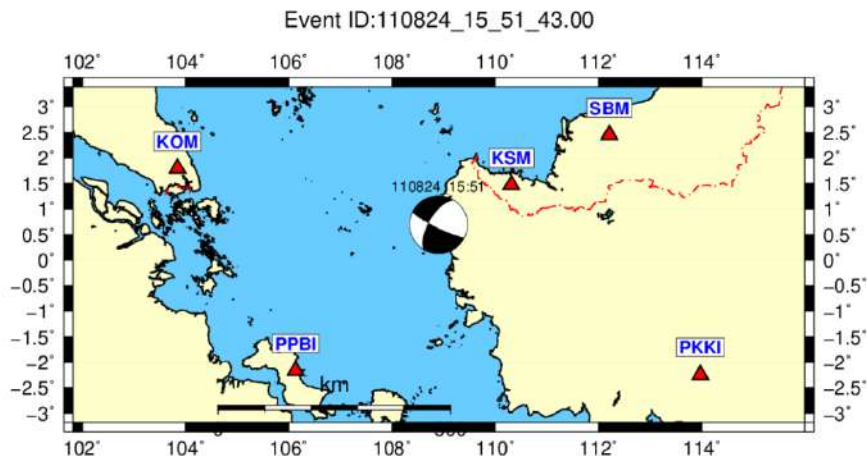
Date (UTC)	Frekuensi	Magnitudo	Lintang	Bujur	Kedalaman	Station
2011-08-24	0.03 – 0.05	Mb 4.7	0.69°	108.90°	35 km	PPBI, PKKI, KSM, KMO, SBM

Langkah awal sebelum analisis moment tensor, adalah melakukan inversi gelombang seismik tiga komponen. Nilai momen tensor ini menjelaskan aktivitas area patahan atau pergerakan antara dua bidang yang mengalami pergeseran. Nilai momen tensor menunjukkan adanya gaya yang dibutuhkan untuk meneruskan gelombang seismik. Komponen Moment Tensor yang diperoleh ($M_{rr} = -0.940$, $M_{tt} = 2.576$, $M_{pp} = -1.635$, $M_{rt} = -1.00$, $M_{rp} = 0.321$, $M_{tp} = 1.239$ dimana r adalah komponen perekaman pada arah x, t adalah pada arah y, p adalah pada arah z dalam koordinat kartesian. Data yang diperoleh selain nilai momen tensor adalah karakteristik bidang sesar yang mencakup jurus, kemiringan, dan *rake*. Hasil analisis data gempa dengan program Isola dari Magnitudo gempa 4.7 Mb, dan pusat gempa berada pada kedalaman 35 km diperoleh nilai parameter gempa (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai jurus, kemiringan dan rake dari kejadian gempa 24 Agustus 2011

Date (UTC)	Jurus	Kemiringan	Rake	Jurus	Kemiringan	Rake
	1	1	1	2	2	2
2011-08-24	116	81	-28	211	62	-170

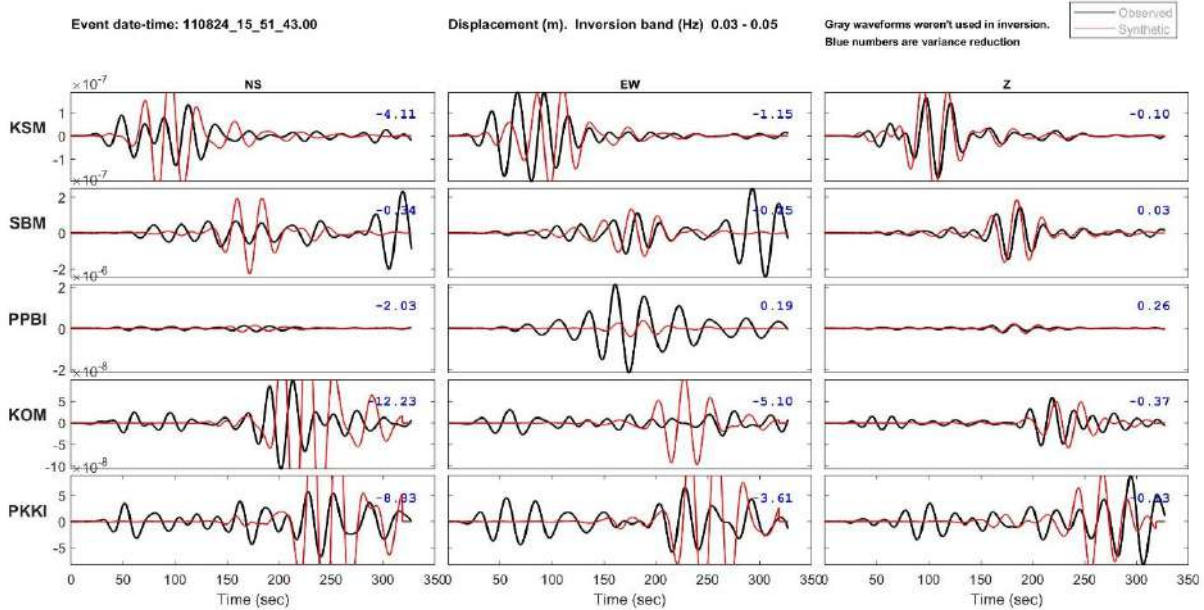
Parameter *jurus* dan kemiringan mendiskripsikan bidang patahan penyebab gempabumi dan parameter *rake* untuk menentukan jenis patahan atau jenis pergerakan lempeng. Pada bidang nodal 1 nilai *jurus* adalah 116° , nilai kemiringan adalah 81° dan nilai *rake* adalah -28° . Pada bidang nodal 2 nilai *jurus* adalah 211° , nilai kemiringan adalah 62° dan nilai *rake* adalah -170° . Berdasarkan hasil intepretasi perhitungan Moment Tensor dengan variable lintang, bujur, kedalaman, latitude, longitude, depth, jurus, kemiringan dan *rake* baik pada *bidang nodal* 1 dan 2 menunjukkan bahwa jenis patahan yang berkembang di daerah penelitian adalah patahan geser. Hal ini berarti patahan yang menyebabkan gempa 24 Agustus 2011 mempunyai tipe patahan mendatar (Gambar 3) mengacu pada Tabel 3. tentang Jenis Patahan berdasarkan nilai *Rake*.



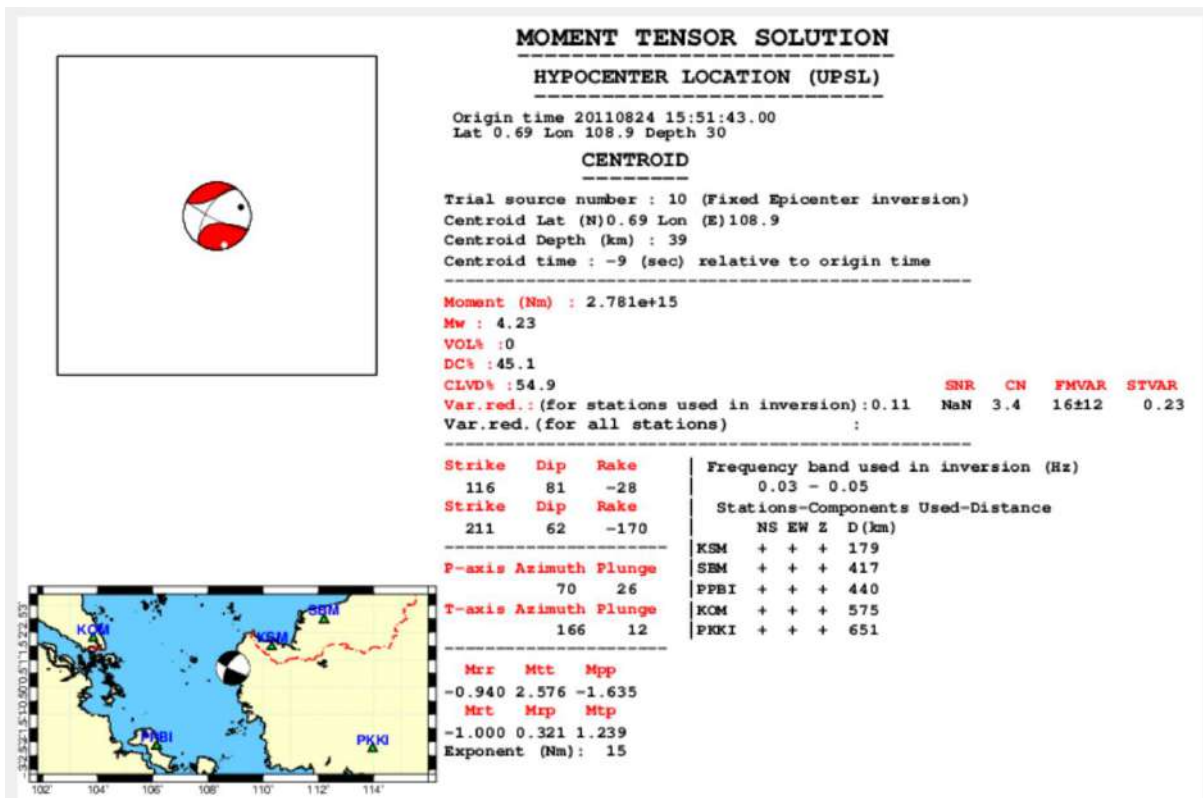
GAMBAR 3. Posisi kejadian gempa pada 28 Agustus 2011 terhadap empat stasiun seismic dengan mekanise patahan

Tingkat akurasi hasil perhitungan sangat dipengaruhi pada kualitas dan kuantitas data yang diperoleh termasuk dalam hal ini kualitas data struktur cepat rambat gelombang gempa. Data struktur gelombang cepat rambat gempa menggunakan data struktur global yang berlaku umum. Hingga penelitian ini dilakukan, nilai cepat rambat gelombang gempa local belum dimiliki, sehingga masih menyandarkan pada nilai struktur cepat rambat gelombang gempa global yang mana perbedaan ini akan mempengaruhi perhitungan waktu tempuh gelombang gempa.

Akurasi hasil perhitungan adalah terletak pada posisi stasiun pengamat terhadap event gempa yang diamati. Pada area penelitian menunjukkan pada stasiun SBM, KSM dan PPBI yang memiliki nilai jarak terdekat dengan pusat gempa sehingga memiliki nilai *fitting* yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun KOM dan PKKI. Nilai akurasi ini direpresentasikan dalam bentuk nilai best fitting terbaik antara *waveforms* rekaman data dengan *waveform* sintetik yang diindikasikan dengan parameter VR, DC dan CN (Gambar 4). Pada studi kali ini sulit mendapatkan nilai *best fitting* yang ideal termasuk rendahnya nilai VR dan DC dan tingginya nilai CN (Gambar 5). Hal ini karena event gempabumi di Kalimantan Barat sangat minim nilai magnitudo dengan nilai yang tinggi dan minimnya rekaman gempabumi yang ideal untuk merepresentasikan parameter gempabumi. Konsep ideal untuk menghasilkan *focal mechanism* dengan resolusi tinggi adalah memiliki nilai VR dan DC yang tinggi dan nilai CN yang rendah dan tentunya nilai best fitting yang tinggi.

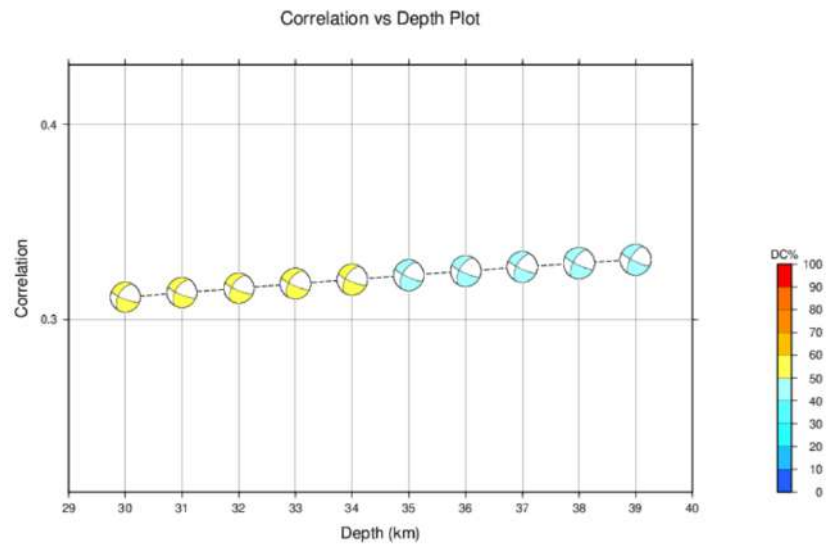


GAMBAR 4. Moment Tensor sebagai akibat pergerakan patahan Adang-Lupar

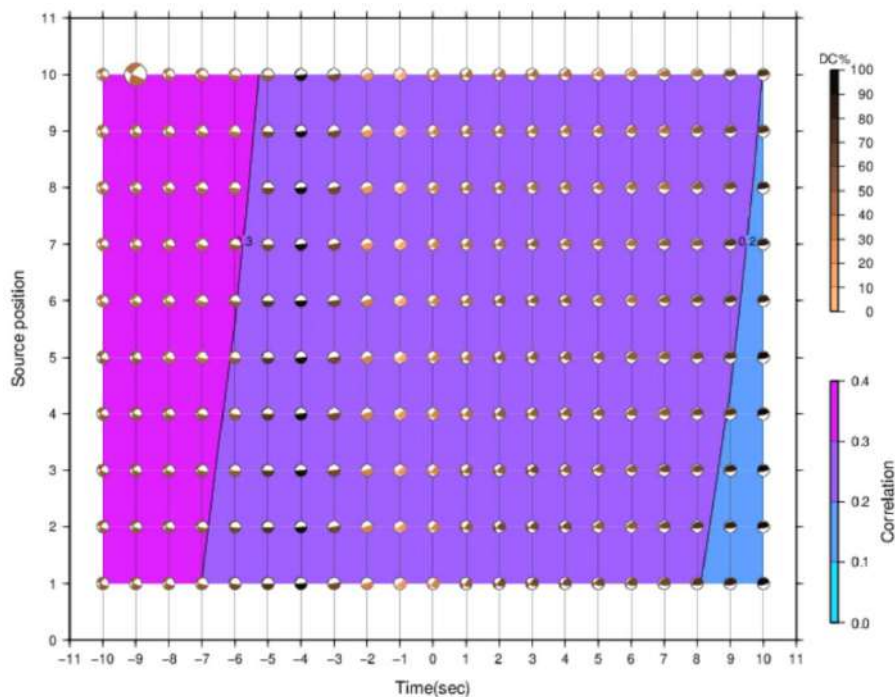


GAMBAR 5. Moment Tensor sebagai akibat pergerakan patahan Adang-Lupar

Hasil analisis (Gambar 6) menunjukkan korelasi antara kedalaman episenter terhadap DC dalam bentuk prosentase. Rekaman gempa pada tanggal 24 Agustus 2011 berdasar data analisis mekanisme fokal menunjukkan pusat gempa pada kedalaman 39 km dengan tingkat keyakinan 50 %. Selain itu analisis juga menjustifikasi bahwa kejadian gempa ini terjadi pada menit kedelapan sebelum kejadian real yang terekam pada beberapa stasiun seismik (Gambar 7).



GAMBAR 6. Korelasi antara nilai DC dan Kedalaman Episenter



GAMBAR 7. Korelasi antara posisi sumber gempa dengan waktu kejadian gempa hasil perhitungan

KESIMPULAN

Analisis untuk menentukan mekanisme fokal sumber gempa di calon tapak PLTN Kalimantan Barat menggunakan pendekatan inversi momen tensor dari data seismogram yang dihitung dengan menggunakan Fungsi *Green*. Hasil analisis mekanisme sumber gempa didapat orientasi bidang sesar yang diperoleh pada area calon tapak PLTN Kalimantan Barat pada bidang nodal adalah jurus 116 – 211, kemiringan 62 – 81 dan *rake* 28 – 170. Solusi mekanisme sumber gempa di area tapak adalah patahan mendatar. Patahan mendatar yang berkembang di area penelitian diindikasikan sebagai patahan Adang-Lupar. Hal ini berarti gempabumi yang terjadi pada 28 Agustus 2011 di area tapak PLTN Kalimantan Barat disebabkan oleh aktivitas patahan Adang-Lupar dengan manifestasi sebagai patahan mendatar (*strike slip fault*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, Peraturan Kepala No. 8, EVALUASI TAPAK INSTALASI NUKLIR UNTUK ASPEK KEGEMPAAN, Jakarta: BAPETEN, 2013.
- [2] Z. Wang, Ground Motion for the Maximum Credible Earthquake in Kentucky, Kentucky, Lexington: Kentucky Geological Survey, University of Kentucky, Lexington, 2010.

- [3] C. P. Fahntalia, "PENGARUH JUMLAH STASIUN SEISMİK TERHADAP HASIL ESTIMASI CENTROID MOMENT TENSOR GEMPA BUMI.," *Inovasi Fisika Indonesia*, 6., p. 3, 2017.
- [4] Madlazim and B. J. Santosa, "Estimasi Parameter Sumber Gempa Bumi Padang 30 September 2009, Mw=7,6 dan Korelasinya dengan Aftershocks-nya," *Jurnal Matematika & Sains*, Desember, Vol. 19 Nomor 3, p. 88, 2014.
- [5] T. Uchide, "Focal Mechanism of Small Earthquake Beneath the Japanese Island Based on First Motion Polarities Pickup using Deep Learning," *Geophys. J. Int.* 223, pp. 1658 - 1671, 2020.
- [6] K. Imanishi, R. Ando and Y. Kuwahara, "Unusual Shallow Normal Faulting Earthquake Sequence in Compretional Northeast Japan Activated after the 2011 of the Pasific Coast of Tohoku Earthquake," *Geophys. Res. Lett.*, 39 L00306, 2012.
- [7] R. Matsushita and K. Imanishi, "Stress Field in and around Metropolitan Osaka Japan deduced from microearthquake focal mechanism," *Tectonophysics*, 642, p. 46 57, 2015.
- [8] Y. Iio, S. Kishimoto, S. Nakao, T. Miura, I. Yoneda, M. Sawada and M. Katao, "Extremely Weak Fault Plane : An Estimate of Focal Mechanism from Stationary Seismic Activity in the San'in District, Japan," *Tectonophysics*, 723, pp. 136 - 148, 2018.
- [9] W. B. Hamilton, "Tectonics of the Indonesian region.," USA:U.S. Govt. Print., 1979.
- [10] S. Moss and M. Wilson, "Biogeographic implications of the Tertiary palaeogeographic evolution of Sulawesi and Borneo," in *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia*, 1998, p. pp. 133–163.
- [11] R. Hall, "Reconstructing Cenozoic SE Asia," *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 106:153–184, 1996.
- [12] D. K. Karnawati, "sains," 25 08 2019. [Online]. Available: <https://sains.kompas.com/read/2019/08/25/202800323/meski-punya-sesar-aktif-aktivitas-gempa-di-kalimantan-paling-sedikit?page=all>.
- [13] T. van Stiphout, J. Zhuang and D. Marsan, "Seismicity declustering, Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis," 2012. [Online]. Available: Available at <http://www.corssa.org>.doi:10.5078/corssa52382934..
- [14] C. S. Hutchison, *Geological Evolution of South-east Asia*, Clarendon Press, Oxford,180, 1989, pp. 304-309.
- [15] I. Metcalfe, "Pre-Cretaceous evolution of SE Asian terranes," *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 106:97–122, 1996.
- [16] M. Kikuchi and H. Kanamori, "Inversion of complex body waves,III,," *Bull. Seismol. Soc. Am.* 81., p. 2335–2350, 1991.
- [17] M. Bouchon, "A Review of the Discrete Wavenumber Method," *Pure and Applied Geophysics*, Volume 160, Issue 3-4., pp. pp. 445-465, 2003.
- [18] Z. Zahradnik, F. Gallovic, E. Sokos, A. Serpetsidaki and G. A. Tselentis, "Quick Fault Plane Identification by a Geometrical Method: Application to the Mw 6.2 Leonido Earthquake, 6 January 2008, Greece," *Seismological Research Letters* Volume 79, Number 5, pp. 653-662, 2008.

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

Seberapa besar potensi gempa yang ada di calon tapak Kalimantan Barat dapat mengakibatkan Tsunami? Berdasarkan potensi gempa yang telah dianalisis tersebut, desain PLTN yang bagaimana yang layak untuk diimplementasikan di Kalimantan Barat?

Jawaban

Pada umumnya gempa yang mengakibatkan tsunami memiliki ciri sebagai berikut:

- Gempa dangkal : 0 - 60 km
- Sumber gempa : aktivitas subduksi atau pergerakan lempeng konvergen yang naik atau turun
- Memiliki nilai Magnitudo diatas 6
- Pada laut dangkal.

Kondisi kegempaan dan tektonik ini tidak kita jumpai di tapak Kalimantan Barat karena secara tektonik kegempaan disebabkan oleh patahan permukaan, didarat dengan nilai Magnitudo paling besar 5. Jadi kecil kemungkinan gempa di Kalimantan Barat akan menimbulkan bahaya tsunami.

Desain PLTN yang paling layak di Kalimantan Barat adalah PLTN land based, sudah proven (dikembangkan di negara asal dan sudah ada regulasi yang mengatur), daya rendah (20 - 60 MW) karena posisi di remote area dan jauh dari jaringan listrik sehingga bila nanti disambungkan ke jaringan listrik daerah tidak over capacity.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING SCHEME IN INDONESIA: LESSON LEARNED FROM OTHER COUNTRIES

Vatimah Zahrawati^{1, a)}

¹BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir)
Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat, Indonesia, Post Code: 10120

^{a)} v.zahrawati@bapeten.go.id

Abstract. The utilization of radioactive material will produce radioactive waste that must be managed. The management of radioactive waste requires funds for waste transportation and waste treatment fees. It is necessary to ensure that the users have sufficient funds to manage their radioactive waste. Therefore, before 2022, the licensee of radiation facilities and radioactive materials utilizations have no obligation to submit a financial guarantee to ensure they can manage their waste, including transportation and disposal costs. In 2022, BAPETEN, as the regulatory agency, enacted the BAPETEN's Regulation on the Arrangement of the Licensing Based on Risk that provides the requirement for the private enterprise to submit their financial guarantee before they use the sealed radioactive sources. However, the more detailed mechanism for this provision is not established yet. The absence of the application of financial guarantee and import agreement cause some cases where the waste from the producers cannot be transported to the country of origin or the waste facilities, especially when the producer of waste experience bankruptcy. This research analyzes the method of funding in Indonesia and different countries to see the comparisons and to improve the Indonesian regulation system for waste management and financing in the future. The assessment has been conducted on the national regulation, countries' national reports, and IAEA documents. In conclusion, although there is no specific funding mechanism suitable for every country due to many factors that may contribute, Indonesia has to have precise regulations that state funding mechanism, including the obligation to have a contract with the country of origin. This study recommends Indonesia establish a financial system to ensure the safety of radioactive waste management and decommissioning to avoid economic issues such as bankruptcy and lack of funding.

INTRODUCTION

The control of radioactive materials utilization should be applied in the whole cycle of the radioactive materials, starting from the manufacturing process to the end of the time when the radioactive materials are no longer used and need to be disposed of, called from the cradle to the grave. The Nuclear Energy Regulatory Agency of Indonesia, named BAPETEN, has developed the regulatory system to ensure the safety and security of the utilization of nuclear energy in Indonesia, including waste management. The applications of nuclear energy in Indonesia are used for medical, industrial, and research purposes. Although Indonesia doesn't have nuclear power plants, they have three research reactors. The research reactors are used for the research and producing radioisotopes.

The report from BAPETEN in 2020 shows the total licenses issued for radioactive and nuclear materials used for medical, industrial and research purposes. The nuclear materials are used for research purposes by the nuclear executing body or BRIN-ORTN, previously named BATAN. Thirty-one licenses and approval were issued in 2020 for nuclear materials applications, including the import and transport approvals (Figure 1) [1].

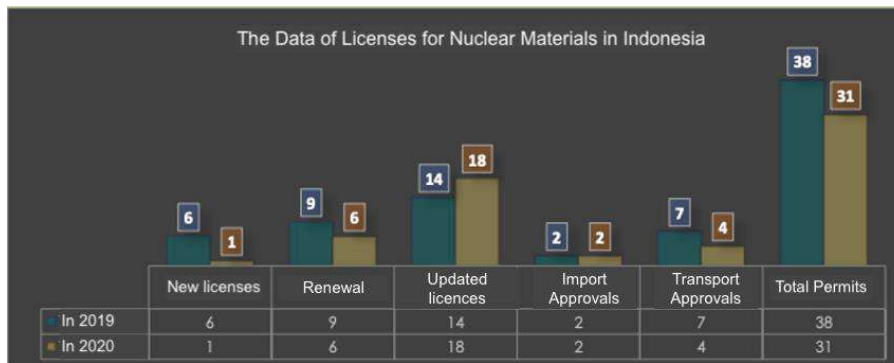


FIGURE 1. The total of licenses issued for nuclear facilities in 2019 and 2020. Retrieved from BAPETEN, 2020 [1].

The licenses for using radioactive materials for industrial and research purposes issued in 2020 are 7,733 licensees and approvals, which decreased by around 9% from 2019. This number includes the licenses for facilities (54%), transport approvals (31%), export and import approvals (7%), discontinuation determination (7%), and negative statements (1%). The total decreased from 2019 mainly due to the pandemic of Covid-19. Furthermore, the application for medical purposes issued 8,569 licenses and approvals. This number consists of 58% for facility licenses, 19% for export and import approvals, 12% for discontinuation determinations, and 11% for transport approvals [1].

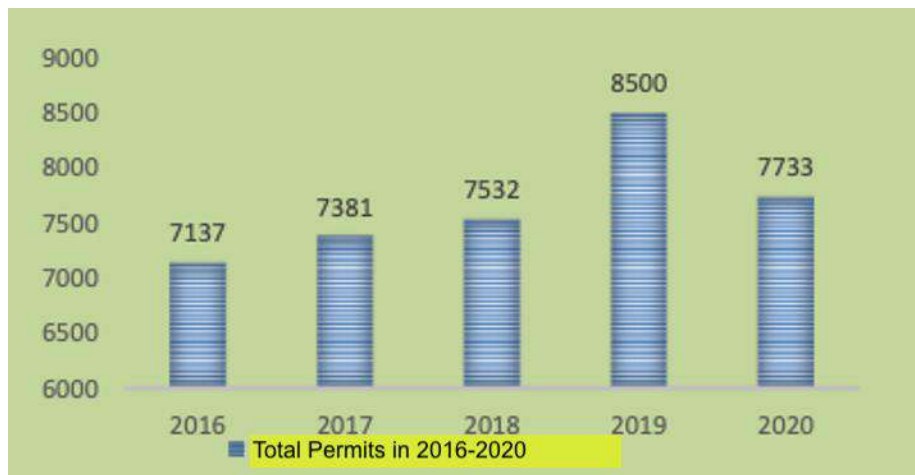


FIGURE 2. A total of the licenses for industrial and research purposes were issued from 2016 to 2020. Retrieved from BAPETEN, 2020 [1].

Furthermore, considering the commitment of Indonesia to reduce the world carbon emission by 29 per cent unconditionally and up to 41 per cent conditionally by the year 2030 [2], the establishment of the nuclear power plant as an alternative green energy need to be prepared. The executing body has launched the development of an experimental power reactor to prepare for establishing a nuclear power plant in Indonesia [3]. Management of the spent fuel generated by future nuclear power plants needs to be prepared.

Indonesia has a Centralized Radioactive Waste Management Station (CRWMS) in the Center of Radioactive Waste Management Technology (CRWT), the only institution authorized to manage radioactive waste in Indonesia. The CRWMS has some facilities, such as an evaporation system, compaction system, incinerator system, cementation system, and interim storage for high-level radiation waste. The interim storage for high-level radiation waste has 20 dry wells dan three dry ponds. The average annual waste collected is 100-200 m³ for liquid waste from the research reactor, 1-1.5 m³ of resin, 100-250 drums of solid waste and 100-150 units spent on radiation sources [4]. According to the Indonesian National Report for Joint Convention, in 2004, the executing body and the Ministry of Health agreed that the disused sealed sources from hospitals had been collected by the executing body [4].

The regulation regarding nuclear energy in Indonesia started from Indonesia's top level of regulation, Act No. 10 in 1997 on Nuclear Energy. Some parts of this Act have been revised by the Job Creation Act (Act No 11 in 2020). Under the Act on Nuclear Energy, there are several government regulations (GR) that provide more specific regulations, such as the GR on Licensing of Radiation Facilities and Radioactive Materials, GR on licensing on Nuclear Installation, GR on Safety and Security Ionizing Radiation Sources, GR on Safety and Security on Transport of Radioactive Material, and GR on Radioactive Waste Management.

The specific regulation for radioactive waste management is GR No. 61 in 2013 on Radioactive Waste Management. This regulation regulates disused unsealed sources, contaminated materials, disused sealed sources (DSRS) and spent fuel. The waste producer has two options for the disused sealed sources: return the waste to the manufacturing country or transfer it to national waste management [1]. The problems mainly

happened because the users do not have sufficient funding to manage their radioactive waste or the manufactured country has been closed or facing bankruptcy. The users lack funds for waste transportation to the country of origin. Sometimes, there is no transport container to transfer the waste to the country of origin or even to the national radioactive waste facility. Furthermore, there are no specific requirements for the waste producer to choose whether to return the waste to the manufacturing country or send the waste to the national nuclear installation. It may trigger the waste producer to transfer their waste to the national waste management facility instead of returning the waste to the country of origin.

This study analyzed the regulations in Indonesia regarding radioactive waste management and decommissioning, especially a concern in terms of funding. This research focuses on exploring the funding mechanism for managing radioactive waste and decommissioning radiation facilities and nuclear installations in Indonesia and examines other countries' funding mechanisms to find the solution to improve the regulation of funding mechanisms in Indonesia.

METHOD

The methodology used in this study is desktop research that analyzed the legal documents in Indonesia, BAPETEN report, articles, journals, IAEA documents and other related documents. The assessment was started from the national regulation in Indonesia from the highest legal document for nuclear energy provisions in Indonesia Act No. 10 in 1997 and Act No. 11 in 2020 on the Job Creation Act that revised some articles in Act No. 10 in 1997. Some regulations related to radioactive waste management are also analyzed, including the government regulations and BAPETEN's Regulations. The IAEA and national country reports have been studied to learn from other countries funding mechanisms. The analysis was conducted to some countries that have different approaches to the waste funding mechanism, including Australia, Belgium, Bulgaria, the Czech Republic, France, The United States, and Korea.

RESULT AND DISCUSSION

Regulation for Radioactive Waste Management in Indonesia

The top level of the regulation system for nuclear energy in Indonesia is Act Number 10 in 1997 on Nuclear Energy. This Act contains the basic rules to ensure the safety and the security of using nuclear energy in Indonesia. The liability provision is stated in Act No. 10 in 1997 on Nuclear Energy. However, this liability provision is only applicable for nuclear accidents dealing with nuclear material during installation and transport. The Act does not have the liability provision for estimating the cost of decommissioning and the radioactive waste generated from the nuclear installation or the radiation facilities.

Furthermore, the GR on Licensing for Nuclear Installation and Utilizing Nuclear Materials (GR No. 2 in 2014) stated the funding for decommissioning nuclear installation. Nuclear installation defines as nuclear reactors, facilities used for purification, conversion, enrichment of nuclear materials, fabrication of nuclear fuels and/or processing of spent fuel and facilities used to store nuclear materials and spent fuels [5]. The financial guarantee for decommissioning has to be submitted before commissioning activities as the requirement to apply for a commissioning license. The financial guarantee could be a deposit, time deposit at state banks, insurance, and other financial guarantees [5]. The amount of the fund is based on the prediction cost for decommissioning. Although more detailed requirements for decommissioning are available in the BAPETEN Regulation (BR) on decommissioning (BR 6 in 2011 and BR 4 in 2009), no article mentions how to predict and calculate the decommissioning cost.

Furthermore, the requirements and policies for radioactive waste management are stated in the GR on Radioactive Waste Management (GR 61/2013). The GR 61/2013 states two options to manage the disused sealed sources and spent fuel, return the waste to the manufactured country and then to the national radioactive waste facility [3]. There are no specific conditions when the waste producer can send their waste to the national radioactive waste or have to return their waste to the country of origin. Moreover, there is no obligation for the waste producer to submit any financial guarantee or insurance to ensure they can finance their waste disposal for radiation facilities, including a provision to have a contract or agreement with the importer to transport the waste to the manufacturer country. It may cause some cases where the producer of DSRS cannot afford to transport their waste to the waste management facility or the country of origin

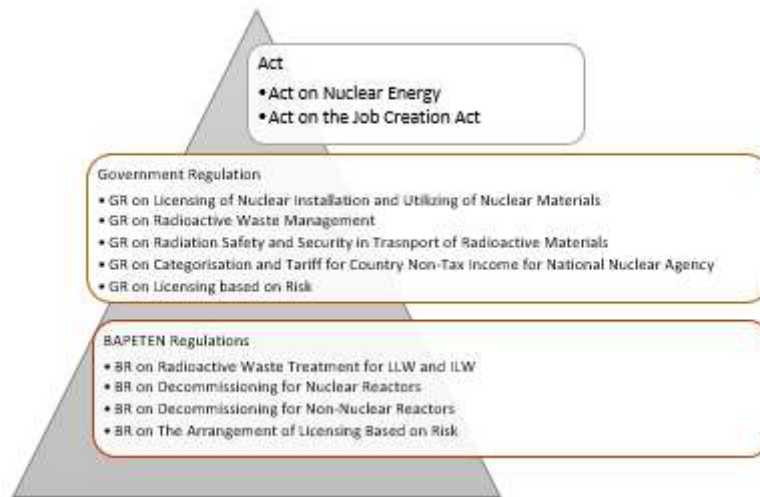


FIGURE 3. The hierarchy of regulations related to radioactive waste management and funding for waste and decommissioning in Indonesia

The funding mechanism for radioactive waste management in the CRWMS is based on the tariff that is stated in the country's non-tax income regulation. Government regulation No. 8 in 2019 on Categorization and Tariff for Country Non-Tax Income for National Nuclear Agency enacted a tariff for waste management sent to the national radioactive waste facility (CRWT). The amount of the tariff is set by the executing body or BATAN, which is available in table 1.

The mechanism calculation of the non-tax income for the country is regulated in Government Regulation Number 58 in 2020 on The Management of Non-Tax Income. In article 7, sub-article (3), it is mentioned that the planning for setting the tariff for non-tax income should be realistic, optimal and based on the regulations. The term "realistic" is an explanation that should consider the historical data, potential, assumptions, and related information that can be accounted for. Moreover, the term "optimal" is the best amount of non-tax income that can be achieved [6]. The tariff that is set for the CRWMS needs to consider the long-term treatment and storage that is facing future generations.

Based on Government Regulation Number 8 in 2019 on Categorization and Tariff for Country Income Non-Tax for Category National Nuclear Executing, the tariffs are set based on the waste characteristics, such as radioactivity, form, amount, and energy.

Table 1. Tariff for Radioactive Waste Management on The Government Regulation Number 8 in 2019 on Categorization and Tariff for Country Non-Tax Income for the Sector of The National Nuclear Executing Body [7]

No.	The Radioactive Waste Management	Measurement	Tariff (Rupiah or IDR)	Tariff (converted to USD)*
A.	Liquid waste-low and intermediate activity - Beta and Gamma Sources	per litre	5,000	0.34
B.	Semi-liquid (resin) low activity, Beta and Gamma sources.	per litre	75,000	5.17
C.	Low activity solid waste, Beta and Gamma source.			
	Flammable	per litre	2,500,000	172.17
	Compacted	per litre	1,750,000	120.52
	Inflammable and uncompactd	per litre	1,750,000	120.52
D.	Liquid radioactive waste-low activity, Alfa source	per litre	20,000	1.38
E.	Liquid radioactive waste-low activity, Alfa source	per 100 litre	1,750,000	120.52
F.	Radioactive waste activity > 6Ci	per 60 litre tank	9,000,000	619.81

No.	The Radioactive Waste Management	Measurement	Tariff (Rupiah or IDR)	Tariff (converted to USD)*
G.	Disused Radioactive Sources			
	Smoke detectors	per item	450,000	30.99
	Lightning rod	per item	1,000,000	68.87
	Disused sources Ir-192 half-life (T1/2) ≤ 150 days	per item	830,000	57.16
	Disused sources activity ≤ 0,1 Ci and half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	3,000,000	206.60
	Disused sources 0,1 Ci < A ≤ 1 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	4,500,000	309.91
	Disused sources 1 Ci < A ≤ 6 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	5,500,000	378.78
	Disused sources 6 Ci < A ≤ 1,000 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	6,750,000	464.86
	Disused sources 1,000 Ci < A ≤ 2,000 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	8,000,000	550.95
	Disused sources 2,000 Ci < A ≤ 3,000 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	8,500,000	585.38
	Disused sources 3,000 Ci < A ≤ 4,000 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	8,900,000	612.93
	Disused sources 4,000 Ci < A ≤ 5,000 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	10,000,000	688.68
	Disused sources 5,000 Ci < A ≤ 6,000 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	11,100,000	764.44
	Disused sources > 6,000 Ci with the half-life (T1/2) ≥ 150 days	per item	12,000,000	826.42
H.	Specific nuclear waste	per litre	42,000	2.89

Note: * the conversion is based on the currency on 29 April 2022, where 1 IDR = 0.000068 USD.

From table 1 can be concluded that the calculation of the set tariff is based on the half-life of the radionuclides and the form and type of waste, whether it is liquid, solid or disused sealed sources or nuclear materials. The tariffs are questioned whether it is considering the future cost or only considering the expenditure for handling the waste. The long-term management of the waste, which could be more than several decades, may cause problems for the future generation. On the other side, the governments want to increase the willingness of the users to send their waste to the national radioactive waste facility rather than keeping their radioactive waste in their facility without any treatment that could be dangerous for humans and the environment. However, this principle can increase the amount of waste in the CRWMS because the waste producer can dispose of the imported disused sealed sources in CRWMS. This dilemma should be tackled by ensuring the users have an agreement with the importer to facilitate waste management at the end of the utilization.

In 2022, the government reveals the issue of lack of user funding for their radioactive waste management. The government issued the BAPETEN regulation on the arrangement of licensing for risk basis activities for the nuclear energy sector. This regulation states that the users or licensees have to fulfil the commitment to manage their radioactive waste, which is proved by the financial guarantee to return their waste to the manufactured countries or transfer their waste to the national waste facility. Although there is no specific term and condition when the waste can be managed in the national radioactive waste facility, the government's financial requirement is a positive approach. However, how much money the user should hold for the financial guarantee is questioned. The specific guidelines for the calculation are not stated in the regulation. Based on the

regulation, the governments have to develop the financial guarantee calculation mechanism maximum in 2023 by coordinating with the Ministry of Finance [8]

Other Countries Funding Mechanism

The importance of the contracting party to have financial resources are stated in the Joint Convention. It ensures that the contracting party has financial resources to support the implementation of safety in the facility during the operation, decommissioning and closure/disposal at the end of the processes [9]. There are two sources of funding for radioactive waste management: the State and the waste producers. The funding mechanism is also different from one State to another depending on many factors. The factors include the strategy on nuclear energy, policy, option for disposal, the legislative background, and the framework of institutional [10]. The type and the category of waste may also influence the funding mechanism [1]. Therefore, there is no ideal way for transposing a model from one country to another to be exercised [[11] as cited in [10]].

In Australia, the cost for spent fuel and intermediate-level waste would be charged per ton or m³ for the waste disposal that needs to be paid by the waste producers [10]. It is similar to what is done in Indonesia. Furthermore, in Belgium, waste treatment and conditioning are financed by waste tariffs. There are contracts with the waste producers to support the funding for R&D activities. They categorize the financing into a long-term fund and the medium-term fund. While the long-term fund covers storing and disposing of costs, the intermediate-level term fund covers the participative process's cost and provides societal support. The basis for the long-term fund is waste volume and the waste category. The medium-term fund is based on the total capacity of the repository and the respective total quantities of waste intended to be disposed of; only the producer of waste that the waste exceeds 3% of the repository capacity needs to contribute to the medium-term fund. However, in Belgium, there is an insolvency fund (5% included in the cost paid by the producer of waste) that will cover the bankruptcy or insolvency of certain waste producers [10]. This insolvency fund is a good approach that can be considered to apply in Indonesia to tackle some cases that happened because of the producer of waste bankruptcy.

Bulgaria uses different approaches for funding mechanisms. Their waste management funds through the revenue of nuclear power, which are 7.5% of the electricity price for the decommissioning fund and 3% to waste management. The cost for waste management to their waste facility is based on the activity, half-life and/or volume of waste [10]. The approach in Bulgarian for the waste facility is similar to Indonesia, where the tariff is based on the characteristic of the waste. On the other hand, the Czech Republic requires the producer of waste from industrial and medical to pay a lump sum of US\$11,200 per waste package of Low-Level Waste (LLW) or Intermediate-Level Waste (ILW) [10]. There is no detailed explanation of whether it is also considering the waste's volume, activity, or half-life.

Learn from France, where the producers paid for the waste generated from industrial dan medical uses based on the tariff. However, for nuclear power plants, the producers should set aside US\$1.75/MW.h for waste management and decommissioning. Like France, in the United States of America, the disposal cost of spent fuel or High Level of Waste (HWL) has to pay fees into a fund by the producers and set a US\$1/MW.h fee in 2013 for the nuclear power plant [10]. Based on the national report of France, the sealed sources removed from service for long-term management have to return to the manufacturer, disposed or recycled. The financing uses the insurance system between users and suppliers or deposits of a bond with ANDRA. However, the financing for waste disposal from the nuclear fuel cycle is funded by the producer of waste [12].

Suppose we see the Republic of Korea, the tariff that the Korean Radioactive Waste Agency sets for the producers of LLW and ILW based on the volumes. The cost paid by the producer of waste deposits into the radioactive waste fund at the end of every month [10]. The sources in the Republic of Korea are mainly imported from other countries, the same as in Indonesia. They stated that the DSRS should return to the manufacturer countries. The domestic supplier or seller has to have a contract with the foreign manufacturer [13].

RESULT

The approach that the government of Indonesia has taken is mainly similar to other countries' mechanisms, which is the cost for disposal of Low-Level Waste (LLW) and Intermediate-Level Waste (ILW) is paid by the producers based on a fee that is set. However, the cost only considers the current handling and waste treatment price.

IAEA mentioned that the contribution plan for the fund consists of two components: how much money will be needed (its target value) and the fund contribution schedule [10]. The target value also has to consider money's future value and price escalation effects. The formula for the target value uses the discount cost in formula 1. Although setting these two components will require assumptions which could lead to significant uncertainty, this approach can give more reliable results on the future cost of waste management.

$$\text{Discounted Cost} = \text{Overnight Cost} \times \left[\frac{1 + \text{annual escalation rate (\%)}}{1 + \text{annual discount rate (\%)}} \right]^{\text{time(years)}} \quad (1) [10]$$

After determining the target fund, the contribution schedule must be set. If specifying the total waste to dispose of in the future is difficult to predict, establishing a consistent contribution schedule will be easier. The contribution will be the same as the facility's lifetime every year. The formula calculates the contribution schedule using the sinking fund factor (SFF) specified in formula 2.

$$SFF = \frac{r}{(1+r)^n - 1} \quad (2) [10]$$

Using these two components calculation, the fund can be a prepayment before the facility is started or over in a shorter period of the facility's lifetime. The funding mechanism in Indonesia needs to contribute to those two components, discounted cost and the contribution plan.

Learning from France, it is necessary to state clearly the obligation of the supplier responsible for the DSRS. France started the obligation for the supplier of sealed sources to be responsible for recovering the Disused Sealed Radioactive Sources (DSRS) if requested by the users. They also have the obligation for the holders of sealed sources to retrieve their possession of sealed sources after ten years unless they extend the authorization. The supplier of the sealed sources is also obliged to retrieve any sources that have been supplied. Suppose the original supplier has not been able to be identified, or there is no recycling possibility process. In that case, the retrieval can be done by any supplier and by ANDRA (National Agency for radioactive waste management) [12].

Indonesia can learn from other countries to state the requirement for the supplier to have a contract or agreement with the manufacturer country to ensure that the DSRS and Spent Fuel will not dispose of in Indonesia. Moreover, the calculation of the tariff needs to consider the money's future value and price escalation effect. The percentage for insolvency funds is also an approach that Indonesia can take. In addition, the regulation in Indonesia should clearly state the user's obligation to have a financial guarantee for decommissioning radiation facilities. Although the requirement for the financial guarantee for sealed source users is stated in the BAPETEN regulation in 2022, clear guidance for calculating the total cost is necessary to establish.

CONCLUSION

In conclusion, funding for decommissioning and disposal of radioactive waste is necessary to avoid the cases of abandoned facilities or radioactive waste. The calculation of this fund needs to consider the value of money in the future and the facility's lifespan. While the funding mechanism may vary from one country to another, Indonesia uses the tariff basis to fund the waste management that the waste producer should pay. This tariff is suspected of not considering the cost in the future that may burden the future generation. The absence of the obligation to the supplier to take responsibility for sending the DSRS back to the country of manufacture led the producer of waste lean to send the waste to the national waste management centre. It will increase the amount of waste to be managed in Indonesia. The regulation should state an explicit obligation for the supplier to ensure the process of transporting the DSRS to the manufacturer to tackle the problem. The clear statement that the imported DSRS has to be returned to the country of origin by the supplier should state in the regulation.

Moreover, the obligation for the funding for decommissioning and disposal of radiation facilities should be established. The calculation of the financial guarantee or insurance should consider the discounted cost and the contribution schedule, so the amount of funds paid by the producer of waste has anticipated the risk of inflation and future product price. Although, in 2022, Indonesia published the regulation that obligates the users to have a financial guarantee of waste disposal, the implementation needs more detailed regulations.

REFERENCES

- [1] BAPETEN, The Report for Nuclear Energy Practice Supervision in Indonesia in 2020. 2021, BAPETEN.
- [2] Indonesia, R.o., Updated Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia. 2021: Jakarta.
- [3] Syaeful, H., et al., Uranium Exploration, Deposit and Resources: The Key of Nuclear Power Plant Development Program in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. 2048(1): p. 012003.
- [4] Indonesia, T.G.o.t.R.o., National Report on Compliance to Joint Convention on The Safety of Spent Fuel Management and on The Safety of Radioactive Waste Management. 2017.
- [5] Indonesia, R.o., Licensing of Nuclear Installation and Utilizing of Nuclear Materials in No. 2 in 2014. 2014, Republic of Indonesia: Jakarta.
- [6] Indonesia, R.o., Government regulation Number 58 in 2020 on The Management of Non-Tax Income. 2020.
- [7] Indonesia, R.o., Government regulation Number 8 in 2019 on Categorization and Tariff for Country Non-Tax Income for Category National Nuclear Executing. 2019.
- [8] Indonesia, T.R.o., The BAPETEN Regulation on The Arrangement of Licensing for Risk Basis Activities for Nuclear Energy Sector (BAPETEN Regulation No. 1 in 2022. 2022.
- [9] Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546. 1997, IAEA: Vienna.

- [10] Costing Methods and Funding Schemes for Radioactive Waste Disposal Programmes. 2020, Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- [11] COMMISSION, E., Schemes for Financing Radioactive Waste Storage and Disposal. 1999, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- [12] Francaise, R., Sixth National Report on Compliance with the Joint Convention Obligations, in Joint Convention on the safety of the management of spent fuel and on the safety of the management of radioactive waste. 2017.
- [13] Korea, T.R.o., Korean Sixth National Report under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. 2017, Nuclear safety and Security Commission. p. 177.

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

1. I would like give you an updating regulation of the tariff of radioactive waste in Indonesia. The new one is Ministry of Finance Regulation no 210/2021. So you have to update.
2. Kesimpulan menyebut bahwa diduga tarif yang berlaku untuk limbah saat ini belum mempertimbangkan biaya “lain-lain” kedepannya. Mohon dapat dielaborasi lagi dasar apa yg melahirkan kesimpulan ini? Apakah ada data primer/sekunder dari pihak pengelola limbah di Indonesia terkait atas dasar apa penetapan tarif limbah yg saat ini berlaku?
3. Jika melihat dari presentasi ada konsep sinking fund factor (SFF) dengan rumus matematika yang sebagaimana tertulis. Koreksi jika saya salah, konsep SFF ini apakah sama dengan konsep PV (present value) dan FV (future value) dalam analisis ekonomi?
4. Dari latar belakang penulisan makalah, seberapa banyak dalam angka terkuantifikasi atau perkiraan limbah yang tidak tertangani karena masalah atau aspek keuangan?
5. Jika disebutkan pada contoh tadi beberapa hal yang melatarbelakangi limbah tidak tertangani adalah kebangkrutan atau tidak memiliki dana. Menurut Saudari, usulan dalam bentuk pendanaan yang seperti apa dan cocok berdasarkan tinjauan, analisis, dan praktik dari beberapa negara tadi?
6. Ketidakkampuan dari pemegang izin dalam melakukan pengelolaan limbah sesuai dengan karakteristik limbah yang dihasilkan, menurut Saudari apakah juga menunjukkan adanya ketidakefektifan badan pengawas dalam melakukan pengawasan? Atau memang semuanya karena ketidakmampuan pelaku usaha menjalankan tugas dan tanggungjawabnya?

Jawaban

1. Thank you very much for your information. I will check it and consider to update the reference of my study.
2. Dasar perhitungan PNBPN menggunakan PP 69 tahun 2020 tentang Tata Cara Penetapan Tarif Atas Jenis PNBPN, dimana karena sifatnya PNBPN lebih banyak mempertimbangkan kemampuan masyarakat atau dunia usaha (yang memperhatikan kesediaan dan kemampuan untuk membayar) dan juga mempertimbangkan biaya penyelenggaraan layanan (yang dalam PP tersebut belum menyinggung perhitungan biaya masa depan dimana sifat limbah radioaktif (DSRS) ini akan menjadi tanggungan generasi masa depan). Atas dasar tersebut saya mempertanyakan dalam makalah saya apakah tarif yang ditetapkan sudah mempertimbangkan nilai masa depan tersebut. Kalau dilihat dari tarif yang dikenakan dalam PNBPN sangat murah dan sehingga kemungkinan besar tidak memperhitungkan biaya pengelolaan limbah dimasa depan. Memang sebaiknya saya dapatkan perhitungan bagaimana PNBPN tersebut ditetapkan, namun saya tidak memiliki data tersebut. Dalam makalah saya memaparkan tarif yang telah ditetapkan dan mempertanyakan apakah sudah dihitung sesuai dengan yang disarankan IAEA atau tidak.
3. Iya hampir sama dengan prinsip seperti itu. Dimana target fund dihitung dengan rumus discounted cost (Net present value) yang kemudian dikalikan dengan sinking fund factor (SFF) untuk mendapatkan nilai pertahunnya.
4. Mohon maaf, saya tidak punya data perihal tersebut. Mungkin bisa digali dalam studi lebih lanjut tentang hal ini. Namun dalam pengawasan, BAPETEN akan memastikan bahwa zat radioaktif memiliki izin, jika tidak digunakan, tentu pemegang izin diminta untuk melimahkan. Jika tidak bisa dikembalikan ke negara asal, maka akan dipermudah pengiriman ke pusat pengelolaan limbah nasional. Karena tidak mungkin DSRS tersebut dibiarkan tanpa pengelolaan di fasilitas pengguna yang justru akan lebih berbahaya. Makalah saya lebih menekankan bagaimana menghindari jika terjadi kebangkrutan atau permasalahan finansial yang mungkin bisa dialami pelaku usaha, sedangkan jaminan finansial tidak dipersyaratkan di awal ataupun perjanjian kerjasama pengelolaan limbah dengan importir.
5. Berdasarkan aturan, limbah wajib dikelola dengan mentranfer ke pusat pengelolaan limbah nasional atau ke negara asal. Kasus yang sering terjadi, zat radioaktif terbungkus yang sudah tidak digunakan lagi harus dilimahkan ke pusat pengelolaan limbah karena tidak bisa dikembalikan ke negara asal, baik alasan biaya ke negara asal lebih mahal atau karena perusahaan negara asal sudah tutup. Ini yang saya tekankan perlunya aturan yang mewajibkan perjanjian antara importir dengan pengguna, dan distributor dengan pabrikan negara asal untuk memfasilitasi pengembalian sumber yang sudah tidak digunakan ke negara

asal.

6. Sebenarnya sudah tercantum di makalah, bahwa dalam peraturan sebaiknya tertulis jelas kewajiban pemegang izin pemanfaatan untuk memiliki perjanjian dengan importir begitu juga pemegang izin impor zat radioaktif memiliki perjanjian dengan pabrikan negara asal untuk memfasilitasi pengembalian limbah ke negara asal. Masalah utama yang saya angkat dalam makalah ini adalah pentingnya menegaskan bahwa zat radioaktif dari luar negeri wajib dikembalikan ke negara asal. Karena aturan di PP 61 tahun 2013 tidak menyebutkan secara tegas tentang ketentuan ini. Jika semua bisa dikembalikan dengan perjanjian yang jelas saat membeli zat radioaktif tersebut, tentu tidak ada masalah dalam pelimbahannya. Selain itu, untuk kegiatan yang berisiko tinggi tentu perlu mekanisme jaminan finansial di awal pelaku usaha mengajukan perizinan. Jaminan tersebut dihitung dengan mempertimbangkan future value yang sudah dijelaskan dalam makalah. Jaminan finansial, bisa berupa deposit, bank guarantee, atau asuransi. Hal ini sudah tertulis dalam Peraturan BAPETEN No. 1 tahun 2022, namun belum mengatur mekanismenya. Selain itu menurut saya, ketentuan tersebut seharusnya tertulis dalam tingkat peraturan yang lebih tinggi.
7. Menurut saya bisa dari keduanya. Dari sisi badan pengawas, kita dapat memperbaiki lagi peraturan kita dan pelaksanaannya. Dimana kita dapat mewajibkan adanya perjanjian pengembalian ke negara asal antara importir dan pengguna, dan dapat juga mewajibkan adanya jaminan finansial bahwa pemegang izin akan sanggup melakukan dekomisioning fasilitas radiasinya termasuk pengelolaan limbahnya (pengembalian ke negara asal untuk zat radioaktif yang diimpor). Ketidaktegasan aturan tentu akan membuat Pelaku usaha (pemegang izin) lalai atau tidak memiliki kemampuan dalam melakukan pengelolaan limbah radioaktifnya.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



SOURCE TERMS TRANSPORT BEHAVIOR DURING NORMAL OPERATION OF DIRECT-CYCLE GAS TURBINE HTR: CURRENT UNDERSTANDING AND REMAINING ISSUES

I Wayan Ngarayana^{1,2 a)}, Jepri Sutanto^{2,3 b)}

¹*Nuclear System Safety Engineering, Nagaoka University of Technology, Japan*

²*National Research and Innovation Agency, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia*

³*Nuclear Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia*

corresponding author: ananda052010@gmail.com

Abstract. Even though the inherent safety feature of HTGR makes core meltdown accidents impossible. However, due to the nature of fission reactors, source terms transport is still leaving several critical issues—particularly for direct-cycle gas turbine HTGR. That is because many movable and frequently accessed maintenance activities-related components are in the primary cooling boundaries, which are potentially exposed to highly radioactive source terms. Source terms retention onto those components may increase radiation risk. Because of that, many works are being conducted to improve these issues. To get a better perspective related to what works were done and remaining problems to be solved in the future, this study is summarizing several issues from the status of typical HTGR radionuclides transport studies, including specific issues of direct-cycle gas turbine HTGR. Although many phenomena have been well-understood and several source terms transport codes have been established, however, several topics are remaining to be answered, i.e., codes and models validation and verification, detailed transport, and retention mechanisms, including their effects related to several activities. Answering these topics is important to support designing, safe operation, and maintenance, as well as decommissioning preparation of future advanced HTGR.

Keywords: HTGR, direct-cycle, source terms, transport, retention, maintenance.

INTRODUCTION

As the part of Generation IV (Gen. IV) nuclear reactor family, high temperature gas reactor (HTGR) must fulfill four basic requirements; utilizing nuclear fuel sustainably with minimum nuclear waste, having a competitive lifecycle cost compared with the other power plant with low-level financial risk, excel in safety and reliability with very low core damage like hood without the need of an off-site emergency response, and unattractive for diversion or theft of weapons-usable materials [1]. Two types of HTGR have been determined as the basis for further development, namely, the prismatic and pebble bed HTGR based on core and fuel configurations [2]. While in terms of power conversion there are still some variations that exist. High-temperature gas-cooled reactor pebble-bed module (HTR-PM) is being built by China and is expected to be the first commercial HTGR in the world to use an indirect cycle by coupling primary helium-cooled cooling systems with secondary water-cooled cooling systems [3]. A power generator to generate electricity is carried out by using a steam turbine in the secondary cooling system. This indirect cycle power conversion has some advantages, i.e., the small potential for radioactive contamination in the secondary loop components, especially in the turbine blade; and the reliability guarantee of the well-known steam generator technology, which is important from the business perspective. On the other side, by using the derivative technology of high-temperature test engineering reactor (HTTR), Japan is proposing prismatic type direct-cycle HTGR that is called gas turbine high temperature reactor (GTHTR) [4]. The use of direct-cycle conversion may increase plant efficiency to a level that is impossible to be achieved by indirect cycles. However, gas turbine technology for closed cycle power plants is new and still under development. The direct cycle also leaves some issues, i.e., the impact of radionuclides plate-out and the radiation risk which may affect operation and maintenance activities. Operation and maintenance contribute to the second largest cost for the entire NPP lifetime [5] and give a huge

consequence to the overall plant reliability. Failure in the operation and maintenance activities will increase the plant lifetime cost and reduce the plant reliability which strongly induces profitability [6].

Source terms transport of HTGR is being studied widely. Various data have been accumulated both experimentally and theoretically to be used for models and code development of source terms transport both during normal and accident environments. During the normal condition, an operation and maintenance program which covers inspection, replacement, overhauling, etc. must be developed. This program must be optimized by considering many aspects, including the radioactivity level in each working space. To predict radioactivity level accurately, some aspects should be considered, i.e., type of source terms, transport mechanism, and their retention. This article is presented to review what has been done and what issues are still open to make it easier especially for newcomers to grab general source terms issues in HTGR and in directing what studies should be done in the future.

GENERAL CONSIDERATION OF HTGR RADIONUCLIDES CHARACTERISTIC

As a thermal reactor, HTGR has a similar source terms yield compared with the current in operation LWR except for a few things, i.e., caused by fuel enrichment, operating temperature, burnup, and activated radioactive materials. The use of TRISO fuel also gives a huge differentiation since it is designed to confine most of the source terms.

Source terms are categorized become gaseous (such as xenon, krypton, argon, oxygen, etc.) and non-gaseous nuclides. The non-gaseous nuclides can be classified to become volatile, semi-volatile, low-volatile, and non-volatile [7]. Some well-known volatile nuclides, such as iodine, cesium, bromine, rubidium, tellurium, antimony, and silver. Together with noble gaseous, volatile nuclides have a high possibility to move out from the fuel matrix. Molybdenum, rhodium, barium, palladium, and technetium are classified as semi-volatile nuclides because they have high levels of release but are chemically sensitive. Low-volatile nuclides such as strontium, yttrium, niobium, ruthenium, lanthanum, cerium, and europium have low but significant levels of release, especially for high burn-up fuel. While non-volatile nuclides such as zirconium, neodymium, and praseodymium have extremely low release probability.

Thanks to the unique TRISO fuel design which largely reduces source terms volatility. Typical TRISO fuel consists of four layers with three kinds of materials. These materials have a small diffusion coefficient for several source terms. Those layers from inside to outside are; the low-density pyrolytic carbon (PyC) layer, high-density PyC, silicon carbide (SiC), and the last is high-density PyC [8]. Low-density PyC has two main functions, as the barrier for gaseous materials by allowing the kernel to swell under irradiation, providing void volume, and protecting the next layer from the recoiling source terms. Inner high-density PyC forms an impenetrable barrier to gaseous nuclides and slows down the metallic nuclide's transport to the SiC layer. SiC layer is the main source terms barrier both for gaseous and metallic nuclides. And the outer layer consists of high-density PyC to give positive pressure into the SiC layer to hold internal gas pressure.

As shown in Table 1 [9], there are several interesting source terms in HTGR which are slightly different from typical LWR. These differences are due to the unique TRISO fuel, core design, inert helium coolant, structural materials, etc. The volatile nuclides, halogens, and alkali metals especially ^{131}I and ^{137}Cs cannot be excluded although some of them can be held by PyC, SiC, and/or graphite matrix. Semi-volatile nuclides such as ^{132}Te , are expected to react with the other nuclides, then held by the PyC/SiC layer. A part of noble gaseous, i.e., xenon can be held in the fuel matrix. But as a neutron absorber, ^{135}Xe transforms to be ^{136}Xe then ^{135}Cs by decaying β^- particle. Alkaline earths and lanthanides like ^{90}Sr and ^{140}La have extremely high retention characteristics with graphite, but they have significant levels of release with strong radiation decay characteristics. Strontium is also important because it is unstable at elevated temperatures and diffuses fastly through the TRISO layer. Actinides are completely retained on the core without a small possibility to go through the coolant circuit [9]. However, actinides can be activated or split and produce several types of nuclides during high burnup. This condition is even more serious if the actinides are not located inside the fuel kernel. Although has a small fission yield, noble metals like silver are important because of some reasons. Silver cannot be retained by TRISO layers and graphite matrix. At elevated temperatures, silver does not have any delaying mechanism which causes it to be released easily [10]. Even though the silver transport mechanism has been investigated for several decades, its character has not been well understood [11]. The silver study is important because it may be absorbed deeply in the structural materials especially in the turbine blades [10]. Silver can be formed as ^{109}Ag and ^{111}Ag with fission yields of 0.028% and 0.017% respectively [10]. ^{111}Ag only produces low energy β^- emission with a short half-life. However, ^{109}Ag has a high cross-section that makes it easy to be transformed become $^{110\text{m}}\text{Ag}$. $^{110\text{m}}\text{Ag}$ has about 250 days of half-life and produces high-energy γ radiation. Inventory of $^{110\text{m}}\text{Ag}$ increases in line with the burnup and fraction of plutonium [10].

Table 1. Interesting nuclides of HTGR

Elements	Key nuclide	Form infuel	Principal in-core behavior	Principal ex-core behavior
Tritium	^3H	Element (gas)	Permeates intact SiC; sorbs on core graphite	Permeates through heat exchangers
Activated from H element impurity, the decay of ^3He , ^6Li , ^7Li , and ^{10}B , with 12.32 years half-life and 0.018 MeV β^- radiation				
Noble gases	^{133}Xe	Element (gas)	Retained by PyC/SiC	Removed by the helium purification system
Fission yield 0.00256%, with 5.2 days half-life and 0.133 MeV β^- radiation and producing ^{133}Cs				
Halogens	^{131}I	Element (gas)	Retained by PyC/SiC	Deposits on colder metals
Fission yield 2.8336%, with 8.02 days half-life and 0.334 MeV β^- (7.27%), 0.606 MeV β^- (89.9%), 0.364 MeV γ (81.7%) radiation				
Alkali metals	^{137}Cs	Oxide element	Retained by SiC; some matrix/graphite retention	Deposits on metals/dust
Fission yield 6.0899%, with 30.17 years half-life and 0.512 MeV β^- (94.6%), 0.174 MeV β^- (85.1%), 0.662 MeV γ (85.1%) radiation				
Tellurium group	^{132}Te	Complex	Retained by PyC/SiC	Deposits on metals/dust
Fission yield 1.5349%, with 3.204 days half-life and 0.517 MeV β^- radiation				
Alkaline earths	^{90}Sr	Oxide-carbide	High matrix/graphite retention	Deposits on metals/dust
Fission yield 5.7518%, with 28.9 years half-life and 0.546 MeV β^- radiation				
Noble metals	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	Element	Permeates intact SiC	Deposits on metals
Activated from ^{109}Ag , with 249.95 days half-life, and 2.892 MeV β^- (98.64%), 0.888 MeV γ (1.36%) radiation				
Lanthanides	^{140}La	Oxide	High matrix/graphite retention	Deposits on metals/dust
Fission yield 0.00523%, with 1.678 days half-life and 3.762 MeV β^- radiation-producing ^{140}Ce				
Actinides	^{239}Pu	Oxide-carbide	Quantitative matrix/graphite retention	Retained in core
Activated from ^{238}U with fissile characteristic				

The presence of impurities in the core of HTGR cannot be ruled out. There are various kinds of impurities, such as hydrogen, lithium, and boron, including such kinds of actinides. Impurities in graphite structural materials are the most crucial. Although only less than 0.1 ppm, natural uranium, and thorium impurities exist in graphite structural materials. Together with ^3He , and hydrogen from water vapor, lithium and boron impurities have the probability to produce long-life ^3H [12]. Although has low energy β^- emission, ^3H can be released out of the plant and/or accumulated in some components [13]–[17]. Fe can be activated to become ^{60}Co which has a long half-life and emits high γ energy. Air and water vapor ingress during refueling may happen and increase the amount of impurity, particularly Ni and O that can be activated to become a long-life ^{14}C . Fortunately, ^{60}Co and ^{14}C have a high retention probability onto graphite structures. It is just relatively hard to get the silver impurity information from the available industrial nuclear grade graphite. However, from graphite used in the RBMK reactor, silver impurity is about 0.003 ppm [18]. Alabama industry reported the silver impurity from their nuclear graphite production is less than 0.02 ppm [19]. Nuclear grade graphite is usually produced from hydrocarbon, including coal and petroleum coke. The silver content in hydrocarbons is less than 0.10 ppm with an average content of around 0.056 ppm. This value is more or less like the silver content of graphite used for the RBMK reactor. If the same raw material and process are also used for graphite production, then the silver content in those products is around 0.03 - 0.02 ppm.

Even though low-volatile and non-volatile nuclides including long-life ^{14}C have a high retention probability, they still can contaminate primary cooling boundaries as dust. German test Pebble bed HTGR, AVR with 46 MWth power produced about 5 kg dust per year with specific activities were 100 GBq/kg of ^{137}Cs , 30 GBq/kg of $^{110\text{m}}\text{Ag}$, 400-2200 GBq/kg of ^{90}Sr , and 1-5 GBq/kg of ^{60}Co [20]. Prototype of Japanese prismatic HTGR, HTTR with 30 MWth produces about 1 kg of dust [21]. Dust production may increase in line with the power of the reactor. Generally, Pebble bed HTGR produces more dust due to mechanical friction between the fuel during online refueling compared with Prismatic HTGR [13]. Dust transport becomes one of the biggest open issues on the HTGR source in terms of transport modeling [22].

SOURCE TERMS TRANSPORT MODELLING

Source terms transport modeling for HTGR is like the LWR that is started by source terms inventory estimation, volatility prediction, and their possibility to be retained onto structural materials. Nevertheless, source terms modeling is difficult due to the many uncertainty factors. As can be illustrated by Fig. 1 [9], both source terms production from the fuel and activated impurities must be estimated. The next challenge is to predict source terms that may successfully penetrate through core structures and then circulated in the primary

cooling system. Some of the source terms can be purified by the helium purification system, however, the rest may retain along with the primary cooling system by following various mechanisms.

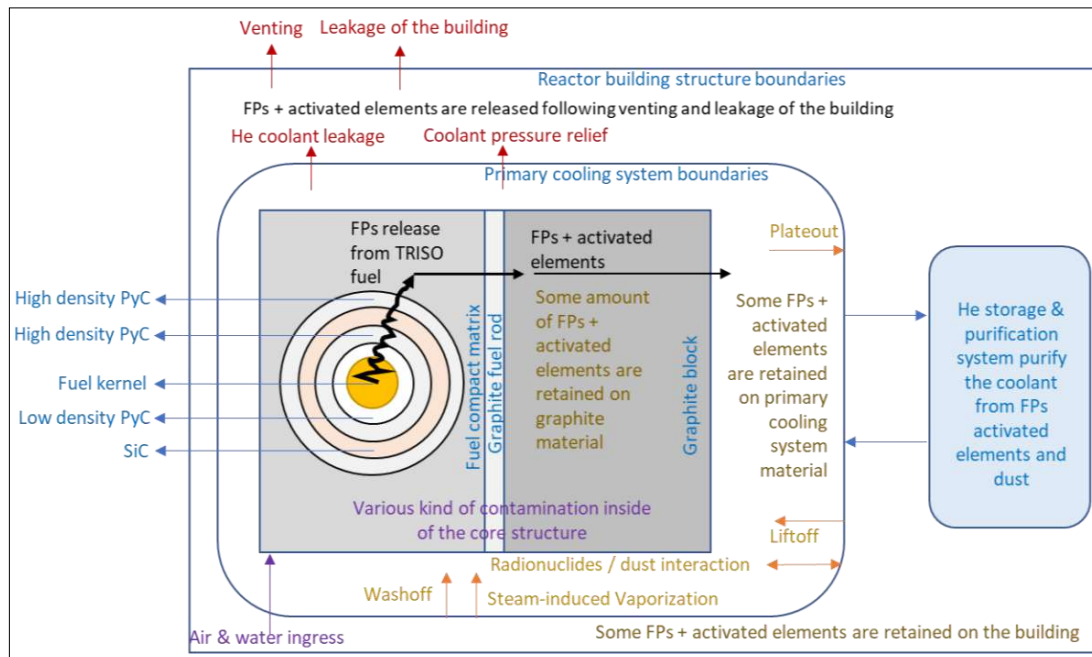


FIGURE. 1 Radionuclides release barriers of Prismatic HTGR.

Bateman equation which consists of source terms generation from the fission reaction, inventory changing due to radioactive decay, and activation models is generally used to predict source terms inventory [7]. By knowing neutron flux, nuclides cross-section, fission yield, the concentration of each nuclide, radioactive decay constant, etc., then the population of each nuclide can be estimated. Source terms inventory modeling has been well-studied for various kinds of reactors. Codes for this purpose also have been well validated and verified especially for LWR [23].

As the main confinement, TRISO plays a vital role in keeping source terms from escaping. However, a small part of it still can be released through various mechanisms. The first possibility is due to the defected TRISO. In some cases, kernel migration or SiC corrosion may occur and increases the fuel pressure failure. Although by assuming without production defect, several source terms still may release, i.e., following source terms recoil, diffusion, surface sorption, and mass transfer mechanisms [15]. There are 2 types of models are being used to describe these release mechanisms, namely the diffusion model, and the molecular vapor transport release model [10]. Diffusion models follow the phenomenon as explained by Fick's laws. In simple terms, these laws explain that a molecule will move from regions with high to lower concentrations. So, in this case, the fuel kernel is considered to have a high source terms concentration which causes them to diffuse through boundaries. On the other hand, the molecular vapor transport release model is only used to predict the radionuclides released through the nano-tube failure of the SiC layer due to the pressure differences between inside and outside. This is considered by using several parameters, i.e., sizes of nano-tube failure, molecule, gas pressure, flow velocities, and temperature. Source terms distribution prediction onto primary cooling boundaries is dependent on various complicated physicochemical phenomena [7]. Noble gas like Xe and Kr are chemically inert and circulate freely around the cooling circuit. However noble gases still could be retained onto the structural materials through the sorption mechanism which is strongly influenced by environment temperature, pressure, and absorber materials. This sorption mechanism is crucial for the coolant purification system. Other kinds of nuclides may not move freely as a single element, but transform becomes a compound, i.e., CsI, oxides, hydras, molybdates, zirconates, and urيناتes of Cs, Ba, St, etc. High-temperature gradients on each part of the primary cooling system are very influential in the compounds forming and decomposing processes, which affects volatility. Unfortunately, the volatility of the high-temperature thermodynamic parameters is still not well understood [7]. The nuclides are modeled in the form of aerosol to predict how much of them will be retained on the cooling circuit components. Using this model, vaporized nuclides are assumed to condense and retained as aerosol particles by following several mechanisms such as chemical reaction, condensation on the structure surfaces, agglomeration by sedimentation and turbulence, deposition through thermophoresis, diffusiophoresis, electrophoresis, sedimentation, flow geometry, turbulence, and remobilization of deposits due to re-vaporization [7].

As mentioned by [22], some codes have been developed based on the above considerations to predict source terms transport in both prismatic and pebble bed types HTGR. Some codes that are devoted specifically to Prismatic HTGR such as PARFUME and PISA to calculate fuel performance, SURVEY to predict both fuel performance and gas release from the core, and SORS can be used to calculate fuel performance and gas as well as metal release, and PADLOC to calculate plate-out distribution. Unfortunately, although many codes have

shown considerable satisfaction, those codes are not yet fully validated to fulfill the standards requirement (NQA-1- 2012, NRC Reg. Guide 1.203, etc.) [23]. There is still wide uncertainty between the calculation and the experimental results. Although some of the validation results show a small ratio between calculation and experimental, most of them still show a ratio even greater than 10. This huge uncertainty indicates that there are still several problems. Those problems may arise from the basic phenomena consideration, assumptions, or lack of experimental data used to carry out validation and verification. That means, more effort to validate, verify, and continual improvement of the existing models is urgently required.

DIRECT-CYCLE HTR

Although 2 types of HTGR according to their core configuration have been established, there is no agreement related to the cooling system and power conversion. This leaves many variations on the HTGR design. One of the most promising designs is GTHTR300. GTHTR300 is designed by utilizing the knowledge obtained from HTR. The pre-application basic design of GTHTR300 was completed by JAEA together with industrial partners such as Mitsubishi Heavy Industry, Fuji Electric, Nuclear Fuel Industries, and others in 2003 [4]. GTHTR300 development is ongoing to promote “Japan Energy Vision 2100” which will begin with the use of nuclear energy to supply electricity, and heat, including the hydrogen’s needs for transportation, residential and industrial sectors using the GTHTR300 variant called GTHTR300 Cogeneration (GTHTR300C) [24], [25].

GTHTR300C is designed as the direct cycle gas turbine system to archive higher energy conversion efficiency compared with the indirect cycle system. GTHTR300C could archive energy efficiency of around 50% with > 90% availability [24]. To achieve such performance, the gas turbine module is placed next to the intermediate heat exchanger (IHX) for the cogeneration module and then coupled with the heat exchanger (HTX) module as a primary cooling system unit of the reactor as shown in Fig.2. As a module with several movable components, the gas turbine has a high degradation probability which requires more frequent inspection and maintenance activities. Even though it has a lower probability, the helical tube bundle from the IHX and HTX modules also requires some attention through inspection and maintenance because of its vital role in the heat transfer mechanism in the high-temperature environment. The next problem arises because most of the inspection and maintenance activities cannot be carried out remotely. To ensure the worker’s safety, several factors must be taken as part of inspection and maintenance strategy preparation, such as how long the workers can stay in that environment, whether there is a mechanism that can reduce radiation exposure to extend the working time limit, the possibility of the retention of the radioactive particle and accumulate the radiation dose, etc.

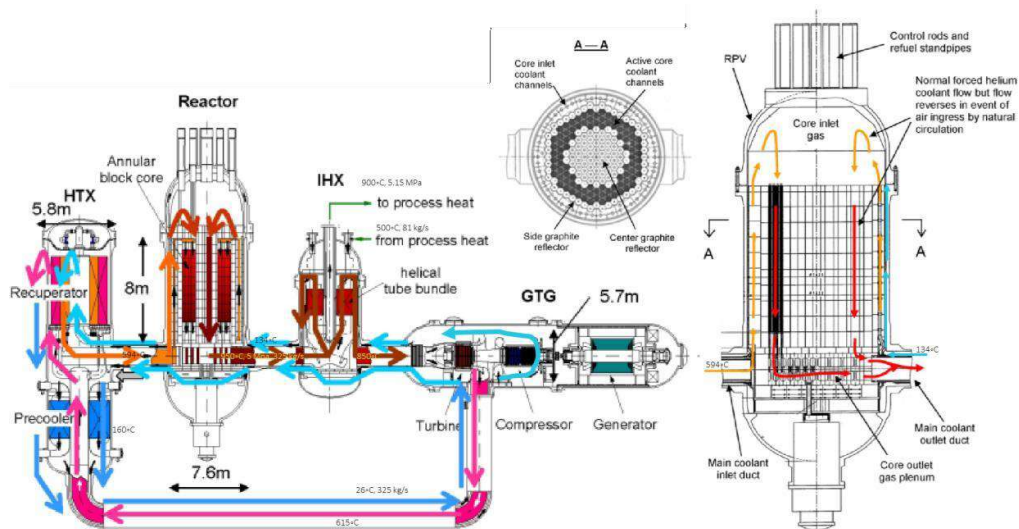


FIGURE. 2 Schematic design of GTHTR300C

GTHTR300C is designed to use UO_2 fuel with around 14.5% enrichment. Each fuel kernel is coated by the TRISO layer before being placed in a graphite fuel compact with about 29 vol% packing fractions. Several fuel compacts are then arranged into a fuel rod before being incorporated into a prismatic fuel element. Each fuel element has 57 holes as a place for fuel rods as well as coolant holes. As the active core, 90 prismatic fuel elements are placed between the inner and outer graphite reflectors which are arranged in 8 layers vertically. A refueling technique called “sandwich shuffling” is implemented by replacing one layer for each of the two old axial fuel blocks with new ones and moving the remaining blocks of fuel blocks are shifted every time the refueling process is carried out for optimizing the fuel burnup efficiency. By using this technique, the average burnup can be achieved at around 120 GWd/t, which is much higher than the current LWR. More detail of the GTHTR300C core configuration and parameters as produced from [26] can be seen in Table 2.

Table 2 GTHTR300C core specification

	Power plant baseline design 850°C	Power plant growth design 950°C	H ₂ cogeneration plant design 950°C
Core type	Prismatic annular core		
Reactor power	600 MWth		
Fuel particle	TRISO UO ₂		
Fuel block design	Pin-in-block		
Reactor pressure vessel	SA533/508		
Refueling method	2-batch axial shuffling		
Core physics design			
Fuel columns	90		
Inner reflector columns	73		
Outer reflector columns	48		
Core height	8.4 m		
Average power density	5.4 W/cm ³		
Average burnup	120 GWd/t		
Fuel block height/across flat	1050/410 mm		
Fuel rod per block	57		
Fuel rod diameter	26 mm		
Fuel rod length	1000 mm		
Coolant channel diameter	39 mm		
Core enrichment count	8	7	
Average Enrichment	14.3 %	14.5%	
Burnable poison (BP) count	6	5	
BP pin diameter	4.8 mm	3.6 mm	
Refueling interval	24 months	18 months	
Max. fuel power peak factor	1.16	1.12	
Core thermal-hydraulic design			
Coolant (helium) flow rate	439 kg/s	403 kg/s	322 kg/s
Coolant inlet temperature	587 °C	663 °C	594 °C
Coolant outlet temperature	850 °C	950 °C	950 °C
Coolant inlet pressure	7.0 MPa	6.7 MPa	5.1 MPa
Core coolant pressure drop	58 kPa	50 kPa	35 kPa
Min. fuel coolant flow fraction	0.82	0.82	0.82
Max. fuel temperature (nominal)	1108 °C	1206 °C	1244 °C
Max fuel temperature (LOCA)	1546 °C	1564 °C	1535 °C

GTHTR300C has a complicated coolant flow design to archive high energy efficiency and keep the working environment of each part below the safety limit. For the hydrogen production cogeneration plant, the average fuel temperature is predicted around 1244°C during normal operation and will increase to 1535°C during accident conditions. The coolant temperature goes out from the core with 950°C temperature, 5 MPa pressure, and 325 kg/s flow rate into IHX. Some of the heat will be transferred into the hydrogen plant through helical tube bundles than goes out and come into the turbine at 850°C temperature. From the turbine, the coolant temperature then becomes 615°C before entering the inner part of the precooler that is cooled down by water then the recuperator that is cooled down by helium from RPV canals on the HTX. Output coolant temperature from recuperator is 160°C then cooled down again by precooler into only 26°C. Due to the use of the coaxial double pipe, coolant from HTX then comes back to the outer part of GTG and IHX to cool down the GTG and IHX vessel by following the outside part of the pipe channel [27]. Using this mechanism, the coolant temperature rises to 134°C before entering the RPV through channels. After that, the coolant goes into the recuperator in the HTX to increase its temperature become around 594°C before entering the core reactor again.

Table 3 Main materials candidate of GTHTR300C

Material		Components	Service condition		Maximum allowable temperature
Material	Product form		Design temperature	Design pressure	
IG-11	Graphite block	Core graphite structure	~1400°C	-	~2500°C
21/4Cr-1Mo steel	Plate, forging, pipe	Reactor pressure vessel	440°C	4.8 MPa	550°C
		Shells of IHX, primary pressurized water cooler, etc.	430°C	4.8 MPa	
		Outside pipe of concentric double pipe	430°C	4.8 MPa	
HastelloyXR	Tube, plate, forging	Intermediate heat exchanger heat transfer tubes	955°C	0.29 MPa	1000°C
		Intermediate heat exchanger hot header	940°C	0.29 MPa	650°C
SUS321	Tube	Primary pressurized water cooler heat transfer tubes	380°C	4.8 MPa	650°C
SUS316	Bar	Core restraint mechanism	450°C	-	650°C
1Cr-0.5Mo-V steel	Forging	Core restraint mechanism	450°C	-	450°C
Alloy800H	Plate	Control rod sleeves	890°C	-	900°C

GTHTR300C is designed by using several materials as shown in Table 3 [4]. Japanese HTTR uses fine purified grade graphite IG-110 with ridiculously small amounts of impurities. However, to reduce the cost, GTHTR300C is designed to use un-purified grade IG-11 [28]. The maximum temperature of the reactor pressure vessel including some parts such as IHX is predicted around 400°C or less which makes cheap 21/4Cr-1Mo steel can be used. Some other parts with a low-temperature operation environment are also using low-cost materials such as SUS321, SUS316, and 1Cr-0.5Mo-V steel. But special material Hastelloy XR is devoted especially for 800-950°C working temperature environments such as the inner side of the coaxial double pipe, hot header, the helical tube of IHX, etc. Material and thermohydraulic differences contribute significantly to the physicochemical transport of each nuclide. These are basic information that must be possessed to model the source terms transport accurately.

FUTURE STUDY DIRECTION

There is still a large gap between the availability of experimental data and theory to support HTGR source terms transport modeling, especially for GTHTR300C practical analysis. A few radionuclides transport studies specific to GTHTR300 have been done by JAEA. The amount of source terms plate-out during 32 operation cycles (1 cycle = 1.5 years) and 20 days after the reactor shutdown was predicted to be about 7180 GBq of ^{137}Cs and 11.3 GBq of $^{110\text{m}}\text{Ag}$ [29]. The high amount of the ^{137}Cs plate-out was predicted at the low temperature such as around the compressor. On the other side, around 32.8% of $^{110\text{m}}\text{Ag}$ may be plated out in the gas turbine which is working in a high-temperature environment. Furthermore, this study is verified by [25] by using DELIGHT and CITATION codes which have been validated based on HTTR design. The comparison of both studies shows hugely different results. The study of [25] shows the radiation dose prediction around 3.5 to 7.3 times lower than the [29] due to the lower predicted temperature. Apart from possible improvements that have been made, as mentioned by [30], there are uncertainty issues with the currently available HTGR source terms codes.

There are several important nuclides like have been discussed in Section 2, but only some of them are already well-understood. The transport behavior of cesium and iodine through the TRISO layer has been studied by many researchers, i.e., by [31]–[34]. Codes to predict the transport behavior of cesium and iodine by using diffusion theory for some materials have been well-validated. As one of the important nuclides, several studies show that the silver transport mechanism is not suitable to be modeled through diffusion theory. This is indicated by the difficulty to find the appropriate silver diffusion coefficient which can provide accurate results. Although some articles show that the new silver diffusion coefficient has overcome this problem, however, silver microscopic transport process and how it should be modeled is still debatable. Experimental data for some source terms, i.e., tellurium, strontium, and lanthanide are also limited. Likewise, source terms volatility changing due to compounds with other nuclides are still unknown. Therefore, the development of new experimental methods is needed to improve existing models.

Core material impurities also contribute to modeling uncertainty. Large HTGR like GTHTR300 contain about 555 tons of graphite [35]. As discussed in the previous section, there are approximately 0.11 kg silver, 5.32 kg iron,

0.11 kg cobalt, 0.033 kg Lithium, 1.61 kg boron, and many more impurities on the reactor core may significantly contribute to the source terms inventory. Actinides impurities outside of the TRISO layer are

possibly a critical issue considering that the generated source terms may release directly without a confinement mechanism. More quantitative data on this area to support the model improvement is also needed.

Radionuclides plate-out data from LWR has been deeply studied although there are still some remaining issues [36]. But the data that can explain the radionuclides retention phenomenon in LWR cannot directly be used for HTGR due to several reasons. Elevated temperature retention data for LWR are conditioned on certain environments with water vapor, while in the HTGR the presence of water vapor is negligible. LWR also has no carbon dust like happens in HTGR. In addition, the material difference affects the different sorption coefficients that make an experimental study to obtain data for the specific material also important. By seeing indications of silver plate-out which might have a serious impact on radioactivity and reliability of components that work at high temperatures, especially on the turbine blades, JAEA has conducted several studies as mentioned in their irregular report [4]. Unfortunately, there are no detailed publications regarding the results of these studies.

Table 4 Issues mapping

	Scope	Physical & chemical process	Current approach	Note
	Radionuclides generation	Nuclear fission Radioactive decay Neutron capture	Bateman equation	Widely study has been done on this area, especially for LWR. Validation & verification is still needed to focus on the microanalysis level. Diffusion coefficient study for less famous nuclides such as silver, strontium, tellurium, etc. is limited. A new model to solve silver transport issues are maybe needed. The uncertainty caused by impurities outside the SiC layer also should be considered.
	Radionuclides transport through TRISO layer	Reduction-oxidation (redox) reaction Adsorption-desorption Evaporation Gas diffusion TRISO fuel defects	Diffusion theory Molecular vapor transport Fission product recoil Nano-tube failure	
	Radionuclides transport through graphite structure	Chemical reaction Adsorption-desorption Evaporation Gas diffusion Generation of dust Dust-radionuclides interaction Thermohydraulic effects	Diffusion theory Molecular vapor transport	Limited availability of physical-chemical transport mechanisms in this area. The the dynamic effect of the chemical bond changing caused by decay/neutron capture effects is one of the uncertainties sources. Impurities possibly also, become a source of prediction uncertainty. Almost all the available codes are not yet fully validated to fulfill the standards requirement
	Retention mechanism on the cooling surface area	Chemical reaction Vaporation Chemisorption Condensation Nucleation Agglomeration Deposition Dust-radionuclides interaction	Aerosol model	Each material has its characteristics for radionuclides retention and dust decomposition. Experimental studies to obtain data and understand the detailed mechanism regarding this matter is still very limited. Understanding the detailed process physically and chemically including uncertainty analysis is required to improve the transport model.

CONCLUSION

The radionuclides release probability around the primary cooling system of HTGR is much smaller compared with LWR. However, this topic cannot be ruled out, especially for the direct-cycle GTHTR caused by radionuclides retention probability on the highly accessible components for operation and maintenance activities. Source terms transport may increase the worker's radiation exposure and may also affect structural

materials reliability. Radionuclide transport behavior study has been conducted widely, but there are still many questionable areas. Validation and verification by calculating the existence of core structures and fuel impurities to estimate the source terms inventory precisely are needed. The mechanism for nuclides such as silver, tellurium, alkaline, and lanthanides in both the TRISO layer and structural materials is still debatable. The retention mechanism and its effects especially in specific materials such as Hastelloy XR are also not well understood. Understanding this area is important to predict the source terms retention and their exposure in a specific area, as well as a basis, to determine the right method for the contaminant removal.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors give many thanks to the members of HTTR who guided the author for several months to learn HTGR technology directly from its real prototype, and also thanks to ITB, and Research Organization for Nuclear Energy – BRIN.

REFERENCES

- [1] I. Pioro, Ed., *Handbook of Generation IV Nuclear Reactors*, Woodhead P. Duxford, UK: Elsevier, 2016.
- [2] OECD/NEA, “Technology Roadmap Update for Generation IV Nuclear Energy Systems: Preparing Today for Tomorrow’s Energy Needs,” 2014.
- [3] Z. Zhang et al., “The Shandong Shidao Bay 200 MW e High-Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-Bed Module (HTR-PM) Demonstration Power Plant: An Engineering and Technological Innovation,” *Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 112–118, Mar. 2016.
- [4] T. Nishihara, X. Yan, Y. Tachibana, and T. Shibata, “Excellent Feature of Japanese HTGR Technologies,” Tokai-mura, 2018.
- [5] C. Mari, “The costs of generating electricity and the competitiveness of nuclear power,” *Prog. Nucl. Energy*, vol. 73, pp. 153–161, May 2014.
- [6] I Wayan Ngarayana, T.-M.-D. Do, K. Murakami, and M. Suzuki, “Nuclear Power Plant Maintenance Optimisation: Models, Methods & Strategies,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1198, p. 022005, Apr. 2019.
- [7] C. Outline, “Fission Product Release and Transport,” in *Nuclear Safety in Light Water Reactors*, 1st editio., B. R. Sehgal, Ed. San Diego: Elsevier, 2012, pp. 425–517.
- [8] P. A. Demkowicz, B. Liu, and J. D. Hunn, “Coated particle fuel: Historical perspectives and current progress,” *J. Nucl. Mater.*, vol. 515, pp. 434–450, 2019.
- [9] Idaho National Laboratory (INL), “HTGR Mechanistic Source Terms White Paper,” Idaho, 2010.
- [10] J. J. Van Der Merwe, “Modelling Silver Transport in Spherical HTR Fuel,” University of Pretoria, 2009.
- [11] I. J. Van Rooyen, M. L. Dunzik-Gougar, and P. M. Van Rooyen, “Silver (Ag) transport mechanisms in TRISO coated particles: A critical review,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 271, pp. 180–188, 2014.
- [12] J. Li, M. Lou Dunzik-gouga, and J. Wang, “Annals of Nuclear Energy Recent advances in the treatment of irradiated graphite : A review,” *Ann. Nucl. Energy*, vol. 110, pp. 140–147, 2017.
- [13] M. P. Kissane, “A review of radionuclide behaviour in the primary system of a very-high-temperature reactor,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 239, no. 12, pp. 3076–3091, 2009.
- [14] M. Y. Park and E. S. Kim, “Analysis of tritium behaviors on VHTR and forward osmosis integration system,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 338, no. August 2017, pp. 34–51, 2018.
- [15] International Atomic Energy Agency (IAEA) - NS-R-1, “Advances in High Temperature Gas Cooled Reactor Fuel Technology,” Vienna, 2012.
- [16] I. N. Laboratory, “Key Design Requirements for the High Temperature Gas- cooled Reactor Nuclear Heat Supply System,” 2010.
- [17] International Atomic Energy Agency (IAEA), “Instrumentation and Control Systems for Advanced Small Modular Reactors,” IAEA, Vienna, 2017.
- [18] D. Ancius, D. Ridikas, V. Remeikis, A. Plukis, R. Plukiene, and M. Cometto, “Evaluation of the activity of irradiated graphite in the Ignalina Nuclear Power Plant RBMK-1500 reactor,” *Nukleonika*, vol. 50, no. 3, pp. 113–120, 2005.
- [19] Alabama Graphite Corp., “Alabama Graphite Corp. Achieves 99.99997% Graphite Purity via Proprietary, Environmentally Responsible and Sustainable Purification Process; Exceeds Nuclear Graphite Purity Requirements,” Alabama Graphite Corp., 2017. [Online]. Available: <https://www.globenewswire.com/news-release/2017/02/17/1095130/0/en/Alabama-Graphite-Corp-Achieves-99-99997-Graphite-Purity-via-Proprietary-Environmentally-Responsible-and-Sustainable-Purification-Process-Exceeds-Nuclear-Graphite-Purity-Requirement.html>.
- [20] R. Moormann, “Fission Product Transport and Source Terms in HTRs: Experience from AVR Pebble Bed Reactor,” *Sci. Technol. Nucl. Install.*, vol. 2008, pp. 1–14, 2008.
- [21] L. M. Carter, “A Research Program for Fission Product / Dust Transport in HTGR ’ s FINAL REPORT- NEUP 2982 A Research Program for Fission Product / Dust Transport in HTGR ’ s,” no. 11, 2016.
- [22] H. Jeong and S. H. Chang, “Development of a method of evaluating an inventory of fission products for a pebble bed reactor,” *Ann. Nucl. Energy*, vol. 35, no. 12, pp. 2161–2171, 2008.

- [23] D. L. Hanson, "Validation status of design methods for predicting source terms," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 329, no. September 2017, pp. 60–72, 2018.
- [24] M. N. and S. F. T. Takeda, N. Yanagawa, "Numerical Analysis on Control Method of Natural Circulation By Injection of Helium Gas," in *Proceedings of the HTR 2014*, 2014.
- [25] K. Kunitomi, X. Yan, T. Nishihara, N. Sakaba, and T. Mouri, "JAEA's VHTR for Hydrogen And Electricity Cogeneration: GTHTTR300C," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 39, no. 1, pp. 9–20, Feb. 2007.
- [26] S. Katanishi and K. Kunitomi, "Safety evaluation on the depressurization accident in the gas turbine high temperature reactor (GTHTTR300)," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 237, no. 12–13, pp. 1372–1380, 2007.
- [27] M. Nakano et al., "Core design and safety analyses of 600 MWt, 950 °c high temperature gas-cooled reactor," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 271, pp. 560–563, 2014.
- [28] Y. Fukaya, M. Goto, and T. Nishihara, "Burn-up characteristics and criticality effect of impurities in the graphite structure of a commercial-scale prismatic HTGR," *Nucl. Eng. Des.*, vol. 326, no. October 2017, pp. 108–113, 2018.
- [29] K. Kosugiyama, Shinichi, Takei, Masanobu, Takizuka, Takakazu, Takada, Shoji, Yan, Xing, & Kunitomi, "Maintenance methods and procedures for the power conversion system of the gas turbine high temperature reactor 300 (GTHTTR300)," *Nippon Genshiryoku Gakkai Wabun Ronbunshi*, vol. 2, no. 4, pp. 532–545, 2003.
- [30] D. Hanson and L. Sandell, "A Review of Radionuclide Release from HTGR Cores During Normal Operation," *Electr. Power Res. Institute, Rep.*, vol. 3, no. 3, 2004.
- [31] A. Londono-Hurtado, A. J. Heim, S. Kim, I. Szlufarska, and D. Morgan, "Cs and Ag co-incorporation in cubic silicon carbide," *J. Nucl. Mater.*, vol. 439, no. 1–3, pp. 65–71, 2013.
- [32] C. Li and C. Fang, "First-principle studies of radioactive fission productions of Cs/Sr/Ag/I adsorption on silicon carbide in HTGR," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 100, pp. 164–170, 2017.
- [33] K. Minato et al., "Release behavior of metallic fission products from HTGR fuel particles at 1600 to 1900°C," *J. Nucl. Mater.*, vol. 202, no. 1–2, pp. 47–53, 1993.
- [34] R. J. Kuhudzai et al., "Synergistic effects of iodine and silver ions co-implanted in 6H-SiC," *J. Nucl. Mater.*, vol. 467, pp. 582–587, 2015.
- [35] H. Ohashi, N. Sakaba, T. Nishihara, Y. Tachibana, and K. Kunitomi, "Analysis of tritium behavior in very high temperature gas-cooled reactor coupled with thermochemical iodine-sulfur process for hydrogen production," *J. Nucl. Sci. Technol.*, vol. 45, no. 11, pp. 1215–1227, 2008.
- [36] B. R. Sehgal, *Nuclear Safety in Light Water Reactors*. Elsevier, 2012.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



A PRELIMINARY STUDY OF HUMAN GAIT-BASED ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR INSIDER THREAT MITIGATION AT THE RESEARCH REACTOR

Sri Sundari Retnoasih^{1, a)}, Rezky Mahardika Saryadi^{1, b)}

G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor, Directorate of Nuclear Facility Management (DPFK), National Innovation and Research Agency (BRIN), Bld. 31, Puspiptek Area, South Tangerang, Banten – Indonesia 15314

^{a)} Corresponding author: sris014@brin.go.id; sundari.nosi@gmail.com

^{b)} rezk002@brin.go.id;

Abstract. One of the main considerations to implement a successful nuclear security regime is about the prevention and protection against illegal nuclear material movements at any nuclear facilities by the insiders. Insiders commonly have authorized access to the certain areas and also certain operations to perform their works in the nuclear facilities, it means that insider threat can be the biggest threat in any nuclear facilities that related into nuclear security. Physical access to nuclear facilities and its associated systems is the most possible and easiest “doors” for the insiders to do their actions. This paper has the objective that related to the one of the things that can mitigate the insider threat is by optimizing the physical protection systems which should be developed from time to time based on the nowadays situation. It uses the approach on the artificial intelligence that can be a great tool for upgrading the physical protection system related to the insider threat mitigation. One of the artificial intelligence applications that can support this subject is the human gait-based artificial intelligence. By recording the human body language that can be converted to the dimensional vector, it shows the human identification vectors which are linearly separable with each other and can therefore be classified using Support Vector Machines (SVM). As the simple simulation that has been done in the main control room of the research reactor, it shows that recognition level reach 70,45% and also a clear visual for the separation of object and background which can be a starting point to upgrade the physical protection system for the insider threat mitigation.

INTRODUCTION

Nuclear Security is one of the main pillar among 3S (Safety, Security and Safeguards) to optimize the peaceful uses for the application of nuclear science and technology. Every state which uses nuclear science and technology for the peaceful uses has its own responsibility regarding to the nuclear security culture and its successfulness of their actualization so it can be successful for the prevention and detection for the unauthorized and illegal actions that can be potentially done by the insiders. Insiders commonly have authorized access to the areas, equipment, and information needed to perform their works in the nuclear facilities, it means that insider threat can be the biggest threat in any nuclear facilities that related into nuclear security.

The first approach to recognize the insider threat in nuclear sector can be resumed from the IAEA insider threat mitigation guidelines, it says that the terms of insiders is used to describe as “an individual with authorized access to [nuclear material,] associated facilities or associated activities or to sensitive information or sensitive information assets, who could commit, or facilitate the commission of criminal or intentional unauthorized acts involving or directed at nuclear material, other radioactive material, associated facilities or associated activities or other acts determined by the State to have an adverse impact on nuclear security”. Insiders may include:

- Employees
- Former employees
- Contractors/consultants
- Suppliers
- Industrial collaborators

- Inspectors/regulators

The insider threat can be happened because the insiders have some capabilities that can be totally different with the outsiders which are:

1. An authorized access to the areas of the facility with its specific access such as during normal work shift, non-operational periods, maintenance outage, or an emergency.
2. The authority to enforce people or their colleagues to do some tasks or operate some equipment.
3. Knowledge about the facility layout, target's weakness, protection systems, and some special knowledge that only be known for the employees or workers at the facility.

As the insiders have many capabilities that can be potential threats in the facilities, one of the main concerns related to the nuclear security system can be strengthen by upgrading the physical protection system. The protective measures for the effective physical protection system can be done by implementing its elements, which are: detect, delay and response. Detection as the first element to prevent the insider threat can be done by optimizing the surveillance measures that can be used to continuously monitor the activities of every personnel that have access which is authorized or unauthorized in the certain areas in the facilities. A reliable surveillance should be able to perform information of detecting any malicious acts and should have the means to rapidly and safely report the observations. In a short way, a surveillance system should cover a sensor that reacts to an abnormal occurrence and initiate an alarm that indicates an adversary action.

This research uses an approach on the artificial intelligence that nowadays have been helpful in many aspects of the human society. One of them is about strengthening the security system. Some biometric technologies have been popular in the recent years. For the security systems, biometric technologies have been very helpful for the identification and verification processes such as analyzing face, fingerprint, palm print, iris, gait or combination of the traits. Gait recognition as one of the most effective tools to identify and verify human behaviors have several unique yet quite simple characteristics such as:

- A signal detection that can be captured from far distance without requiring physical information from subjects.
- An identified human subject can be gained from the low-resolutioner videos.
- A general framework of automatic gait recognition consist of subject detection, silhouette extraction, feature selection, and classification.
- A high effectiveness for the background subtraction, which attempts to separate objects and the background.

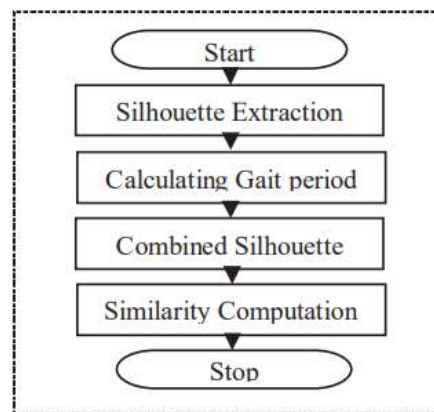


FIGURE 1. Gait Recognition Flow Chart

Basically, a gait recognition can be created by a compilation of processes where the features of human motion are automatically obtained/extracted and later these features enable us to authenticate the identity of the person in motion, which it could transfer the information about the identity of the individuals or the normal-abnormal occurrences. A gait recognition system can be initiated by using silhouette extraction that can be used as a database for authenticating the identity of the person in motion. Following by calculating gait period and combining the silhouette, the similarity computation can be created as a technique to obtain results for being a match or mismatch with the database. Besides, with the high effectiveness of the background subtraction, the normal-abnormal occurrences can be effectively identified even with the low-resolutions videos which give the initiate information to the similarity computation. It just needs a very high credibility of the database on the silhouette extraction and a highly accuracy of the computation on a gait period calculation and silhouette combination so the similarity computation can be achieved with the high effectivity.

METHODS

The network takes *raw RGB video frames* of a pedestrian as an input and produces one-dimensional vector-gait descriptor that exposes as an identification vector. The identification vectors from gaits of each two

different people should be linearly separable. Whole network consists of two sub-networks connected in cascade- Human Pose NN and Gait NN. Spatial features from the video frames are extracted according to the descriptors that involve pose of the pedestrian. These descriptors are generated from the first sub-network – Human Pose NN defined in human pose nn module. Human Pose NN can be also used as a standalone network for regular 2D pose estimation problem from still images Responsibility of the second sub-network – Gait NN defined in gait nn module is the further processing of the generated spatial features into one-dimensional pose descriptors with the use of a residual convolutional network. Temporal features are then extracted across these *pose descriptors* with the use of the multilayer recurrent cells - LSTM or GRU. All temporal features are finally aggregated with Average temporal pooling into one-dimensional identification vector with good discriminatory properties. As already mentioned in the text above, the human identification vectors are linearly separable with each other and can therefore be classified with e.g. linear SVM. Validation and verification at the end of the activity phase intend to ensure the level of data accuracy, ensure the level of speed of personnel identification and monitoring through the Main Control Room (RKU).

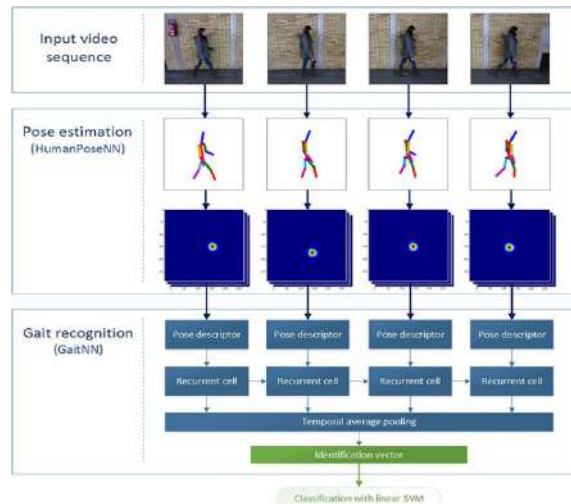


FIGURE 2. Methodology Flowchart

RESULTS AND DISCUSSION

In the case of the data we collected gait image sequences of two sample Frame rates and sizes of full images for sample 1 is 5 [fps] and 640 x 480 [pixels], and those for sample 2 are 15 [fps] and 640 x 480 [pixels]. Verification results for the 2 sample for gait recognition are summarized in Table 1

Table1. Verification and Identification Simulation System [%]

Input Data	ID data	Identified	Recognition Rates (%)
Ident_01	0001	detected	68,55
Ident_02	0002	detected	70,45

In the case of sample 1, all image obtained similar results; the probability for reference sample 1 originate from the same person is extremely low and the probability that query from extracting image and reference originate from the same sample of person is extremely high. In the case of sample 2, the results are as follows the probability that query from extracting image and reference B originate from the same person is also high.

Operating time varies depending on the participants. The operating time for subject registration, silhouette creation, and gait verification vary from 1 to 5 minutes, from 7 to 15 minutes, and from 1 to 4 minutes, respectively. To carryout total verification using the system, a user needs to use the registration module. In these evaluation experiments, a total verification was completed in 30 minutes in the shortest case, and only 83 minutes even in the longest case. The operating time was largely dependent on the sample.

In the simulation, we found that the inter-user variability of distance scores is mainly caused by the difference in a gait sequence selected by a subject selection function. The algorithm implemented in our system assumes that the views of the query and reference are the same. Although instructions were provided to the users, some users selected sequences for which there was a viewing difference between the query and reference. It is preferable for the system to have functions to avoid the undesirable selections. In other techniques (Lee et al.) combined multiple CNN (Convolutional Neural Network) structures of different kernel sizes to obtain the temporal features from different time scales. However, the multi-kernel CNN structure would consume more computational resources, and the temporal scale that a pure CNN could explore is inadequate as well. Furthermore, if a large time scale is desirable, then a pooling operation would be commonly used between two

CNN layers, which would cause information loss. For this research solutions would be to show the walking trajectory of a target subject or to employ a view transformation model. We shall carry out such work in the future. Moreover, our current system can only operate in verification mode. We plan to modify the system so that it can operate in identification mode.

Another sample that being used is the picture of the main control room. It shows the process of introducing background objects and object segmentation to distinguish between human objects and object, on the picture we can see that the sign in the form of a yellow box indicates the detection of objects that are not a threat to the system. Objects appear in the images below.



FIGURE 3. Object and Background Separation in control room

CONCLUSION

Based on the results of this research, the system is designed for the non-gait specialist can use to verify a person using gait images taken by a surveillance camera. It describes the characteristics of the constructed system and reports the results of evaluation experiments. The experimental results show that participants can use the constructed system appropriately and obtain reasonable verification results. Moreover the test shows that recognition level for all sample reach 69,5 % and also a clear visual for the separation of object and background which can be a starting point to upgrade the physical protection system for the insider threat mitigation

ACKNOWLEDGMENTS

We thank to the all the operators and supervisors of G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor for supporting us to take the samples of our data. We also thank to the Head Section of Reactor Operation, Mr. Suwoto who always supports us to develop our skills and knowledge. We thank to all of the security officers at the G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor for the cooperation.

REFERENCES

- [1] IAEA. Self-Assessment of Nuclear Security Culture in Facilities and Activities; International Atomic Energy Agency Nuclear Security Series No. 28-T; IAEA: Vienna, Austria, 2015 M. P. Brown and K. Austin, Appl. Phys. Letters 85, 2503–2504 (2004).
- [2] IAEA. IAEA Incident and Trafficking Database (ITDB) Incidents of Nuclear and Other Radioactive Material Out of Regulatory Control; 2016 Fact Sheet; International Atomic Energy Agency: Vienna, Austria, 2016.
- [3] IAEA. Preventive and Protective Measures against Insider Threats; International Atomic Energy Agency Nuclear Security Series No. 8; IAEA: Vienna, Austria, 2008.
- [4] IAEA. Nuclear Security Culture; International Atomic Energy Agency Nuclear Security Series No. 7; IAEA: Vienna, Austria, 2008
- [5] Bunn, M. Scenarios of Insider Threats to Japan’s Nuclear Facilities and Materials—and Steps to Strengthen Protection. Available online: <https://nautilus.org/napsnet/napsnet-special-reports/scenarios-of-insider-threats-to-japans-nuclear-facilities-and-materials-and-steps-to-strengthen-protection> (accessed on 06 June 2022)
- [6] Kawade Sonam P, Prof. V. S. Ubale. “Gesture Recognition-A Review”. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE) ISSN: 2278-2834, ISBN: 2278-8735, PP: 19-26
- [7] A.Sunardi et all. ”Personal Identification Using Voice Recognition eith Neuro Fuzzy Method”. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1198 (2019) 092005
- [8] A. Sunardi, R. Mahardika, M. Alfarisie, et al. “ Study of personnel access system using voice and gait recognition in experimental power reactor (RDE) ”. AIP Conference Proceedings 2180, 020047 (2019)

- [9] K. Chen, D. Zhang, L. Yao, B. Guo, Z. Yu, and Y. Liu, "Deep learning for sensor-based human activity recognition: Overview, challenges, and opportunities," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 54, no. 4, pp. 1–40, July 2021.
- [10] J. P. Singh, S. Jain, S. Arora, and U. P. Singh, "Vision-based gait recognition: A survey," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 70 497–70 527, November 2018



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



ANALISIS KEAMANAN JARINGAN LISTRIK DALAM INTRODUKSI PLTN KE DALAM SISTEM KELISTRIKAN KALBAR SEBAGAI UPAYA PEMENUHAN TARGET ENERGI HIJAU

Citra Candranurani¹⁾, Elok S. Amitayani^{1, a)}, Hartadhi²⁾, Nurlaila¹⁾

¹Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir - BRIN

Gd 80 Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan, Banten

²Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi - BRIN

Gd 625 Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang Selatan, Banten

citr002@brin.go.id , elok001@brin.go.id , hart012@brin.go.id , nurl003@brin.go.id

a) Corresponding author: elok001@brin.go.id

Abstract. Sejalan dengan amanat UU 16 tahun 2016 tentang dan kesepakatan COP ke 26 tahun 2021 Indonesia memiliki target penurunan emis gas rumah kaca yang dikenal dengan Net Zero Emission (NZE) 2021-2060. Salah satu pilar dalam peta jalan NZE yaitu peningkatan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT), dimana sejalan dengan ini adalah moratorium tidak adanya lagi usulan pembangunan PLTU baru pasca 2030 dan munculnya PLTN pada periode 2045-2060 sebesar 35 GW. Melalui studi kelayakan PLTN untuk Kalimantan Barat tahun 2020, dengan proyeksi beban industrialisasi PLTN diperkirakan masuk lebih cepat ke dalam sistem Kalimantan Barat pada tahun 2028. Makalah ini bertujuan untuk melihat keamanan jaringan listrik Kalimantan Barat melalui analisis aliran daya di tahun 2028, yakni tahun ketika PLTN SMR 100 MW pertama kali diintroduksi, serta analisis stabilitas. Keamanan jaringan listrik dilihat dari cepatnya jaringan memulihkan diri ke dalam tegangan dan frekuensi standar sesuai dengan *grid code*, setelah kondisi hipotetik PLTN padam/*trip* dan terlepas dari jaringan, sehingga jaringan dapat segera menyuplai daya kepada PLTN untuk kebutuhan pendinginan dan pembuangan panas. Dari simulasi aliran daya dan stabilitas yang dilakukan menggunakan program ETAP diketahui bahwa dengan beroperasinya PLTN, impor listrik dari Serawak berkurang dari sebelumnya 191,4 MW menjadi 125,5 MW dan frekuensi jaringan ketika PLTN trip adalah 49,95 Hz masih dalam batas yang diijinkan. Dengan beroperasinya PLTN akan menjadikan sistem kelistrikan Kalbar menjadi lebih andal dan meningkatkan kedaulatan energi di Indonesia

Kata kunci: PLTN, analisis aliran daya, kehandalan jaringan, keselamatan, NZE

PENDAHULUAN

Sesuai dengan amanat UU Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement, Indonesia berkomitmen untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 314-398 Juta Ton CO₂ pada tahun 2030 [1]. Komitmen ini diperkuat paska *Conference of the Parties* COP ke-26 tahun 2021 atau konferensi negara-negara dunia anggota PBB tentang perubahan iklim, dimana Indonesia menyatakan target yang dikenal dengan *Net Zero Emission* (NZE) paling lambat tahun 2060. Dalam roadmap menuju *Net Zero Emission* 2021-2060, Pemerintah menerapkan lima prinsip utama, yaitu peningkatan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT), pengurangan energi fosil, kendaraan listrik di sektor transportasi, peningkatan pemanfaatan listrik pada rumah tangga dan industri, dan pemanfaatan *Carbon Capture and Storage* (CCS). Sejalan dengan ini adalah moratorium untuk tidak lagi menerima usulan PLTU baru pasca 2030. PLTN juga menjadi teknologi yang digunakan, dimana PLTN direncanakan masuk sebesar 35 GW dalam periode 2045 – 2060 [2].

Pada tahun 2020 BATAN telah melakukan Studi Kelayakan untuk mempersiapkan masuknya PLTN di Kalimantan Barat [3]. Dalam studi ini, diproyeksikan kebutuhan listrik Kalimantan Barat melalui beberapa skenario pertumbuhan, salah satunya adalah skenario pertumbuhan dengan target industrialisasi. Dengan beban industrialisasi dan kebijakan nasioanl untuk berkomitmen pada target *Net Zero Emission* (NZE) 2060, maka optimasi pasokan kebutuhan listrik dilakukan dimana PLTN 100 MW sebagai salah satu pembangkit yang

dikompetisikan. PLTN dikompetisikan dalam perannya sebagai pembangkit beban dasar mengingat Pemerintah berencana *me-retirement* PLTU secara bertahap. Hasil optimasi menunjukkan penambahan 3 unit PLTN dengan kapasitas 100 MW yakni 1x100 MW pada tahun 2028 dan 2x100 MW pada tahun 2030.

Masuknya PLTN pada rencana pengembangan sistem pembangkitan perlu dianalisis dari sisi keamanannya terhadap jaringan listrik setempat. Hal ini untuk menjaga agar ketika terjadi pemadaman yang tak direncanakan, maka frekuensi dan tegangan jaringan tetap berada dalam standar kualitas sesuai yang diatur dalam Grid Code Peraturan Menteri ESDM Nomor 20 tahun 2020 sehingga jaringan dengan cepat dapat segera menyuplai daya kepada PLTN untuk menjalankan pendinginan dan pembuangan panas.

Studi ini bertujuan untuk melihat keamanan jaringan listrik pada sistem Kelistrikan Kalimantan Barat melalui analisis aliran daya dan analisis stabilitas. Hasil studi ini diharapkan akan memberikan gambaran kesiapan infrastruktur jaringan listrik di Kalimantan Barat sebelum dan setelah introduksi PLTN.

KAJIAN PUSTAKA

Studi Aliran Daya, Kehandalan Jaringan dan Keselamatan PLTN

Pada perencanaan sistem tenaga listrik, studi aliran daya penting dilakukan untuk mengetahui beberapa parameter penting dalam jaringan sistem, sehingga akan sangat membantu untuk mengetahui keadaan di sistem. Beberapa parameter tersebut antara lain [4]:

- a) Aliran daya nyata (MW) dan daya reaktif (MVAR) di setiap percabangan dalam jaringan.

Tegangan pada masing-masing busbar/rel.

Pengaruh penataan ulang dan penambahan jaringan baru pada sistem yang sedang beroperasi.

Pengaruh kehilangan sementara pembangkit dan jaringan transmisi pada sistem yang sedang beroperasi.

Pengaruh injeksi tegangan fasa dan *quadrature boost* pada sistem pembebanan.

Kondisi optimum operasi sistem dan distribusi beban.

Meminimalkan susut jaringan.

Mengoptimalkan kapasitas dan *tap-range* transformator.

Perbaiki akibat perubahan ukuran konduktor dan tegangan sistem.

Analisis aliran daya sangat penting dilakukan dalam sebuah sistem sebelum PLTN dioperasikan terutama terkait dengan keselamatan terkait *emergency power supply* ketika pembangkit padam atau jaringan mengalami gangguan untuk memastikan PLTN masih memiliki suplai daya yang cukup untuk pembuangan panasnya.

Beberapa studi aliran daya terkait keselamatan reaktor nuklir telah dilakukan. Tukiman dkk meneliti aliran daya untuk sistem *emergency power supply* pada reaktor daya non komersial 10 MWth dimana dengan simulasi ETAP ditunjukkan bahwa semua kebutuhan daya listrik yang berkaitan dengan sistem keselamatan reaktor dapat dilakukan dengan baik dan aman. Genset darurat yang tersedia cukup untuk mensuplai catu daya untuk kebutuhan peralatan yang berhubungan dengan sistem keselamatan reaktor [5].

V. Vajpayee dkk pada tahun 2021 melakukan analisis stabilitas PLTN tipe PWR setelah terjadinya kegagalan dan gangguan pada jaringan listrik dimana pembangkit terhubung [6]. Pembangkit nuklir yang dimodelkan terdiri dari berbagai subsistem yang terintegrasi, seperti inti neutronik dan termohidraulik, *piping & plenum*, pressuriser, pembangkit uap, turbin, governor, *dynamics shaft*, dan pengontrol kecepatan turbin. Hal-hal yang dipelajari dalam studi ini antara lain interaksi antara PLTN, jaringan listrik dan sistem proteksi dalam berbagai skenario termasuk beberapa gangguan satu fase, beberapa gangguan tiga fase, dan peristiwa kehilangan beban permanen yang mempengaruhi jaringan listrik.

Pada sistem jaringan listrik terdapat dua jenis pemadaman, yaitu: 1. Pemadaman yang direncanakan (*planned outage*) yakni pemadaman yang direncanakan merupakan bagian dari pemeliharaan sistem jaringan listrik, dan 2. pemadaman paksa (*forced/unplanned outage*).

Menurut *United State Nuclear Regulatory Commission* (US-NRC) yang dimaksud pemadaman paksa adalah penutupan unit pembangkit, saluran transmisi, atau fasilitas lain karena alasan darurat, atau kondisi di mana peralatan tidak tersedia sebagai akibat dari kerusakan yang tidak terduga. Beberapa contoh penyebab terjadinya pemadaman paksa pada PLTN adalah sebagai berikut:

- a) Pompa pendingin reaktor bocor.

Katup isolasi penampung air umpan bantu yang tidak dapat dioperasikan.

Kegagalan indikator sistem penggerak batang kendali.

Masalah katup isolasi uap utama

Sistem oli pompa pendingin reaktor bocor.

Ekstraksi steam expansion bellows gagal.

Kebocoran katup pengaman pressurizer.

Lepasnya PLTN dari jaringan secara tiba-tiba dapat berujung pada *blackout* terutama jika kapasitasnya relatif besar. Ketika pembangkit terlepas, tegangan dan frekuensi jaringan akan turun. Jika jaringan mampu memulihkan tegangan dan frekuensinya segera, maka PLTN tetap dapat disuplai oleh jaringan untuk pembuangan panas sisa. Namun, jika jaringan tidak mampu memulihkan tegangan dan frekuensinya dengan cepat, penurunan tegangan dan frekuensi tersebut akan dirasakan oleh sistem *relay* pembangkit lain dalam

sistem. Jika penurunannya melebihi batas minimal yang diijinkan, pembangkit lain akan padam/*trip*. Peristiwa ini semakin menurunkan tegangan dan frekuensi jaringan dan merembet ke pembangkit-pembangkit lain sehingga terjadilah *blackout*. Jika jaringan tak dapat segera menyuplai daya maka PLTN harus mengandalkan dirinya sendiri untuk pendinginan/ pembuangan panas sisa melalui generator diesel atau sistem pasifnya. Sehingga, kehandalan jaringan sangat berpengaruh pada keselamatan PLTN dalam kaitannya dengan suplai listrik untuk pembuangan panas sisa.

Sistem Kelistrikan Kalimantan Barat

Kapasitas terpasang sistem Kalbar per tahun 2019 ialah 662,6 MW dengan daya mampu netto 633,1 MW meliputi pembangkit PLN sendiri, *Independent Power Produser* (IPP), *excess power*, sewa, dan impor dari Sesco Malaysia. Berikut adalah ringkasan kapasitas terpasang Kalimantan Barat 2019

Tabel 1. Kapasitas Terpasang Kalbar 2019 [7]

Pemilik	Jenis Pembangkit	Kapasitas (MW)
PLN	Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)	149,6
	Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)	34
	Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	71
IPP	Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM)	15
	PLTG <i>mobile</i>	100
Excess	Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM)	1,9
Sesco impor)	Pembangkit Listrik Tenaga (PLTA)	230
Sewa	PLTD	61
Total		662,6

Selama tahun 2016-2021 PLN melakukan impor listrik dari Sesco, Serawak-Malaysia sebesar 100 MW untuk beban dasar hingga 230 MW untuk beban puncak yang telah dimulai sejak tahun 2015 [8] dan dapat diperpanjang berdasarkan kesepakatan kedua belah pihak. Impor listrik ini bersumber dari PLTA Bakun 2400 MW di Serawak (Gambar 1), Malaysia, melalui jaringan transmisi 275 kV dengan harga listrik Rp 1000/kWh.



GAMBAR 1. Bakun Dam Hydro Electric Power (HEP) 2400 MW.

Saat ini gardu induk eksisting yang beroperasi di sistem Kalbar tersebar di 13 lokasi dengan rentang kapasitas transformator mulai dari 30-180 MVA sebagaimana dijabarkan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Daftar Gardu Induk dan Kapasitas Transformator di Kalbar 2019 [7]

No	Nama GI	Jumlah Trafo 150/20 kV (Unit)	Total Kapasitas (MVA)
1	Siantan	2	120
2	Sei Raya	3	180
3	Parit Baru	2	60
4	Mempawah	2	60
5	Singkawang	3	150
6	Kota Baru	3	120
7	Sambas	3	120
8	Bengkayang	2	60
9	Ngabang	1	30
10	Tayan	1	30
11	Sanggau	1	30
12	Ketapang	2	60
13	Sukadana	1	30
	Total	26	1050

Perangkat Lunak ETAP

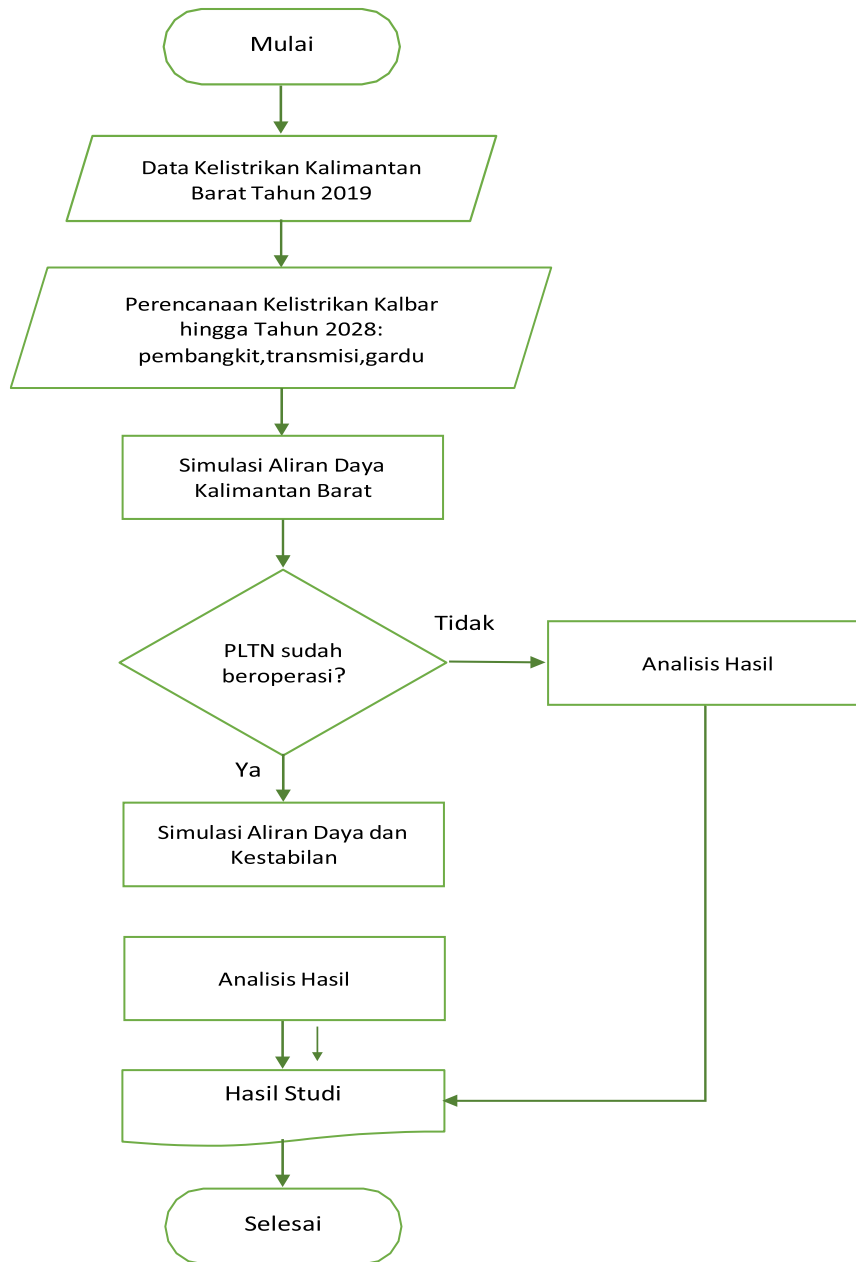
Untuk memudahkan perhitungan aliran daya pada sebuah sistem yang besar, perangkat lunak ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) adalah sebuah solusi yang telah dikenal sejak tahun 1990. Fitur yang diaplikasikan dalam ETAP memberikan keunggulan dan kemudahan yaitu [9]: Jumlah iterasi yang lebih sedikit, waktu yang singkat, Cocok untuk sistem yang besar, Konversi yang unggul, Akurasi dan presisi.

Pemanfaatan perangkat lunak ETAP sangat dibutuhkan dan memudahkan dalam membuat potret aliran daya pada sebuah sistem yang besar yang memiliki ratusan gardu induk (GI) yang berada pada sistem tegangan tinggi dan ekstra tinggi [4]. Dengan menggunakan ETAP, data sistem dan jaringan yang telah diperoleh dapat diolah secara grafis karena ETAP dirancang dengan tiga konsep utama, yaitu [10]: Penentuan kondisi sistem senyawa mungkin, integrasi data yang baik dalam satu database, dan kemudahan dalam penambahan data.

Aplikasi penggunaan ETAP diantaranya untuk studi aliran daya, harmonik aliran daya, dan studi analisa motor- starting [11]. Dalam perhitungan aliran daya dalam ETAP terdapat tiga metode yang dapat diaplikasikan yaitu: Newton-Raphson, Fast-decoupled dan Accelerate Gauss-Seidel.

METODOLOGI

Langkah-langkah dalam studi ini digambarkan melalui diagram alir sebagai berikut:



Keterangan:

- Data eksisting Kalimantan Barat berupa data pembangkit, transmisi, gardu induk (transformator) dan beban pada tahun 2019 sebagai tahun dasar.
- Memasukkan hasil proyeksi beban dari tahun 2019 hingga tahun masuknya PLTN pertama kali yakni 2028. Data ini dimasukkan ke dalam ETAP.
- Simulasi aliran daya dan analisis kestabilan dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP untuk melihat aliran daya sebelum dan sesudah PLTN beroperasi pada tahun 2028, sebagai tahun masuknya PLTN pertama di sistem Kalimantan Barat.
- Mencocokkan parameter tegangan dan frekuensi dari hasil langkah sebelumnya, dengan Grid Code Permen ESDM Nomor 20 tahun 2020 [12] yaitu batas rentang variasi pada tegangan sistem 150 kV kondisnormal adalah +5%, -10% dan batas rentang frekuensi operasi adalah 47 – 52 Hz .

Proyeksi Kebutuhan Beban Hingga Tahun Awal Masuknya PLTN

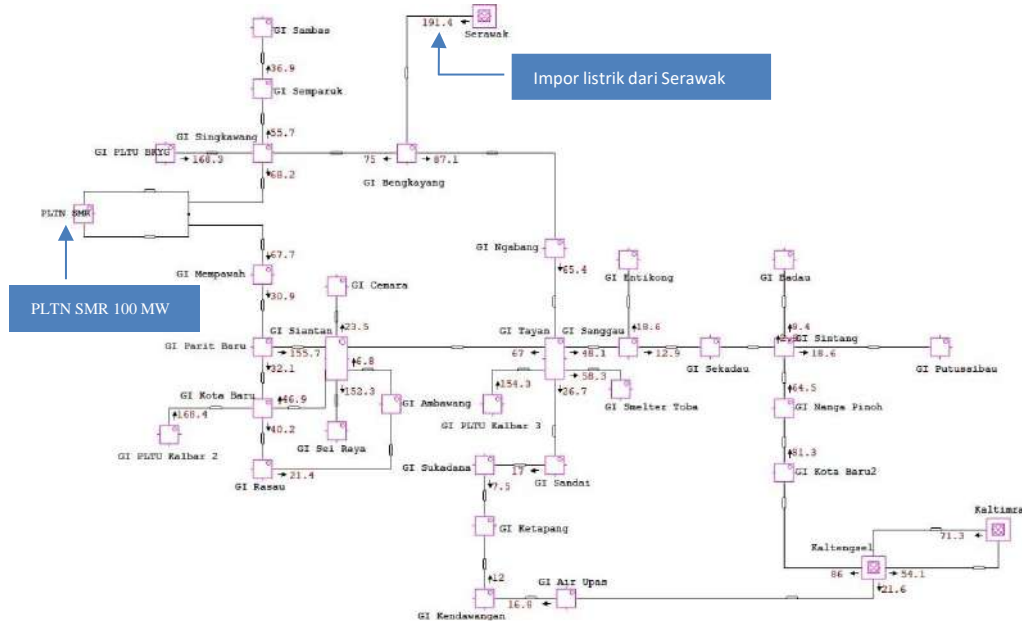
Kebutuhan beban hingga tahun awal masuknya PLTN diambil dari perencanaan penambahan pembangkit dengan mempertimbangkan kebijakan pembatasan pembangkit yang mengeluarkan emisi CO₂ [3]. Tabel berikut ini memuat rencana penambahan pembangkit dan kapasitasnya hingga tahun 2030 [3].

Tabel 3. Neraca daya sistem Kalbar tahun 2021 hingga 2030 [3]

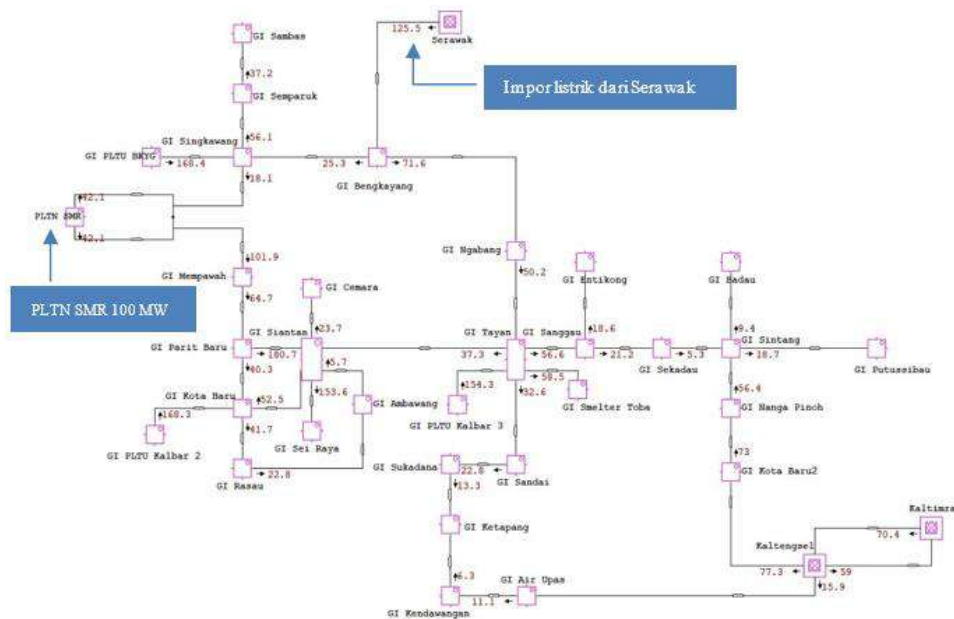
Uraian	Setuan/ Jenis	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1. DEMAND											
Konsumsi Listrik	GWh	3.020	4.122	5.202	6.346	7.343	7.576	7.842	8.121	8.369	8.632
Pertumbuhan Konsumsi Listrik	%	9,14	5,11	3,09	3,09	3,07	3,63	3,67	3,70	3,70	3,72
Produksi (Netto)	GWh	3.413	4.646	5.840	7.100	8.193	8.427	8.676	8.940	9.175	9.426
Beban Puncak (Netto)	MW	473	608	742	882	1.004	1.034	1.066	1.099	1.130	1.163
2. EXISTING SUPPLY (DMN)											
Total Daya Mampu Netto (DMN):	MW	493	511	491	491	491	491	491	491	491	261
PLN:	MW	141	159	129	129	129	129	129	129	129	129
PLTG	MW	30	30	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTG Siantan	MW	30	30	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU	MW	111	129	129	129	129	129	129	129	129	129
PLTU Parit Baru FTP 2 Site Bengkayang	MW	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
PLTU Sanggau	MW	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
PLTU Sukabangun/Ketapang	MW	-	18	18	18	18	18	18	18	18	18
PLTU Sei Ringin/Sintang	MW	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
IPP:	MW	122	122	132	132	132	132	132	132	132	132
PLTMG	MW	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
MPP Pontianak	MW	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PLTbm	MW	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20
PLTbm Mempawah	MW	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
PLTbm Putussibau	MW	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10
PLTU	MW	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
PLTU Ketapang	MW	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Excess Power:	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PTBM Alas Kusuma	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impor:	MW	230	230	230	230	230	230	230	230	230	-
SESCo	MW	230	230	230	230	230	230	230	230	230	-
Retired:	MW	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30
PLTG	MW	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30
PLTG Siantan	MW	-	-	30	30	30	30	30	30	30	30
PLTU	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU Parit Batu FTP 2 Site Bengkayang	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU Sanggau	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU Sukabangun/Ketapang	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU Sei Ringin/Sintang	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTMG	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPP Pontianak	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU Ketapang	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. ADDITIONAL SUPPLY (DMN)											
Pipeline Project:	MW	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-
1) PLN	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2) IPP:	MW	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU	MW	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU Kalbar-1	MW	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-
Kebutuhan Tambahan:	MW	-	-	315	256	213	3	8.173	103	3	203
PLTU	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU-SubC	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU-SubC-FGD	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTA	MW	-	-	-	-	-	-	70	-	-	-
PLTM	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTbm	MW	-	-	-	100	45	-	-	-	-	-
PLTBg	MW	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-
PLTS	MW	-	-	*100	-	*100	*100	8.100	*100	-	*100
PLTB	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTGU	MW	-	-	-	150	150	-	-	-	-	-
PLTG	MW	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-
PLTMG	MW	-	-	220	-	-	-	-	-	-	-
PLTN SMR1	MW	-	-	-	-	-	-	-	100	-	200
BESS	MWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impor dari Sistem Interkoneksi Kalimantan (150 kV)	MW	-	-	65	6	3	3	3	3	3	3
Impor dari Sistem Interkoneksi Kalimantan (300 kV)	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. SUMMARY											
Existing Supply (DMN)	MW	493	511	491	491	491	491	491	491	491	261
Additional Supply (DMN)	MW	-	200	315	256	213	3	8.173	103	3	203
Daya Mampu Sistem (DMN)	MW	493	711	1.006	1.261	1.474	1.477	9.650	9.793	9.796	9.729

HASIL DAN ANALISIS

Berikut adalah hasil simulasi aliran daya sistem interkoneksi Kalimantan (Khatulistiwa-Barito-Mahakam) sebelum dan sesudah masuknya PLTN pertama 1x100 MW di tahun 2028. Simulasi juga memperlihatkan impor listrik dari Serawak.

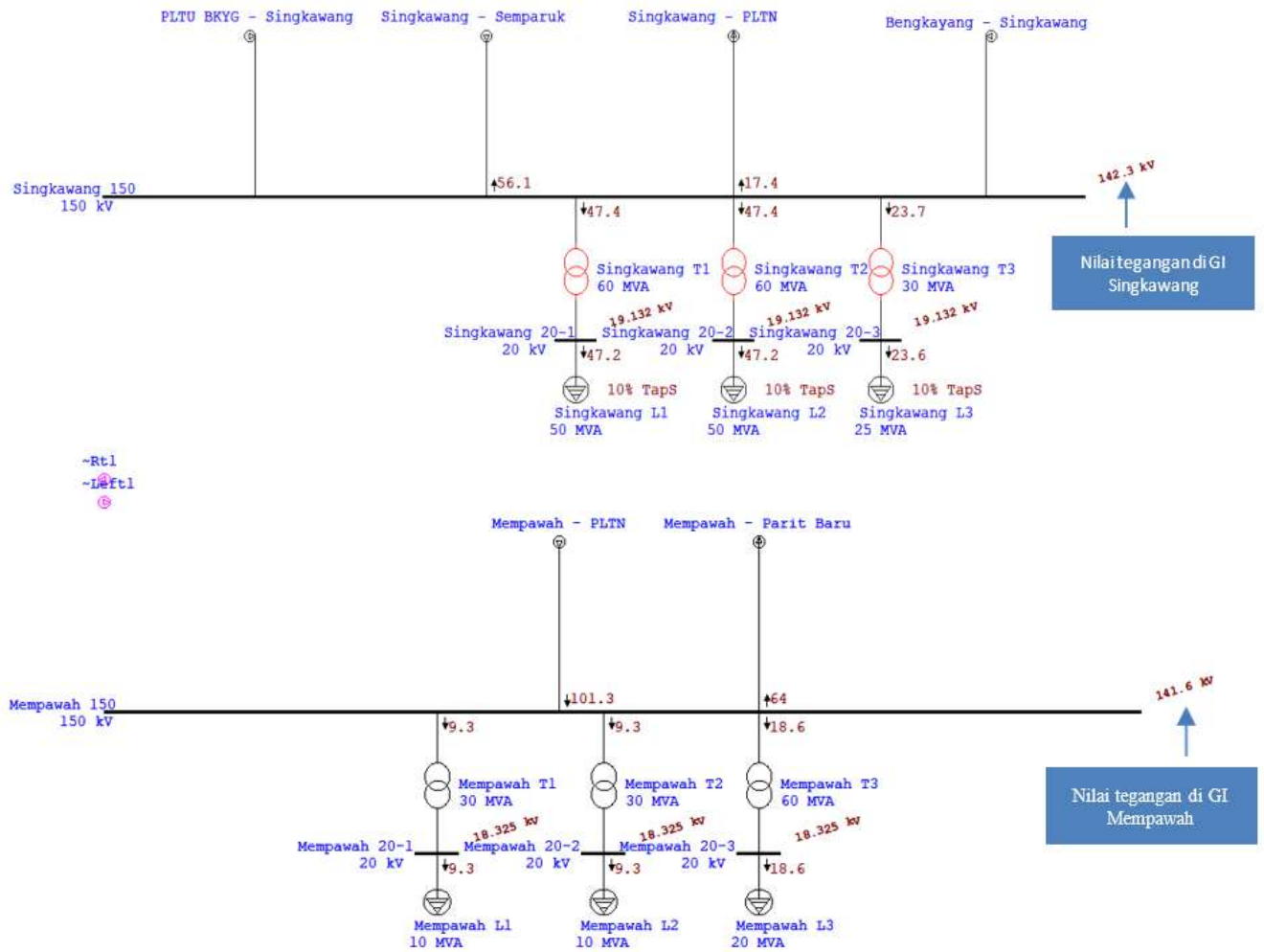


GAMBAR 2. Simulasi aliran daya sistem interkoneksi Kalimantan ((Khatulistiwa-Barito-Mahakam) sebelum PLTN beroperasi pada tahun 2028



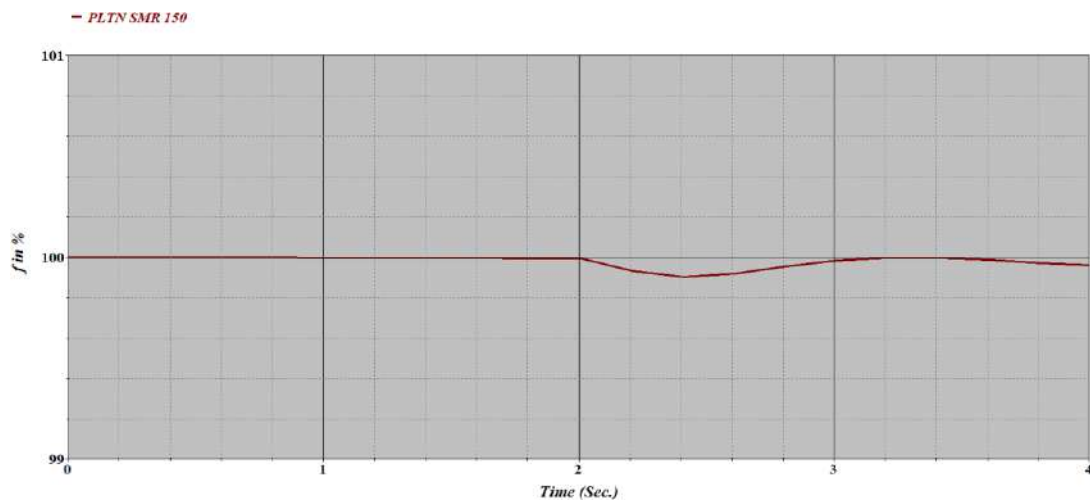
GAMBAR 3. Simulasi aliran daya sistem interkoneksi Kalimantan ((Khatulistiwa-Barito-Mahakam) setelah PLTN SMR 100MW beroperasi pada tahun 2028.

Hasil simulasi aliran daya yang terlihat pada gambar 2 dan 3 memperlihatkan perbedaan jumlah impor listrik dari Serawak ke dalam sistem Kalbar. Jika tanpa PLTN, sistem Kalbar mengimpor listrik sejumlah 191,4 MW dan setelah pengoperasian PLTN SMR 100 MW maka jumlah impor turun menjadi 125,5 MW. Hasil simulasi aliran daya juga memperlihatkan nilai tegangan di setiap GI, pengecekan nilai tegangan GI khususnya yang berhubungan langsung dengan titik hubung PLTN ke dalam sistem interkoneksi yaitu GI Singkawang dan Mempawah agar diketahui apakah nilai tegangan masih dalam batas yang diijinkan atau tidak. Nilai tegangan tersebut dapat dilihat pada gambar 4, yang memperlihatkan bahwa tegangan di GI Singkawang dan Mempawah adalah 142,3 dan 141,6 kV. Nilai tegangan di kedua GI masih masuk dalam persyaratan yang diatur oleh *grid code*. Dengan beroperasinya PLTN akan menjadikan sistem kelistrikan Kalbar menjadi lebih andal dan meningkatkan kedaulatan energi di Indonesia.



GAMBAR 4. Hasil simulasi studi aliran daya nilai tegangan di GI Singkawang dan Mempawah

Studi stabilitas dilakukan pada sistem kelistrikan Kalbar untuk mengetahui dampak dari pelepasan suplai dari PLTN secara mendadak/tanpa direncanakan terhadap sistem interkoneksi Kalbar. Simulasi dilakukan dengan skenario terburuk yaitu PLTN trip/padam disaat sedang beroperasi dengan daya penuh 100 MW. Hasil simulasi stabilitas terlihat pada Gambar 5 menunjukkan adanya penurunan frekuensi hingga 49,95 Hz hal ini masih dalam batas nilai yang diijinkan oleh *grid code* dimana frekuensi yang diizinkan berada pada rentang 47 – 52 Hz.



GAMBAR 5. Hasil simulasi studi stabilitas skenario PLTN mengalami gangguan sehingga trip

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- a) Dengan beroperasinya PLTN akan mengurangi impor listrik dari Malaysia sehingga keamanan energi nasional lebih terjaga.
- b) Nilai frekuensi di jaringan setelah lepasnya PLTN adalah 49,95 Hz yang masih berada dalam range frekuensi yang diijinkan oleh Grid Code permen ESDM Nomor 20 Tahun 2020.
- c) Lepasnya PLTN dari jaringan tidak menyebabkan gangguan pada sisi jaringan. Dengan kata lain, jaringan tetap dalam kondisi stabil, sehingga menjamin pasokan listrik pada PLTN untuk menjalankan sistem pendinginan atau pelepasan panas sisa pada PLTN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin berterimakasih kepada Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional pelaksanaan Studi Kelayakan PLTN di Kalimantan Barat tahun 2020 sehingga terkoleksi data dan pengetahuan bagi persiapan pembangunan PLTN, termasuk yang tertuang dalam studi ini.

REFERENSI

- [1] KESDM, <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/kolaborasi-tingkatkan-energi-hijau>, diakses tanggal 20 Juni 2022
- [2] KESDM, "Ini Prinsip dan Peta Jalan Pemerintah Capai Net Zero Emission", Siaran Pers nomor 359.Pers/04/SJI/2021, 8 Oktober 2021
- [3] BATAN-P3TEK ESDM, "Studi Kelayakan Pembangunan PLTN di Kalimantan Barat: Aspek Kelistrikan, Ekonomi dan Keuangan", Laporan Akhir, Jakarta, 2020.
- [4] C. Candranurani, "Pengaruh Pemilihan Lokasi Pembangkit Terhadap Unjuk Kerja Sistem Penyediaan Energi Listrik Terinterkoneksi", Tesis, Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [5] Tukiman, K. Handono, I. M. Putra, F. Hermana, "Load Flow Analysis for Non Commercial Power Reactor 10 MW Electrical Emergency Power Supply", *International Journal of Electrical Engineering & Technology*, 10(6), 2019, pp. 21-2.
- [6] V. Vajpayee, E. Top, V. M. Becerra, "Analysis of Transient Interactions between a PWR Nuclear Power Plant and a Faulted Electricity Grid", *Energies*, 14, 1573, 2021.
- [7] PT PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2028", Jakarta, 2019.
- [8] C. Candranurani, R.F. Setya Budi, S. M. Lumbanraja, "Analisis Aliran Daya untuk Penentuan Lokasi Penyaluran Daya PLTN pada Sistem Kalimantan Barat", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Vol. 17, No. 1, Jakarta, Juni 2015.
- [9] M. J. Katira, K. B. Porate, "Load Flow analysis 132/11 kV distribution sub station using static var compensator for voltage enhancement-a case study", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2009.
- [10] *Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)*, "Power Station 2.0 User Guide", Operation Technology Inc, 1998.
- [11] R. A. J. Khan, M. Junaid, M. M. Asgher, "Analyses and monitoring of 132 kV grid using ETAP software", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2009.
- [12] Permen ESDM Nomor 20 Tahun 2020, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)", KESDM, 2020.

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

Apakah PLTN cocok menjadi base load, intermediate atau peak load? terkait dengan beban jaringan di Kalimantan Barat.

Jawaban

Kalau untuk kebutuhan Kalbar, PLTN cocok menjadi baseload karena melihat profile bebannya, PLTN bisa menggantikan peran PLTU dan mengurangi impor listrik dari Malaysia.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENINGKATAN PERAN I-CONSEP DALAM PENGEMBANGANKAPASITAS NASIONAL DALAM SISTEM KEAMANAN NUKLIR MORC

Khoirul Huda^{1, a)}, Agus Yudhi Pristianto², Zulkarnain²

¹Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN)

²Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir (DKKN)

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

Jl. Gajah Mada 8, Jakarta 10120

^{a)}Corresponding author: k.huda@bapeten.go.id

Abstrak. Pengembangan sistem keamanan bahan radioaktif di luar kendali pengawasan (MORC) tidak bisa tidak harus melibatkan berbagai lembaga dan pihak berkepentingan. Efektivitas sistem tersebut hanya dapat dicapai bila ditunjang dengan kemampuan yang memadai dan sinergis secara nasional. Kemampuan tersebut harus dibangun secara bersama dan terkoordinasi. Untuk membangun kemampuan dan sinergitas nasional dalam keamanan nuklir MORC telah dibangun suatu wadah koordinasi yang disebut dengan *Indonesia Center of Excellence on Nuclear Security and Emergency Preparedness (I-CoNSEP)*. Dalam perkembangan waktu, peran I-CoNSEP perlu dievaluasi untuk mengetahui efektivitasnya. Sampai saat ini belum ada kajian terkait dengan evaluasi peran I-CoNSEP tersebut. Studi ini dilakukan untuk mengevaluasi peran I-CoNSEP dalam kaitan pengembangan kapasitas nasional terkait keamanan nuklir tersebut. Studi dilakukan dengan metode deskriptif kualitatif berdasarkan standar dan literatur yang tersedia. Hasil kajian menunjukkan bahwa I-CoNSEP memiliki peran yang penting dalam pengembangan kapasitas nasional terkait keamanan nuklir MORC, namun masih perlu ditingkatkan lagi perannya. Dari kajian ini juga ditemukan beberapa area perubahan yang perlu disempurnakan untuk meningkatkan peran tersebut.

Kata kunci: I-CoNSEP, keamanan nuklir MORC, peningkatan kapasitas, SDM keamanan nuklir

PENDAHULUAN

Saat ini tenaga nuklir telah dimanfaatkan secara luas di berbagai bidang, seperti bidang kesehatan, pertanian, penelitian, pendidikan, dan industri, termasuk industri pembangkit tenaga listrik di beberapa negara. Tenaga nuklir, di satu sisi memiliki manfaat yang besar, tetapi di sisi lain juga berpotensi menimbulkan bahaya bagi kesehatan dan keselamatan manusia, apabila terjadi kecelakaan atau penyalahgunaan. Untuk mencegah terjadinya kecelakaan atau penyalahgunaan tenaga nuklir diperlukan pengaturan secara tepat dalam kerangka pengawasan yang kuat oleh pemerintah. Pengaturan tenaga nuklir bertujuan untuk melindungi perorangan, masyarakat dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Pengaturan tenaga nuklir meliputi tiga aspek, yaitu keselamatan, keamanan dan garda aman.

Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency, IAEA*) mengharuskan setiap negara melakukan upaya yang tepat untuk memastikan, bahwa setiap sumber radioaktif (bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya) dalam wilayah teritorinya, di bawah wilayah hukum atau di bawah kendali kekuasaannya dikelola dengan selamat dan aman selama masa pemanfaatan dan pada akhir masa pemanfaatannya [1]. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan lepasnya sumber radioaktif dari kendali pengawasan selama proses pemanfaatannya.

Pengaturan dari aspek keamanan (nuklir) bertujuan mengamankan setiap bahan nuklir, zat radioaktif, fasilitas dan kegiatan terkait bahan nuklir/zatradioaktif, dan mencegah munculnya bahan radioaktif di luar kendali pengawasan (*radioactive materials out of regulatory control, MORC*). Jadi, setiap sumber radioaktif baik berupa bahan nuklir maupun bahan radioaktif lainnya harus selalu berada dalam sistem keamanan nuklir yang kuat dan diawasi secara efektif oleh pemerintah. Bila tidak, sumber radioaktif dapat lepas dari kendali pengawasan, misalnya hilang, dicuri, disabotase, dan sebagainya. Bahan nuklir atau

bahan radioaktif yang lepas dari kendali pengawasan akan sangat rentan disalahgunakan oleh pihak-pihak tertentu untuk aksi terorisme atau tujuan non-damai lainnya. Untuk itu, sistem atau upaya keamanan nuklir sangat diperlukan untuk mencegah, mendeteksi dan merespon terjadinya MORC dan penyalahgunaannya.

Kewajiban pengamanan bahan radioaktif lebih lanjut diperkuat oleh Konvensi Internasional tentang Pencegahan Terorisme Nuklir (*International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism*, ICSANT) 2005 [2] yang mewajibkan setiap negara pihak untuk meningkatkan pengamanan bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya dalam rangka mencegah penyalahgunaan untuk terorisme nuklir. Indonesia telah meratifikasi ICSANT dengan undang-undang nomor 10 tahun 2014 [3] dan menjadi negara pihak konvensi tersebut.

Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) Keamanan Nuklir yang telah diselenggarakan 4 kali berturut-turut pada tahun 2010, 2012, 2014 dan 2016 juga menekankan pentingnya upaya keamanan nuklir secara global. Sebagai bentuk komitmen Indonesia dalam penanganan keamanan nuklir ditunjukkan dengan aktif menghadiri KTT Keamanan Nuklir tersebut. Bahkan pada KTT ke-2 tahun 2012 di Seoul, Presiden Republik Indonesia Susilo Bambang Yudhoyono menyampaikan komitmen Indonesia untuk membuat dan menyampaikan *National Legislation Impelementation Kit on Nuclear Security (Legislation Kit)* sebagai 'oleh-oleh' untuk KTT berikutnya. *Legislation kit* tersebut kemudian disampaikan pada KTT ke-3 tahun 2014 di Den Haag [4].

Untuk merealisasikan komitmen keamanan nuklir, Indonesia telah membangun sistem keamanan nuklir nasional, yang dipelopori oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). BAPETEN sebagai badan pengawas nuklir membentuk pusat unggulan keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir yang diluncurkan pada tanggal 19 Agustus 2014 dengan sebutan *Indonesia Center of Excellence on Nuclear Security and Emergency Preparedness (I-CoNSEP)* [5]. Pusat unggulan tersebut dimaksudkan sebagai wadah koordinasi untuk membangun kemampuan nasional dalam bidang keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir. Dalam hal keamanan nuklir, melalui I-CoNSEP, BAPETEN diharapkan dapat berperan sebagai pendorong percepatan peningkatan kapasitas keamanan nuklir secara nasional.

Setelah 8 tahun sejak diluncurkan, peran dalam pengembangan keamanan nuklir tersebut perlu dievaluasi apakah sudah maksimal atau masih ada hal-hal yang perlu diperbaiki atau ditingkatkan. Namun sampai saat ini belum ada kajian terkait evaluasi I-CoNSEP tersebut. Kajian yang dilakukan dengan deskriptif-kualitatif ini dimaksudkan untuk mengevaluasi I-CoNSEP sebagai pusat unggulan dalam peningkatan kapasitas nasional di bidang keamanan nuklir, khususnya keamanan MORC, melalui identifikasi kesenjangan antara yang telah diperankan dengan potensi peran yang masih dapat ditingkatkan dalam upaya penguatan kapasitas nasional bidang keamanan nuklir. Dari kajian ini dihasilkan beberapa rekomendasi terkait peningkatan peran I-CoNSEP dalam pengembangan sistem keamanan nuklir tersebut.

LANDASAN TEORI

Keamanan Nuklir MORC

Unsur utama dalam keamanan nuklir adalah pencegahan, pemantauan dan penanggulangan tindakan kriminal atau tindakan tidak sah yang disengaja, yang melibatkan atau diarahkan kepada bahan nuklir atau zat radioaktif lainnya, serta kegiatan maupun fasilitas terkait [6]. Karena keamanan nuklir merupakan tanggung jawab negara, pemerintah harus memastikan bahwa setiap bahan nuklir/zat radioaktif, kegiatan dan fasilitas terkait yang ada di wilayahnya dalam keadaan aman. Untuk mencapai keamanan nuklir tersebut, diperlukan sebuah tata kelola keamanan nuklir tingkat nasional, yang dikenal sebagai rejim keamanan nuklir (*nuclear security regime*). Komponen utama dalam rejim keamanan nuklir meliputi [7]:

- kerangka legislasi dan regulasi serta sistem dan tindakan administratif yang mengatur bahan nuklir/zat radioaktif, kegiatan dan fasilitas terkait;
- lembaga dan badan negara yang bertanggung jawab dalam melaksanakan kerangka legislasi dan regulasi serta sistem dan tindakan administratif terkait keamanan nuklir; dan
- sistem dan upaya keamanan nuklir yang mencegah, mendeteksi dan menanggulangi kejadian-kejadian yang membahayakan keamanan nuklir.

Terkait munculnya MORC secara umum terdapat 3 jalur yang dapat diidentifikasi berpotensi menjadi pintu keluarnya, yaitu [8]:

- Produksi bahan radioaktif dalam negeri,
- Impor bahan radioaktif, dan
- Produksi ilegal atau penyelundupan bahan radioaktif.

Jalur 1 dan 2 merupakan jalur resmi masuknya bahan radioaktif di bawah kendali pengawasan. Selama dalam pengawasan, semua bahan radioaktif hasil produksi dalam negeri dan impor tersebut dalam keadaan aman. Namun dalam keadaan tertentu, MORC dapat muncul dari kedua jalur tersebut, misalnya melalui pencurian atau sabotase pada saat importasi, pengangkutan, penggunaan atau penyimpanan. Sedangkan jalur 3 sejak awal memang berada di luar kendali pengawasan, jadi bahan radioaktif yang dihasilkan atau digunakan merupakan MORC.

Dari sudut pandang pengawasan nuklir, sistem keamanan nuklir dapat dibedakan menjadi 2 kelompok besar, yaitu:

- Sistem keamanan nuklir atau sistem proteksi fisik fasilitas nuklir/radiasi di bawah kendali

pengawasan; dan

b) Sistem keamanan nuklir MORC.

Sistem proteksi fisik atau keamanan nuklir di bawah kendali pengawasan dimaksudkan untuk mengamankan setiap bahan nuklir atau bahan radioaktif lain, kegiatan dan fasilitas terkait, dan untuk mencegah terjadinya pencurian, sabotase atau akses yang tidak sah yang menyebabkan lepasnya bahan nuklir atau bahan radioaktif lain dari kendali pengawasan. Bahan nuklir atau bahan radioaktif lain yang lepas dari kendali pengawasan disebut sebagai MORC. Keberadaan MORC merupakan ancaman bagi keselamatan dan kesehatan masyarakat serta lingkungan hidup, karena berpotensi untuk dimanfaatkan oleh pihak-pihak tertentu untuk tujuan non damai. Untuk itu, pemerintah harus berupaya mencegah, mendeteksi, dan menanggulangi setiap kejadian keamanan yang melibatkan MORC dengan membangun sistem keamanan MORC.

Ketangguhan sistem keamanan nuklir di bawah kendali pengawasan (proteksi fisik) sangat menentukan efektivitas sistem keamanan MORC. Hal itu karena rentannya sistem keamanan nuklir di bawah kendali pengawasan akan meningkatkan potensi lepasnya bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya dari rejim pengawasan melalui pencurian, sabotase, dan/atau kehilangan dan berubah menjadi MORC. Dan hal tersebut merupakan celah bagi pelaku kejahatan yang melibatkan bahan nuklir atau bahan radioaktif lain untuk mengakses atau mendapatkan bahan tersebut

I-CoNSEP

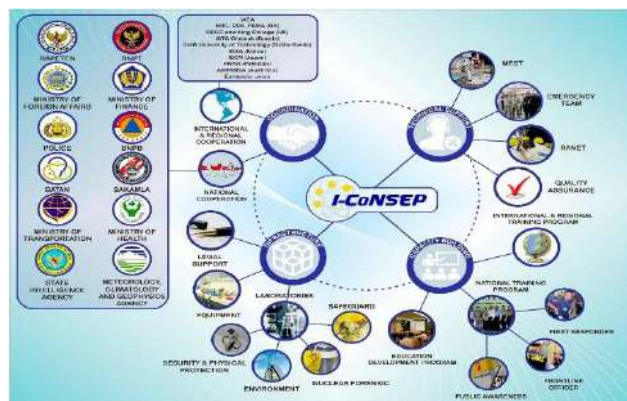
I-CoNSEP adalah pusat unggulan yang dibentuk oleh BAPETEN dengan tujuan untuk membangun kapasitas nasional di bidang keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir dalam rangka mendukung pengawasan nuklir. Pusat unggulan yang diresmikan pada tanggal 19 Agustus 2014 di Yogyakarta dan berkantor di Gedung C BAPETEN itu diharapkan dapat berperan sebagai wadah koordinasi, komunikasi dan kerjasama antar lembaga dalam meningkatkan kemampuan nasional di bidang keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir [5].

Dalam hal ini ada dua bidang pengembangan yang menjadi fungsi I-CoNSEP, yaitu keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir. Untuk bidang keamanan nuklir, tugas pengembangan lebih difokuskan pada keamanan MORC. Sedangkan terkait bidang kesiapsiagaan nuklir, BAPETEN membangun kemampuan respon cepat dan tepat dalam hal terjadi kedaruratan nuklir, baik yang diakibatkan oleh kecelakaan nuklir maupun kejadian keamanan nuklir.

I-CoNSEP memiliki 4 (empat) fungsi atau sering juga disebut sebagai 4 pilar, yaitu:

- 1) Koordinasi (*Coordination*),
- 2) Dukungan Teknis (*Technical Support*),
- 3) Pembangunan Kapasitas (*Capacity Building*), dan
- 4) Infrastruktur (*Infrastructure*).

Gambar 1 memperlihatkan pilar-pilar tersebut beserta sub-sub pilar dan hubungannya dengan lembaga-lembaga yang terkait dengan fungsi I-CoNSEP. Melalui wadah I-CoNSEP, BAPETEN berkoordinasi dengan berbagai lembaga terkait, baik lembaga nasional maupun internasional. Selain untuk membangun kapasitas nasional, I-CoNSEP juga diharapkan dapat menjadi pusat unggulan di tingkat kawasan Asia Tenggara dalam bidang keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir.



GAMBAR 1. Pilar-pilar fungsi dan peta Koordinasi I-CoNSEP [6]

PEMBAHASAN

Dalam rangka mencegah, mendeteksi dan merespon kejadian keamanan nuklir melibatkan MORC, kapasitas keamanan nuklir khususnya keamanan MORC yang memadai perlu dibangun dan dikembangkan. Beberapa aspek penting yang perlu dibangun dan dikembangkan dalam rangka peningkatan kapasitas nasional terkait keamanan nuklir meliputi [9]:

- 1) legislasi dan regulasi,

- 2) infrastruktur keamanan MORC,
- 3) kompetensi petugas lini depan (*front line officer*, FLO), dan
- 4) koordinasi nasional.

Pembahasan dalam makalah ini difokuskan pada tiga aspek, yaitu infrastruktur keamanan MORC, kompetensi SDM keamanan nuklir, dan koordinasi nasional. Sedangkan aspek legislasi dan regulasi tidak dibahas, mengingat I-CoNSEP tidak banyak berperan dalam pengembangan aspek ini.

Peran I-CoNSEP Saat ini dalam Pengembangan Kapasitas Nasional Keamanan MORC

Pengembangan Infrastruktur Keamanan MORC

Infrastruktur keamanan nuklir khususnya perangkat deteksi radiasi untuk keamanan MORC merupakan komponen vital dalam keamanan nuklir. Perangkat tersebut diperlukan untuk memantau titik-titik yang rawan terjadi pergerakan bahan nuklir/radioaktif secara ilegal dan penyelundupan bahan nuklir/radioaktif, seperti pelabuhan, bandara dan perbatasan darat. Mengingat luasnya wilayah Indonesia dan banyaknya titik-titik yang potensial menjadi pintu masuknya MORC, diperlukan perangkat deteksi radiasi dan infrastruktur pendukungnya dalam jumlah yang memadai.

BAPETEN melalui I-CoNSEP, telah menyediakan kecukupan infrastruktur berupa laboratorium, peralatan pengawasan dan SOP yang mampu terap, untuk mendukung fungsi pengawasan keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir [6]. Laboratorium yang telah dibangun antara lain adalah laboratorium pengawasan lingkungan dan laboratorium garda-aman dan keamanan nuklir, dengan peralatan yang dimiliki antara lain: spektroskopi gamma, pencacah alfa-beta, HPGe portabel, dan spektroskopi massa.

Untuk menunjang pelaksanaan pengawasan ketenaganukliran, peralatan utama sistem pengawasan (alutsiwas) yang dimiliki oleh BAPETEN antara lain adalah: surveiometer, alat ukur kontaminasi, dosimeter personal, pengidentifikasi nuklida, alat pelindung diri, kendaraan pemantau radioaktivitas lingkungan, kendaraan dekontaminasi, dan peralatan pendukung lainnya.

Selain alutsiwas yang dikelola oleh BAPETEN di dalam kantor, juga terdapat alat pemantau radiasi yang terdapat di beberapa lokasi di luar kantor BAPETEN yang semuanya dimaksudkan untuk menunjang pelaksanaan fungsi pengawasan nuklir, antara lain *Radiation Portal Monitor* (RPM) yang ditempatkan pada beberapa pelabuhan utama dan pelabuhan kelas I, dan *Radiation Data Monitoring System* (RDMS) yang dipasang di beberapa stasiun BMKG, kawasan nuklir dan obyek vital.

BAPETEN juga menghibahkan beberapa alat ukur radiasi kepada beberapa instansi pemerintah terkait yang penting dalam rangka meningkatkan kemampuan deteksi terhadap bahan nuklir/radioaktif lainnya dalam rangka keamanan nuklir, yaitu [10]:

- Sekretariat Negara (Sekneg) untuk pengamanan RI-1 dan RI-2,
- Gegana Brimob - POLRI,
- Syahbandar Belawan,
- KPPBC Belawan,
- BP Batam, dan
- Kantor Pusat Bea dan Cukai.

Kecuali beberapa peralatan yang dihibahkan kepada beberapa K/L di atas, pengembangan infrastruktur yang ditangani BAPETEN melalui I-CoNSEP saat ini lebih terfokus pada infrastruktur yang dibutuhkan oleh BAPETEN dalam mendukung pelaksanaan pengawasan ketenaganukliran secara umum. Sementara itu, untuk penanganan MORC seperti peralatan deteksi di pelabuhan, bandara maupun perbatasan negara, serta peralatan lain yang diperlukan oleh K/L lain masih sangat minim dan perlu dikembangkan.

Saat ini telah terpasang beberapa RPM di pelabuhan, antara lain terdapat 7 (tujuh) buah RPM yang merupakan bantuan dari IAEA, serta beberapa perangkat lain merupakan milik pelabuhan atau Ditjen Bea & Cukai. Terkait RPM yang terpasang di pelabuhan, BAPETEN melalui I-CoNSEP telah berperan membina kemampuan FLO di pelabuhan untuk dapat mengoperasikan RPM dan menganalisis informasi terkait hasil deteksi radiasi. BAPETEN juga mengirim tim ahli (*mobile expert support team*, MEST) bila terjadi malfungsi alat atau dalam hal terjadi masalah keamanan nuklir yang perlu mendapatkan bantuan dalam penanganannya.

Selain di pelabuhan, terdapat beberapa RPM yang dihibahkan ke pihak Istana Presiden Jakarta, yaitu berupa dua buah RPM Pejalan Kaki (*Pedestrian RPM*) dan satu buah RPM yang dapat dipindahkan (*Transportable RPM*). Melalui I-CoNSEP, BAPETEN juga berperan menyediakan pelatihan dan bimbingan teknis kepada SDM keamanan nuklir untuk dapat mengoperasikan RPM atau cara mendeteksi radiasi dan mengidentifikasi radionuklida, memahami efek radiasi dan proteksi radiasi, serta melakukan tindakan respon, bila terdeteksi adanya bahan nuklir/radioaktif.

Pengembangan Kompetensi SDM Keamanan Nuklir

SDM keamanan nuklir cakupannya cukup luas, mulai dari petugas kepabeaan (DJBC), polisi penjaga keamanan, tentara pengawal presiden, penjaga istana negara, inspektur keamanan nuklir, dan sebagainya. Sesuai tugasnya, SDM keamanan nuklir harus memiliki kompetensi yang memadai agar dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Kompetensi yang dimaksud antara lain adalah penguasaan teknik pengamanan (kecuali untuk inspektur keamanan nuklir), kemampuan berkomunikasi dan berkoordinasi,

penguasaan teknik deteksi radiasi, kemampuan melakukan interpretasi dan respon terhadap informasi kejadian keamanan, dan sebagainya.

Terkait dengan keamanan nuklir di luar kendali pengawasan, personil yang bertugas di kepabeanean (bandara, pelabuhan, dan perbatasan darat) merupakan personil yang paling sering berhubungan dengan masalah keluar/masuknya barang dari/ke wilayah negara, yang di antaranya kemungkinan mengandung bahan radioaktif. Mereka merupakan petugas lini depan yang sangat berperan dalam menjaga keamanan wilayah NKRI dari MORC. Kompetensi petugas lini depan ini sangat menentukan keberhasilan keamanan nuklir, oleh karenanya perlu diberikan pelatihan yang memadai mengenai pendeteksian radiasi, pemahaman informasi mengenai hasil deteksi, dan penanganan bahan yang terdeteksi mengandung radiasi. Selain petugas kepabeanean, juga terdapat SDM keamanan nuklir lainnya, seperti polisi penjaga keamanan, pengawal presiden, penjaga istana negara, inspektur keamanan nuklir, dan sebagainya.

BAPETEN melalui I-CoNSEP telah memberikan pelatihan dan bimbingan teknis mengenai deteksi radiasi dalam rangka peningkatan SDM keamanan nuklir di Indonesia. Sejak tahun 2015 hingga 2021 tercatat ada 883 orang FLO yang telah dilatih dan dibimbing oleh BAPETEN. Peserta pelatihan dan bimbingan teknis tersebut berasal dari berbagai instansi seperti berikut [10]:

- Direktorat Jenderal Bea dan Cukai;
- KPPBC: Makassar, Bitung, Semarang, Belawan, Surabaya, Tanjung Priok;
- Kantor Syahbandar: Makassar, Jakarta, Surabaya, Belawan;
- Kantor Otoritas Pelabuhan: Makassar, Jakarta, Surabaya, Belawan;
- Kantor Syahbandar dan Otoritas Pelabuhan: Bitung, Semarang;
- Terminal Petikemas: Makassar, Bitung, Semarang, Belawan; dan
- BIN, BNPT, Gegana Brimob, Bakamla, Setmilpres, Setpres, Paspampres, BKD Setneg, BNPP, IstanaBogor, Pelindo, Kepolisian Wilayah, Polairud, KKP-Kemenkes, TNI-AL.

Pelatihan dan bimbingan teknis tersebut dilakukan untuk meningkatkan kompetensi FLO dalam hal penanganan keamanan nuklir, khususnya terkait pendeteksian dan melakukan respons bila terdeteksi bahan nuklir/radioaktif, serta meningkatkan komunikasi dan koordinasi antar pemangku kepentingan terkait keamanan nuklir. Untuk terus mempertahankan kompetensi SDM keamanan nuklir, hingga saat ini pelatihan dan bimbingan teknis selalu dilakukan secara rutin. Pada Gambar 2 ditunjukkan suasana pelatihan dan bimbingan teknis FLO yang dilakukan oleh BAPETEN.



GAMBAR 2. Suasana Pelatihan dan Bimbingan Teknis untuk FLO [10]

Penyediaan Dukungan Teknis

Banyak pemangku kepentingan yang terlibat dalam pelaksanaan sistem keamanan nuklir. Sebagai contoh Ditjen Bea & Cukai atau otorita pelabuhan dalam pengoperasian RPM di pelabuhan, TNI dalam mengoperasikan perangkat pemantau radiasi di istana presiden, POLRI dalam pengamanan obyek-obyek vital, dan sebagainya. Pada saat pengoperasian sistem deteksi radiasi seperti itu sering muncul kendala atau masalah teknis, misalnya gagal fungsi alat, yang terkadang tidak dapat langsung diatasi oleh pemangku kepentingan. Untuk itu diperlukan dukungan teknis yang dimaksudkan sebagai sediaan bantuan teknis untuk mengatasi masalah-masalah teknis di lapangan tersebut.

Terkait dengan keamanan MORC, selain masalah peralatan deteksi radiasi juga dapat muncul masalah-masalah lainnya, misalnya terdeteksi adanya bahan radioaktif dalam kontainer di pelabuhan, ditemukan radioaktif lain tak bertuan, atau ditemukan bahan tertentu yang dicurigai mengandung zat radioaktif di suatu tempat yang tidak bisa langsung didapatkan solusinya. Dalam hal ini dukungan teknis dari BAPETEN sangat diperlukan. Dukungan teknis yang dilakukan dapat berupa konsultasi penyelesaian masalah, pengiriman ahli ke lapangan untuk memberikan solusi, atau berupa pengecekan dalam laboratorium untuk memastikan zat-zat yang terkandung dalam bahan temuan yang dicurigai. Gambar 3 memperlihatkan contoh kegiatan BAPETEN dalam memberikan dukungan teknis keamanan nuklir, yaitu pengecekan radiasi pada kontainer yang dicurigai mengandung bahan radioaktif.



GAMBAR 3. Pengecekan radiasi oleh MEST pada kontainer yang mengandung zat radioaktif [10]

Beberapa contoh dukungan teknis yang telah dilakukan oleh BAPETEN melalui pengiriman MEST dalam rangka membantu penyelesaian kasus di lapangan antara lain sebagai berikut:

- pengecekan operasional perangkat RPM di beberapa pelabuhan;
- pengecekan kontainer yang diduga mengandung zat radioaktif;
- penanganan barang-barang yang mengandung sumber radiasi yang disita polisi di pelabuhan;
- pemetaan, sterilisasi dan pemantauan radiasi pada tempat-tempat penting untuk gala akbar (*major public event*, MPE): Asian Games 2018 di Jakarta-Palembang, dan Konferensi Bank Dunia 2018 di Bali; dan
- pengecekan laboratorium terhadap sampel-sampel yang diduga mengandung bahan nuklir/radioaktif.

Koordinasi Nasional

Dalam upaya membangun sistem keamanan nuklir MORC, koordinasi nasional merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi, karena keamanan nuklir MORC tidak bisa tidak harus melibatkan berbagai kewenangan. Banyak kementerian, lembaga atau organisasi memiliki kewenangan dan tanggungjawab yang saling beririsan antara satu dengan lainnya, sehingga koordinasi sangat diperlukan. Koordinasi yang efektif juga perlu dipastikan antar tingkatan dan wilayah hukum yang berbeda mulai dari pemerintah pusat, pemerintah daerah dan pihak berwenang lokal.

Koordinasi nasional yang perlu dilakukan mencakup hampir semua unsur pengembangan kapasitas keamanan nuklir, mulai dari pembentukan dan penyusunan legislasi dan regulasi, pembangunan infrastruktur, peningkatan kompetensi personil keamanan, kajian ancaman keamanan nuklir dan penyusunan dokumen Ancaman Dasar Desain Nasional (ADDN) untuk keamanan nuklir nasional. Dalam rangka melaksanakan koordinasi tersebut, diperlukan wadah (badan) koordinator serta mekanisme koordinasi yang efektif, sesuai dengan dasar hukum yang dimiliki [9].

Dalam kaitan dengan koordinasi nasional, koordinasi telah dilakukan dengan berbagai lembaga terkait, antara lain dengan Kementerian Perhubungan (Kemenhub), Direktorat Jenderal Bea dan Cukai (DJBC), Kepolisian Republik Indonesia (Polri), Tentara Nasional Indonesia (TNI), Kementerian Kesehatan (Kemenkes), Badan Keamanan Laut (Bakamla), dan Badan Pengusahaan Batam (BP Batam). Nota kesepahaman juga telah ditanda-tangani dengan beberapa lembaga tersebut [10]. Koordinasi dengan lembaga-lembaga tersebut sampai saat ini lebih terfokus pada peningkatan kompetensi personil dan penyediaan dukungan teknis terhadap peralatan deteksi. Selain itu, saat ini juga sedang disiapkan MoU terkait operasional perangkat deteksi radiasi (RPM dan RDMS) di lingkungan istana presiden bersama instansi berwenang terkait. Gambar 4 menunjukkan salah satu contoh koordinasi yang dilakukan oleh pimpinan BAPETEN melalui kunjungan dan audiensi kepada Menteri Perhubungan.



GAMBAR 4. Pimpinan BAPETEN melakukan audiensi dengan Menteri Perhubungan [10]

Peran I-CoNSEP yang Perlu Ditingkatkan dalam Pengembangan Kapasitas Nasional Keamanan MORC

Peningkatan Peran dalam Pengembangan Infrastruktur Keamanan MORC

Mengacu pada Keputusan Menteri Perhubungan No. KP 414 tahun 2013 tentang Penetapan Rencana Induk Pelabuhan Nasional, pada tahun 2020 di Indonesia terdapat **1.240** pelabuhan dengan **49** pelabuhan

utama yang melayani layanan internasional [11]. Sedangkan terkait bandara, sesuai dengan Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 166 tahun 2019 tentang Tata Letak dan Fasilitas Bandara dan Pelabuhan Udara Internasional Nasional, terdapat 251 bandara kondisi tahun 2019) dan direncanakan akan ada tambahan 50 bandara lagi, jadi total 301 bandara. Di antara bandara tersebut terdapat **34** bandara internasional [12]. Pelabuhan utama dan bandara internasional merupakan beberapa jalur pintu masuknya MORC. Selain pelabuhan dan bandara, Indonesia memiliki garis perbatasan laut dan darat yang cukup panjang yang di dalamnya terdapat beberapa pos-pos lintas batas negara (PLBN).

Untuk perbatasan darat, Indonesia berbatasan dengan tiga negara tetangga, yaitu Malaysia, Timor Leste, dan Papua Nugini dengan total panjang perbatasan 3.108,3 km. Di antara tiga perbatasan darat tersebut, perbatasan dengan Malaysia merupakan yang terpanjang, yaitu 2.019,5 km di Pulau Kalimantan yang berimpit langsung dengan Provinsi Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, dan Kalimantan Barat. Perbatasan darat terpanjang berikutnya adalah perbatasan dengan Papua Nugini, yaitu sepanjang 820 km. Dalam hal ini Provinsi Papua berbatasan langsung dengan Provinsi Sandaun dan Western di Papua Nugini. Negara ketiga yang berbatasan darat dengan Indonesia adalah Timor Leste yang terletak di Pulau Timor. Provinsi Nusa Tenggara Timur di Indonesia berbatasan dengan Kota Bobonaro dan Covalima, atau wilayah administratif khusus Oecusse. Total panjang perbatasan Indonesia dengan negara Timor Leste adalah 268,8 km [13]. Sebagai fasilitas pemeriksaan dan pelayanan keluar/masuknya orang (*travellers*) dan barang dari/ke dalam wilayah negara, pada beberapa titik di perbatasan darat disediakan beberapa pos lintas batas negara (PLBN).

Selain di perbatasan darat juga terdapat PLBN di perbatasan laut. Saat ini terdapat 52 PLBN Darat dan 35 PLBN Laut [10], dan di antaranya terdapat 18 (delapan belas) PLBN Terpadu yang tersebar di beberapa kawasan perbatasan darat Indonesia dengan 3 negara tersebut [14]. Gambar 5 menunjukkan peta PLBN darat dan laut yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia,



GAMBAR 5. Peta Lokasi Pos Lintas Batas Negara [10]

Mengingat banyaknya pintu masuk-keluar wilayah negara Indonesia, baik berupa pelabuhan, bandara maupun PLBN, maka secara otomatis terdapat kerawanan atau ancaman keamanan, yaitu potensi penyelundupan atau perdagangan ilegal bahan radioaktif melalui pintu-pintu tersebut. Untuk mencegah, mendeteksi dan merespon kejadian keamanan nuklir melibatkan bahan nuklir/radioaktif diperlukan infrastruktur keamanan nuklir, khususnya berupa RPM dalam jumlah yang cukup banyak. Pertanyaannya adalah siapa yang harus membangun infrastruktur tersebut, instansi mana yang akan mengadakan dan mengelola sistem deteksi radiasi tersebut. Jawaban dari pertanyaan ini harusnya terdapat di dalam legislasi dan regulasi. Namun demikian, oleh karena hal-hal terkait pengembangan infrastruktur keamanan MORC ini belum diatur dalam legislasi dan regulasi, maka diperlukan komunikasi dan koordinasi di antara lembaga terkait untuk mencapai kesepakatan mengenai lembaga-lembaga yang akan terlibat serta peran tanggungjawabnya dalam pengembangan infrastruktur keamanan MORC.

BAPETEN melalui I-CoNSEP dalam hal ini dapat mengambil peran sebagai pendorong terbangunnya infrastruktur nasional keamanan nuklir melalui koordinasi dengan pihak-pihak terkait. BAPETEN perlu melakukan koordinasi untuk mendorong K/L terkait keamanan nuklir untuk secara mandiri atau bersama-sama melengkapi kebutuhan infrastruktur keamanan nuklir yang diperlukan secara nasional. Pemasangan sistem deteksi radiasi di pelabuhan utama, bandara internasional dan PLBN harus menjadi prioritas dalam rangka mencegah dan menangkal penyelundupan bahan nuklir atau bahan radioaktif lain melalui pintu-pintu tersebut. Untuk itu perlu peningkatan komunikasi dan kerja sama dengan Kementerian Perhubungan, Direktorat Jenderal Bea & Cukai (Kementerian Keuangan), pengelola pelabuhan dan bandara, Direktorat Jenderal Imigrasi (Kementerian Hukum dan HAM), dan Badan Nasional Pengelola Perbatasan (BNPP) untuk berbagi informasi tentang pentingnya pengawasan barang-barang yang masuk melalui pelabuhan, bandara dan PLBN dari sisi keamanan MORC. Komunikasi dan kerja sama juga dilakukan dengan berbagai otoritas yang ada di pelabuhan, mengingat di setiap pelabuhan pada umumnya terdapat lebih dari satu lembaga yang berwenang.

Koordinasi terkait pemasangan sistem deteksi radiasi di pelabuhan, bandara dan PLBN memang bukan hal yang mudah. Hal itu disebabkan antara lain karena kurangnya payung hukum yang menjadi dasar bagi pihak pengelola pelabuhan, bandara dan perbatasan untuk memasang sistem deteksi tersebut. Kurangnya dasar hukum tersebut juga menyebabkan adanya bias mengenai pihak-pihak yang berwenang mengadakan, memasang dan mengoperasikan. Namun demikian, sambil menunggu ditetapkan peraturan-perundangan yang memadai sebagai dasar hukum terkait keamanan nuklir tersebut, koordinasi perlu terus dilanjutkan oleh BAPETEN sebagai badan pengawas nuklir melalui wadah I-CoNSEP.

Penyelundupan atau perdagangan gelap bahan radiokatif juga sangat mungkin terjadi di tengah laut (antar kapal). Oleh karena itu pengamanan laut oleh Badan Keamanan Laut (BAKAMLA) perlu diperkuat dengan sistem deteksi radiasi. Sistem deteksi radiasi akan sangat efektif bila dipasang di fasilitas pemantau keamanan laut (misalnya di kapal patroli), karena tim patroli dari BAKAMLA yang merupakan salah satu garda depan akan sangat mungkin berhadapan langsung dengan pelaku penyelundupan perdagangan gelap bahan radioaktif di laut, ketika mengadakan patroli laut. Sistem deteksi radiasi akan memudahkan mereka mengidentifikasi keberadaan bahan radioaktif tersebut di dalam kapal pelaku. Untuk itu, kerja sama dengan BAKAMLA yang sudah dirintis sejak beberapa tahun lalu perlu terus dilanjutkan dan ditingkatkan.

Dalam rangka pengamanan orang-orang penting (VIP dan VVIP), seperti presiden/wakil presiden, termasuk tamu penting negara (VVIP), menteri, anggota dewan, kepala lembaga, dan sebagainya, infrastruktur keamanan nuklir MORC juga perlu diperkuat di gedung-gedung penting seperti istana presiden, gedung MPR/DPR/DPD, gedung-gedung kementerian, gedung-gedung lembaga pemerintah, dan obyek-obyek vital lainnya. Sistem deteksi radiasi perlu dipasang pada gedung-gedung penting tersebut. Saat ini semua istana presiden sudah dipasang sistem deteksi radiasi, seperti Istana Jakarta, Istana Bogor, Istana Cipanas, Istana Yogyakarta, dan Istana Bali. Di samping istana presiden, banyak juga gedung-gedung penting dan obyek vital lainnya yang perlu dipasang sistem deteksi radiasi.

Peningkatan Peran dalam Pengembangan Kompetensi SDM Keamanan Nuklir

Yang menjadi tantangan dalam pembinaan SDM keamanan nuklir adalah terkait seringnya pergantian FLO. Rotasi penugasan di satu sisi harus dilaksanakan untuk menghindari terjadinya kolusi, terbentuknya zona nyaman, atau kebosanan bagi seorang pegawai. Namun demikian, di sisi lain seringnya terjadi pergantian personil mengharuskan adanya penyediaan pelatihan yang terus-menerus, karena personilnya terus berganti. Personil yang baru memerlukan pembekalan dengan kompetensi terkait keamanan nuklir. Setiap terjadi pergantian personil harus dilakukan pelatihan lagi untuk personil yang baru. Hal itu memerlukan sumber daya pelatih dalam jumlah yang banyak dan biaya yang tidak sedikit. Untuk mengatasi hal itu, dapat diambil strategi pelatihan dengan opsi-opsi berikut:

- a. BAPETEN melalui I-CoNSEP tetap menyediakan pelatihan FLO secara berkala dengan menambah anggaran dan jumlah pengajar. Dengan opsi ini, BAPETEN selain mengadakan pelatihan, juga dapat sekaligus berkomunikasi dan berkoordinasi secara langsung dan menjalin kerjasama dengan para FLO. Opsi pelatihan seperti ini telah dilakukan oleh BAPETEN.
- b. BAPETEN melalui I-CoNSEP mengadakan *training of trainers* (ToT) kepada instruktur pada instansi induk FLO, misalnya Direktorat Jenderal Bea dan Cukai, Mabes Polri, Mabes TNI, dan sebagainya. Selanjutnya para instruktur mereka yang akan memberikan pelatihan ketika terjadi pergantian FLO. Dengan demikian, dapat mengurangi jumlah kebutuhan instruktur dan sumber daya lain di sisi BAPETEN, dan bahkan dapat menambah kompetensi instruktur instansi induk FLO. Opsi ini dapat dipertimbangkan oleh BAPETEN dalam upaya meningkatkan efektivitasnya dalam peran pengembangan kompetensi SDM keamanan nuklir.

Peningkatan Peran dalam Penyediaan Dukungan Teknis

Dalam kaitan dengan keamanan MORC, BAPETEN melalui I-CoNSEP menyediakan dukungan teknis berupa:

- a) tim ahli (mobile expert supports team, MEST) yang siap dikirim ke lapangan berdasarkan permintaan/kebutuhan,
- b) laboratorium keamanan/lingkungan yang siap melakukan analisis sampel untuk memastikan kandungan isotop dan tingkat radiasi/kontaminasi dalam bahan temuan yang dicurigai, dan
- c) satuan tanggap darurat (STD). STD disiapkan untuk merespon keadaan darurat nuklir baik yang diakibatkan oleh kecelakaan nuklir/radiasi maupun oleh kejadian keamanan nuklir

Gambar 6 memperlihatkan dukungan-dukkungan teknis yang dapat disediakan oleh BAPETEN melalui wadah I-CoNSEP.



GAMBAR 6. Dukungan Teknis I-CoNSEP [6]

Dalam penyediaan dukungan teknis untuk keamanan MORC, BAPETEN melalui I-CoNSEP dapat lebih berperan dengan meningkatkan koordinasi dan kolaborasi dengan berbagai lembaga berwenang untuk memperbaiki serta meningkatkan kemampuan dukungan teknis terhadap keamanan nuklir nasional. Sebagai contoh koordinasi dan kolaborasi dengan POLRI dalam rangka mengembangkan kemampuan laboratorium untuk mendukung fungsi forensik untuk keamanan nuklir, dengan BAKAMLA untuk mengadakan latihan bersama dalam merespon kejadian penyelundupan MORC melalui laut, atau dengan BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) dalam membangun kapasitas penanggulangan darurat khususnya di bidang kedaruratan nuklir.

Peningkatan Peran dalam Koordinasi Nasional

Pilar pertama I-CoNSEP adalah membangun dan meningkatkan kolaborasi dan sinergi dengan semua pihak berkepentingan baik secara nasional, regional maupun internasional. Koordinasi yang telah dilakukan dalam lingkup nasional adalah koordinasi dengan beberapa instansi/organisasi dalam negeri, misalnya dengan BAKAMLA, BMKG, POLRI, DJBC (Kementerian Keuangan), Kementerian Pemuda dan Olah Raga (Kemenpora), Kementerian Luar Negeri (Kemenlu), Universitas Gadjah Mada (UGM), dan sebagainya. Koordinasi nasional tersebut telah dipraktekkan antara lain dalam penyelenggaraan perhelatan besar (Asian Games dan IMF-WB Meeting 2018), pemasangan RPM bantuan IAEA di beberapa pelabuhan, pemasangan detektor radiasi di beberapa stasiun BMKG, latihan gabungan keamanan nuklir di laut dengan BAKAMLA, dan lain-lain.

Peran I-CoNSEP ke depan perlu lebih ditingkatkan dalam kerangka koordinasi nasional. Terkait dengan pengembangan infrastruktur, I-CoNSEP dapat berperan untuk meningkatkan komunikasi dan koordinasi dengan lembaga-lembaga berwenang untuk mendapatkan kesepakatan terkait fungsi dan kewenangan lembaga-lembaga yang akan mengelola RPM dan infrastruktur keamanan nuklir lainnya. Kesepakatan berupa daftar instansi yang terlibat dalam pengembangan infrastruktur keamanan nuklir, termasuk peran dan tanggungjawab masing-masing instansi dalam penentuan lokasi, pengadaan, pemasangan, pengoperasian sistem deteksi, dan sebagainya dapat dijadikan sebagai acuan bersama.

Dalam hal peningkatan kompetensi SDM Keamanan Nuklir khususnya FLO, BAPETEN melalui I-CoNSEP dapat meningkatkan koordinasi dengan instansi induk FLO seperti DJBC, Mabes POLRI, Mabes TNI, BAKAMLA, dan sebagainya untuk menentukan strategi pelatihan FLO. Untuk mengefektifkan sumber daya BAPETEN yang terbatas, maka pelaksanaan ToT bagi instruktur pada instansi induk FLO tentang teknik deteksi radiasi bisa jadi merupakan opsi yang terbaik. Instruktur pada instansi induk yang telah mendapatkan ToT selanjutnya dapat memberikan pelatihan kepada FLO baru ketika terjadi pergantian FLO di lapangan.

Selain kerjasama dalam pengembangan infrastruktur dan peningkatan kompetensi SDM keamanan nuklir, I-CoNSEP juga dapat meningkatkan kerjasama, misalnya dengan POLRI dalam rangka mengembangkan kemampuan forensik keamanan nuklir, dengan BAKAMLA untuk meningkatkan kemampuan tanggap terhadap kejadian penyelundupan bahan nuklir/radioaktif melalui laut, dan dengan BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) dalam membangun kapasitas penanggulangan kedaruratan nuklir. Selain itu, I-CoNSEP juga diharapkan dapat berperan dalam melakukan koordinasi pelaksanaan analisis ancaman keamanan nuklir dalam rangka penyusunan dokumen Analisis Dasar Desain Nasional (ADDN), yaitu suatu dokumen acuan nasional yang sangat penting dalam rangka pengembangan sistem keamanan nuklir, khususnya keamanan nuklir MORC.

KESIMPULAN DAN SARAN

I-CoNSEP memiliki peran yang sangat strategis sebagai pusat pengembangan kapasitas nasional terkait keamanan MORC. BAPETEN melalui I-CoNSEP telah banyak melakukan koordinasi, dukungan teknis, pembangunan kapasitas, dan pembangunan infrastruktur. Dalam pengembangan kapasitas nasional di bidang keamanan nuklir MORC, peran I-CoNSEP masih dapat dan perlu ditingkatkan dengan beberapa upaya peningkatan, yaitu:

- a. peningkatan komunikasi dan koordinasi dengan lembaga-lembaga berwenang untuk mendapatkan kesepakatan terkait kewenangan lembaga-lembaga yang terlibat dalam pengembangan infrastruktur keamanan nuklir, termasuk peran dan tanggungjawab masing-masing instansi;
- b. peningkatan kompetensi SDM keamanan nuklir melalui penyediaan kegiatan ToT kepada instruktur pada instansi induk FLO;
- c. peningkatan kerjasama dengan POLRI khususnya terkait pemberdayaan laboratorium keamanan nuklir BAPETEN untuk mengembangkan kemampuan forensik keamanan nuklir; dan
- d. peningkatan peran dalam melakukan koordinasi pelaksanaan analisis ancaman keamanan nuklir dalam rangka penyusunan ADDN sebagai acuan nasional dalam pengembangan sistem keamanan nuklir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada manajemen dan kolega di P2STPIBN atas dukungannya dalam pelaksanaan kajian ini, dan ucapan terima kasih kepada pimpinan dan kolega di DKKN atas dukungan, kerjasama dan penyediaan bahan-bahan dalam penyusunan hasil kajian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1] International Atomic Energy Agency, "Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources", Vienna, 2004
- [2] International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism (ICSANT) 2005 (mulai ditandatangani 14 September 2005, mulai berlaku 7 Juli 2007).
- [3] Republik Indonesia, Undang-Undang No. 10 Tahun 2014 tentang Ratifikasi International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism 2005, 2014
- [4] The Government of Indonesia and VERTIC, "National Legislation Implementation Kit on Nuclear Security", Presented by the Republic of Indonesia to the Nuclear Security Summit, The Hague, Netherland, 24 – 25 March 2014.
- [5] BAPETEN, Inauguration of the Indonesia Center of Excellent on Nuclear Security and Emergency Preparedness (I-CoNSEP), BAPETEN News, 21 Agustus 2014. <https://www.bapeten.go.id/berita/inauguration-of-the-indonesia-center-of-excellent-for-nuclear-security-and-emergency-preparedness-iconep-134730>.
- [6] BAPETEN, Peran Strategis I-CoNSEP Mendukung BAPETEN Mewujudkan Keamanan dan Keselamatan Nuklir Indonesia, Booklet I-CoNSEP Rev05, 2019.
- [7] International Atomic Energy Agency, "Nuclear Security Recommendations on Radioactive Material and Associated Facilities", IAEA Nuclear Security Series No. 14, IAEA, Vienna, 2011.
- [8] Huda, K., dkk., "Challenges in the Development of Nuclear Security Systems for Nuclear and Other Radioactive Materials out of Regulatory Controls (MORC)", Seminar Keselamatan Nuklir, 4 Agustus 2021.
- [9] International Atomic Energy Agency, "Nuclear Security Recommendations on Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control", IAEA Nuclear Security Series No. 15, Vienna, 2011.
- [10] Zulkarnain, Status Pengembangan Sistem Pengawasan Keamanan Nuklir MORC, Dipresentasikan pada Rapat Koordinasi Kajian MORC, BAPETEN, 15 April 2021.
- [11] Keputusan Menteri Perhubungan No. KP 414 Tahun 2013 tentang Penetapan Rencana Induk Pelabuhan Nasional, Kemenhub, 2013
- [12] Keputusan Menteri Perhubungan No. KM 166 Tahun 2019 tentang Tatanan Kebandarudaraan Nasional, Kemenhub, 2019.
- [13] Arendya Nariswati, "Batas-batas wilayah Indonesia dari Segala Penjuru yang Wajib Kalian Ketahui", Suara.com, 15 November 2021. <https://www.suara.com/lifestyle/2021/11/15/110112/batas-batas-wilayah-indonesia-dari-segala-penjuru-yang-wajib-kalian-ketahui#> (diakses 1 April 2022)
- [14] Direktorat Jenderal Cipta Karya - Kementerian Pekerjaan Umum, "Peraturan BNPP Nomor 1 Tahun 2015. http://sim.ciptakarya.pu.go.id/sipkp/assets/admin/doc/Peraturan_BNPP_Nomor_1_Tahun_2015.pdf (diakses tanggal 27 Juli 2022)



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



TINJAUAN PEMODELAN BIAYA PEMANTAUAN PADA STASIUN PEMANTAUAN RADIASI DI INDONESIA

Nurhadiansyah^{1, a)}, Putri S. Dinoto^{1, b)}, Pandu Dewanto¹, Angga Kautsar¹

^{1,2} Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif,
Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Indonesia

^{a)}n.nurhadiansyah@bapeten.go.id

^{b)}p.dinoto@bapeten.go.id

Abstrak. BAPETEN telah mengembangkan jaringan pemantauan radioaktivitas lingkungan yaitu Sistem Pemantauan Data Radiasi Indonesia/*Indonesia-Radiation Data Monitoring System* (IRDMS), dengan tujuan untuk melindungi masyarakat dan lingkungan dari radiasi pengion di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia. Stasiun-stasiun yang telah dan akan dibangun diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat dari segi kuantitas radiologis dan peringatan dini yang berpotensi menimbulkan ancaman keselamatan dan/atau keamanan. BAPETEN sampai saat ini sudah memasang 29 stasiun IRDMS dan merencanakan untuk menempatkan total 110 stasiun IRDMS di seluruh Indonesia. Pengoperasian stasiun pemantauan akan menjadi tantangan terutama dari aspek finansial. Pengoperasian stasiun pemantauan dikategorikan dalam permasalahan kompleks sehingga perlu dinyatakan secara kuantitatif untuk menjadi masukan dalam proses pengambilan keputusan pihak yang akan mengoperasikan stasiun pemantauan baik pemegang izin ataupun BAPETEN. Berbagai metode tersedia untuk memperoleh pernyataan kuantitatif dari masalah yang relatif kompleks. Salah satu permasalahan kompleks yang bisa dijadikan acuan dalam mendapatkan hasil kuantitatif adalah biaya pembangkitan listrik PLTN. Dengan melakukan pendekatan yang sama antara perhitungan biaya pembangkitan listrik rata-rata PLTN yang kemudian diadopsi menjadi perhitungan biaya pemantauan rata-rata pada stasiun pemantauan maka akan mendapatkan biaya pemantauan rata-rata. Hasil pemodelan menghasilkan nilai biaya pemantauan rata-rata yang nantinya menjadi salah satu masukan dalam proses pengambilan keputusan pengoperasian stasiun pemantauan radiasi di Indonesia.

PENDAHULUAN

Sebagaimana diamanatkan oleh Undang-Undang 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran [1], BAPETEN sebagai Badan Pengawas Tenaga Nuklir di Indonesia berperan penting dalam menjamin keselamatan masyarakat dan lingkungan dari potensi bahaya fasilitas dan kegiatan nuklir yang dapat melepaskan bahan radioaktif. Dalam rangka memenuhi amanat Perpres Nomor 60 Tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi pada huruf II.B.1.a.(1) didalamnya mencantumkan rencana program penyusunan peta jalan skema pemenuhan kebutuhan *Radiation Dose Monitoring System* (RDMS) tingkat nasional antara lain pendanaan, alokasi waktu, dan penanggung jawab dalam hal kegiatan penelitian dan pengembangan, purwarupa, pendaftaran hak kekayaan intelektual, pengadaan komponen, kapasitas produksi, pembuatan, pengadaan, lokasi pemasangan, pengoperasian dan perawatan dan sumber daya lainnya [2]. Frase pengoperasian dan perawatan menjadi latar belakang penulisan makalah ini dengan melakukan *benchmarking* pengoperasian dan perawatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) untuk diaplikasikan dalam pengoperasian dan perawatan IRDMS. Hal ini selaras dengan standar internasional IAEA GSR Part 7 tentang *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency* yang didalam poin 4.8 menyatakan Pemerintah harus memastikan bahwa organisasi tanggap darurat, operator dan Badan Pengawas memiliki sumber daya manusia, keuangan dan sumber daya lain yang diperlukan dengan mempertimbangkan peran dan tanggung jawab yang diharapkan dan bahaya yang telah diperhitungkan untuk mempersiapkan dan menangani kedaruratan nuklir maupun radiologik baik terjadi di dalam atau di luar batas negara [3].

BAPETEN telah mengembangkan jaringan pemantauan radioaktivitas lingkungan yaitu Sistem Pemantauan Data Radiasi Indonesia/*Indonesia-Radiation Data Monitoring System* (IRDMS), dengan tujuan untuk melindungi masyarakat dan lingkungan dari radiasi pengion di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Saat ini, BAPETEN mengoperasikan jaringan peringatan dini dengan 29 stasiun mengandalkan kombinasi spektrometer gamma dan detektor Geiger Muller yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Cakupan area jaringan pemantauan radiasi lingkungan yang ada perlu ditingkatkan secara optimal dari segi kerapatan, penempatan, dan parameter operasionalnya. Stasiun-stasiun yang telah dan akan dipasang di 110 titik lokasi tersebut diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat dari segi kuantitas radiologis dan peringatan dini yang berpotensi menimbulkan ancaman keselamatan dan/atau keamanan. Namun, di luar lokasi tersebut, perlu dilakukan identifikasi dan penilaian faktor-faktor yang mempengaruhi pemasangan dan pengoperasian stasiun pemantauan untuk perluasan jaringan.

Jaringan pemantauan merupakan masalah yang kompleks yang meliputi kerjasama lokal, regional, dan global untuk penanganan aspek teknis dan penerimaan lokasi yang ideal [4]. Untuk mendukung kinerjanya IRDMS bekerja sama dengan IRMIS (*International Radiation Monitoring Information System/Sistem Informasi Pemantauan Radiasi Internasional*) IAEA. Hal ini melengkapi Sistem Terpadu untuk Pertukaran Informasi dalam Insiden dan Darurat (USIE) ketika sejumlah besar data pemantauan radiasi perlu dibagikan dan divisualisasikan. IRMIS memungkinkan pemantauan waktu dekat dari situasi radiologi yang berkembang di seluruh dunia sebagai konsekuensi dari darurat nuklir atau radiologi [5]. Perangkat keras dan perangkat lunak dari semua komponen jaringan IRDMS didapatkan dari kegiatan impor yang memperumit pengoptimalan berkelanjutan dari semua komponen yang relevan. Oleh sebab itu Pemerintah Indonesia melalui Permen Ristekdikti No. 38 Tahun 2019 tentang Prioritas Riset Nasional tahun 2020 – 2024 tercantum fokus riset Pertahanan dan Keamanan poin 6.4. Sistem Pemantauan Radiasi untuk memonitoring unsur radioaktif dengan topik riset teknologi berupa sistem pemantauan radiasi untuk keselamatan dan keamanan dengan target capaian berupa produk riset nasional sistem pemantauan radiasi laik industri, prototipe alat pengukur radiasi lingkungan laik industri dan kebijakan pendukungnya [6]. BAPETEN sendiri dalam dokumen Kerangka Acuan Kerja Sistem Nasional Pemantauan dan Pengawasan Radioaktivitas Lingkungan di Wilayah NKRI melakukan analisis calon penentuan lokasi pemasangan IRDMS dengan parameter – parameter berupa: Batas Negara; Lokasi Stasiun Meteorologi BMKG (alasan keamanan); *Fallout* (Kecepatan Angin, Curah Hujan, Ketinggian Permukaan); Fasilitas Penting; Pelabuhan. Dari hasil analisis *Weighted Overlay* didapatkan 110 calon lokasi pemasangan IRDMS [7].

Oleh karena itu, mengingat besarnya tantangan dalam pengoperasian dan pemeliharaan IRDMS maka karakterisasi detektor dan program jaminan serta kontrol kualitas harus ditetapkan dan dipelihara baik aspek operasional, aspek teknis jaringan dan aspek teknik harmonisasi berbagi data/*data sharing*. Data-data yang diharmonisasikan tersebut digunakan sebagai *input* sistem kedaruratan nasional, regional dan global untuk *platform* pertukaran data radiologi. Secara sederhana jaringan kompleks tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tujuan penempatan di lokasi (keselamatan dan/atau keamanan nuklir), demografi, subjek hukum, sumber daya, jenis teknologi detektor, dan radioaktivitas lingkungan.

Dalam pengoperasiannya, setiap stasiun IRDMS terdiri dari 2 detektor sintilasi yang bekerja secara bergantian sesuai dengan rentang operasi masing-masing detektor yaitu untuk laju dosis rendah dan tinggi untuk mencakup kebutuhan pengawasan dan kedaruratan. Sesuai dengan perangkat lunak dan sistem komunikasi yang menghubungkan stasiun dengan pusat pemantauan. Stasiun tersebut tersusun dalam suatu sistem yang kompak dan tahan terhadap gangguan lingkungan maupun elektromagnetik. Dengan catu daya mandiri dengan baterai yang bertahan lama untuk memastikan tidak terputusnya operasi stasiun IRDMS. Setiap stasiun IRDMS terhubung di pusat pemantauan yang dapat menyatukan parameter radiasi maupun kondisi dari semua stasiun IRDMS.

Meskipun jaringan sistem pemantauan dikategorikan sebagai suatu permasalahan yang kompleks, namun hal ini sangat membantu dan perlu dinyatakan secara kuantitatif sebagai masukan untuk proses pengambilan keputusan. Dalam proses pengambilan keputusan oleh pihak yang berkompeten, tersedia berbagai metode untuk memperoleh pernyataan kuantitatif (*input*) dari masalah yang relatif kompleks. Dalam hal ini permasalahan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) memiliki kompleksitas yang mirip, salah satu aspek permasalahan PLTN adalah biaya pembangkitan listrik [8-11]. Sehubungan dengan makalah ini pendekatan yang sama diambil untuk mendapatkan pernyataan kuantitatif stasiun pemantauan radiasi yang salah satu permasalahannya adalah biaya pemantauan. Kemiripan kompleksitas ini antara biaya pembangkitan listrik pada PLTN dengan biaya pemantauan pada stasiun pemantauan radiasi menjadi perumusan masalah pada makalah ini. Oleh karena itu, untuk masalah pembangkitan tenaga listrik dari PLTN misalnya dinyatakan dalam Rp/kwh atau US\$ sen/kwh, sedangkan untuk stasiun pemantauan radiasi dinyatakan dalam Rp/sdh atau US\$ sen/sdh. Dimana kwh dan sdh masing-masing mewakili kilo watt-jam/*kilowatt hour* dan data stasiun-jam/*station data-hours*.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dalam proses pengambilan keputusan pengoperasian stasiun pemantauan kepada pihak yang ingin membangun stasiun pemantauan baik dari BAPETEN maupun dari Pemegang Izin yang ada di Indonesia. Setiap faktor yang berpengaruh dari pengoperasian stasiun pemantauan menjadi parameter dalam perhitungan yang nantinya dapat disimpulkan menjadi biaya pemantauan rata - rata. Besaran biaya pemantauan rata – rata inilah yang akan menjadi bahan pertimbangan dalam proses pengambilan keputusan dalam pembangunan dan pengoperasian stasiun pemantauan.

METODOLOGI

Metodologi dari penelitian ini adalah mengadopsi perhitungan biaya pembangkitan listrik rata-rata menjadi biaya pemantauan rata-rata dengan mengganti parameter pada rumus perhitungan biaya pembangkitan listrik rata-rata menjadi parameter yang berkontribusi dalam perhitungan biaya pemantauan rata-rata. Lembar kerja perhitungan biaya pembangkitan listrik rata-rata [10] menjadi acuan untuk diadopsi dalam membuat formula perhitungan biaya pemantauan rata-rata. Penulis merumuskan parameter yang berperan dalam perhitungan biaya pemantauan rata-rata serta membuat nilai yang dimasukkan kedalam parameter tersebut berdasarkan referensi dan asumsi konservatif dari penulis.

Perhitungan biaya pemantauan rata-rata akan berdasarkan parameter biaya modal, biaya komunikasi data, pengoperasian dan pemeliharaan. Biaya modal bergantung dari parameter total biaya modal instalasi/*total cost of installed capital (TCIC)*, nilai penurunan/*discount rate*, lama waktu konstruksi/*construction*, ketersediaan data pemantauan/*available data*, jumlah stasiun pemantauan yang beroperasi/*number of station*, waktu instalasi ulang/*reinstall time* dan biaya instalasi ulang/*reinstall cost*. Pengoperasian bergantung dari parameter biaya operasi per tahun/*operating cost per year*, jumlah stasiun pemantauan/*number of station* dan ketersediaan data pemantauan/*available data*. Pemeliharaan bergantung dari parameter biaya modal instalasi/*total cost of installed capital (TCIC)*, biaya pemeliharaan per tahun/*maintenance cost per year* dan ketersediaan data pemantauan/*available data*.

DASAR TEORI

Biaya pemantauan

Optimasi adalah proses pengambilan keputusan ketika berbagai pilihan dipertimbangkan dan diputuskan. Masukan kuantitatif yang mewakili masalah sangat membantu para pihak dalam memperoleh gambaran masalah ketika menyikapi beberapa pilihan beban-manfaat untuk menolak atau menerimanya. Kuantifikasi masalah instalasi stasiun dari jaringan dalam bentuk biaya pemantauan diperoleh dengan menggunakan lembar kerja [10] yang awalnya dikembangkan untuk menghitung biaya pembangkitan proyek pembangkit listrik tenaga nuklir dengan pertimbangan bahwa itu adalah kategori yang sama dari masalah yang kompleks.

Biaya pembangkitan listrik rata-rata/*Levelized Cost of Electricity (LCOE)* adalah perhitungan standar yang digunakan untuk membandingkan biaya berbagai teknologi pembangkit listrik. Pengukuran ini adalah perhitungan total biaya dan energi/listrik yang dihasilkan oleh suatu aset selama masa operasinya. Perhitungan menghasilkan nilai tunggal yang mewakili setiap opsi teknologi yang tersedia di lokasi tertentu. Nilai tunggal ini dapat dengan mudah dibandingkan, oleh karena itu dapat membantu pembuat kebijakan dalam proses pengambilan keputusan [12].

$$LCOE = P_{MWh} = \frac{\sum_t (Capital_t + Operational \& Maintenance_t + Fuel_t + Carbon_t + D_t) * (1 + r)^{-t}}{\sum_t MWh * (1 + r)^{-t}}$$

Rumus diatas adalah perhitungan untuk mencari biaya pembangkitan listrik rata-rata. Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi biaya pembangkitan listrik rata-rata yang diadopsi menjadi parameter pemasangan stasiun pemantauan dengan mengadaptasi istilah yang sesuai sebagai berikut:

- Biaya pembangkitan listrik rata-rata/*Levelized Cost of Electricity (LCOE)*: Biaya siklus hidup/*Lifecycle Costing (LCC)* merupakan pendekatan standar bagi lembaga untuk membandingkan kelayakan dan keinginan proyek dengan menggunakan biaya sebagai metrik. LCOE adalah metrik yang paling banyak digunakan untuk analisis *Life Cycle Cost (LCC)* PLTN [9], di sini dalam kasus stasiun pemantauan radiasi mengadopsi LCOE menjadi istilah biaya pemantauan rata-rata/*Levelized Cost of Monitoring (LCOM)* digunakan sebagai gantinya.
- Total Biaya Modal Instalasi/*Total Cost of Installed Capital (TCIC)*, input utama TCIC adalah *Overnight Cost of Construction (OCC)*. Di sini, semua faktor yang mempengaruhi pemasangan stasiun di suatu lokasi dipertimbangkan dan digabungkan menjadi TCIC dengan catatan bahwa semakin tinggi ketidakpastian, semakin tinggi biaya modal. Faktor-faktor seperti tujuan instalasi stasiun, demografi, subjek hukum suatu lokasi, deteksi sumber di luar kendali pengawasan, dan jenis teknologi detektor untuk tujuan keamanan lebih tidak pasti daripada untuk tujuan keselamatan dengan ancaman tertentu. Sebagai contoh nilai TCIC masuk Rp 1.005.000.000/Stasiun atau 67.000 US\$/Stasiun (anggap 1 US\$ adalah Rp15.000). Nilai Rp. 1,005 miliar ini merupakan asumsi total biaya modal instalasi untuk membangun 1 stasiun pemantauan. Nilai asumsi didapatkan dari pendekatan perhitungan yang diperoleh dari dokumen Kerangka Acuan Kerja Sistem Nasional Pemantauan dan Pengawasan Radioaktivitas Lingkungan di Wilayah NKRI [7].
- Nilai penurunan/*discount rate (r)*, Ketersediaan data pemantauan/*available data*, dan Konstruksi/*construction* dapat digunakan dalam arti yang sama karena efek nilai waktu dari uang terhadap keluaran proyek dan penundaan. Sebagai contoh berikan masing-masing angka 5%, 90%, dan 12 bulan. Angka 5% merupakan nilai penurunan performa stasiun pemantauan per tahun yang penulis asumsikan sebesar 5%/tahun. Angka 90% adalah asumsi ketersediaan data pemantauan yang

berhasil direkam selama 1 tahun, dengan mempertimbangkan kendala teknis yang mungkin muncul sehingga data pemantauan tidak 100% terekam oleh stasiun pemantauan. Sedangkan angka 12 bulan adalah asumsi waktu yang dibutuhkan untuk konstruksi stasiun pemantauan sehingga bisa beroperasi secara penuh.

- Biaya Operasi dan Pemeliharaan (*Operational & Maintenance*) terjadi setelah tahap konstruksi selesai dan dapat didefinisikan sebagai biaya yang terkait dengan “pengelolaan dan pemeliharaan pembangkit listrik selama masa pakainya” [9], di sini istilah yang sama digunakan dan misalnya menempatkan biaya operasi per tahun per total stasiun sebesar Rp. 502.500.000/tahun atau 33.500 US\$/tahun dan 1% (dari modal) masing-masing untuk Operasi dan Pemeliharaan.
- Jumlah Stasiun, di sini menempatkan total 29 stasiun sesuai dengan jumlah stasiun IRDMS yang terpasang di Indonesia pada tahun 2021.
- Biaya bahan bakar/*fuel cost* biasanya diperlakukan sebagai komoditas yang tetap selama masa operasi pembangkit. Pada stasiun pemantauan diadopsi menjadi istilah biaya komunikasi data/*communication data cost* (internet), dan masukkan Rp. 2.250/sdh atau 0,15 US\$/sdh.
- Dekomisioning, fase back-end untuk PLTN, melibatkan pembongkaran dan dekomisioning pembangkit pada akhir masa operasinya, bersama dengan pengelolaan jangka panjang dan pembuangan limbah konvensional dan radioaktif. Biaya dekomisioning dapat tersebar di seluruh masa operasi PLTN, dan banyak perhitungan LCOE memiliki biaya dekomisioning sebagai biaya tahunan tetap dalam biaya operasi dan pemeliharaan sehingga biaya dekomisioning dipotong selama masa operasi pembangkit dan sebagai hasilnya menjadi persentase yang sangat kecil dari LCOE [9]. Untuk istilah biaya dekomisioning dan waktu dekomisioning pada PLTN diadopsi pada stasiun pemantauan menjadi istilah waktu instalasi ulang/*reinstall time* dan biaya instalasi ulang/*reinstall cost* digunakan dan menempatkan masing-masing diasumsikan sebesar 2 tahun dan 5% (dari konstruksi).

Perbandingan variabel dan parameter biaya pembangkitan listrik rata-rata pada PLTN dengan biaya pemantauan rata – rata stasiun RDMS dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan variabel dan parameter biaya pembangkitan listrik rata – rata PLTN dengan biaya pemantauan rata - rata stasiun RDMS.

Variabel dan Parameter Biaya Pembangkitan PLTN	Variabel dan Parameter Biaya Pemantauan IRDMS
Rp/kwh (rupiah/kilowatt hour)	Rp/sdh (rupiah/station data hour)
Biaya pembangkitan listrik rata-rata/ Levelized Cost of Electricity (LCOE)	Biaya pemantauan rata-rata/ Levelized Cost of Monitoring (LCOM)
Total Biaya Modal Instalasi/ Total Cost of Installed Capital (TCIC)	Total Biaya Modal Instalasi/ Total Cost of Installed Capital (TCIC)
Biaya bahan bakar/ <i>Fuel cost</i>	Biaya komunikasi data/ <i>Communication data cost</i>
Biaya Operasional dan Pemeliharaan/ Operating and Maintenance Cost	Biaya Operasional dan Pemeliharaan/ Operating and Maintenance Cost
Biaya dekomisioning/ <i>Decommissioning cost</i>	Biaya reinstalasi/ <i>Reinstallation cost</i>
Waktu dekomisioning/ <i>Decommissioning time</i>	Waktu reinstalasi/ <i>Reinstallation time</i>

Dari parameter diatas maka kami memformulasikan perhitungan besar biaya pemantauan rata-rata/*Levelized Cost of Monitoring (LCOM)* dengan rumus dibawah ini.

$$LCOM = \sum_t (Capital_t + Communication Data Cost + Operating + Maintenance)$$

Parameter untuk biaya komunikasi data/*communication data cost*, pengoperasian/*operating* dan pemeliharaan/*maintenance* diasumsikan konstan tidak ada perubahan sepanjang waktu. Hal ini berbeda dengan biaya bahan bakar/*fuel cost* dan biaya operasi dan pemeliharaan/*operating & maintenance cost* di perhitungan biaya pembangkitan listrik rata-rata yang dimasukkan nilai penurunan/*discount rate* (r). Adapun untuk mendapatkan nilai *Capital_t*, yaitu nilai modal per sdh/*station data hour* memperhitungkan nilai penurunan/*discount rate* per tahun. Konstruksi/*construction* adalah 12 bulan yang merupakan asumsi waktu ideal yang dibutuhkan untuk konstruksi stasiun pemantaun sehingga bisa beroperasi secara penuh. Angka 24 merupakan asumsi jika seandainya konstruksi terlambat hingga 24 bulan maka sudah diperhitungkan nilai penurunan/*discount rate* secara penuh.

$$Capital_t = \frac{TCIC_t * (1 + r)^{(cons/24)} + TCIC_t * rc * (1 + r)^{-(t+rt)}}{\sum_t RMSH * (1 + r)^{-t}}$$

RMSH adalah perhitungan yang dianalogikan dengan MWh di perhitungan biaya listrik rata rata. Jika dalam MWh yang dinilai adalah besarnya energi listrik yang dihasilkan perjam maka RMSH adalah besarnya data pemantauan yang dikirim perjam. Perumusan RMSH tergantung dari parameter ketersediaan data/*available data* yang diasumsikan sebesar 90% dikalikan jumlah jam dalam satu tahun (8.760 jam). Dengan kata lain RMSH adalah asumsi optimal data pemantauan yang terekam dan dikirim selama satu tahun.

$$RMSH = Available\ data * Hours$$

Sedangkan perhitungan untuk biaya operasi per sdh/*station data hour* adalah

$$Operating = \frac{operating\ cost\ per\ year}{RMSH * Number\ of\ Station}$$

Untuk perhitungan biaya pemeliharaan per sdh/*station data hour* adalah

$$Maintenance = \frac{TCIC * maintenance\ cost\ per\ year}{RMSH}$$

Berikut terlampir tabel input untuk perhitungan biaya pemantauan rata-rata/*levelized monitoring cost* pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter input untuk perhitungan biaya pemantauan rata-rata

Parameter	Nilai input	Keterangan
Total Biaya Modal Instalasi/ <i>Total Cost of Installed Capital (TCIC)</i>	US\$ 67.000 atau Rp. 1.000.500.000,00	Pendekatan berdasarkan referensi [7]
Biaya komunikasi data/ <i>Communication data cost</i>	US\$ 0,15/ <i>station data hour</i> atau Rp. 2.250/sdh	Asumsi biaya komunikasi data yang dibutuhkan per jam dengan total stasiun sebanyak 29 stasiun sehingga rata-rata perstasiun perbulan menghabiskan biaya komunikasi data sebesar Rp 55.862 /bulan
Ketersediaan data/ <i>available data</i>	90 %	Asumsi maksimal 10% data yang tidak terekam selama pengoperasian dalam 1 tahun.
Biaya operasi per tahun/ <i>operating cost per year</i>	US\$ 33.500/year atau Rp. 502.500.000/tahun	Asumsi untuk total 29 stasiun
Total stasiun pemantauan/ <i>number of station</i>	29	Total stasiun pemantauan sampai tahun 2021
Biaya pemeliharaan per tahun/ <i>maintenance cost per year</i>	1 %	1 % dari Total Biaya Modal Instalasi [9]
konstruksi/ <i>construction (cons)</i>	12	Asumsi waktu yang diperlukan untuk konstruksi 1 stasiun pemantauan selama 12 bulan
Biaya instalasi ulang/ <i>reinstall cost (rc)</i>	5 %	5 % dari keseluruhan total biaya modal instalasi (TCIC)
Waktu instalasi ulang/ <i>reinstall time (rt)</i>	2	Asumsi waktu yang diperlukan untuk instalasi ulang (dalam tahun)
Nilai penurunan/ <i>discount rate (r)</i>	5 %	Asumsi nilai penurunan performa stasiun pemantauan per tahun
Tahun / <i>year (t)</i>	/1,2,3,....	Tergantung tahun yang ingin diketahui nilai biaya pemantauan rata-rata nya

HASIL DAN DISKUSI

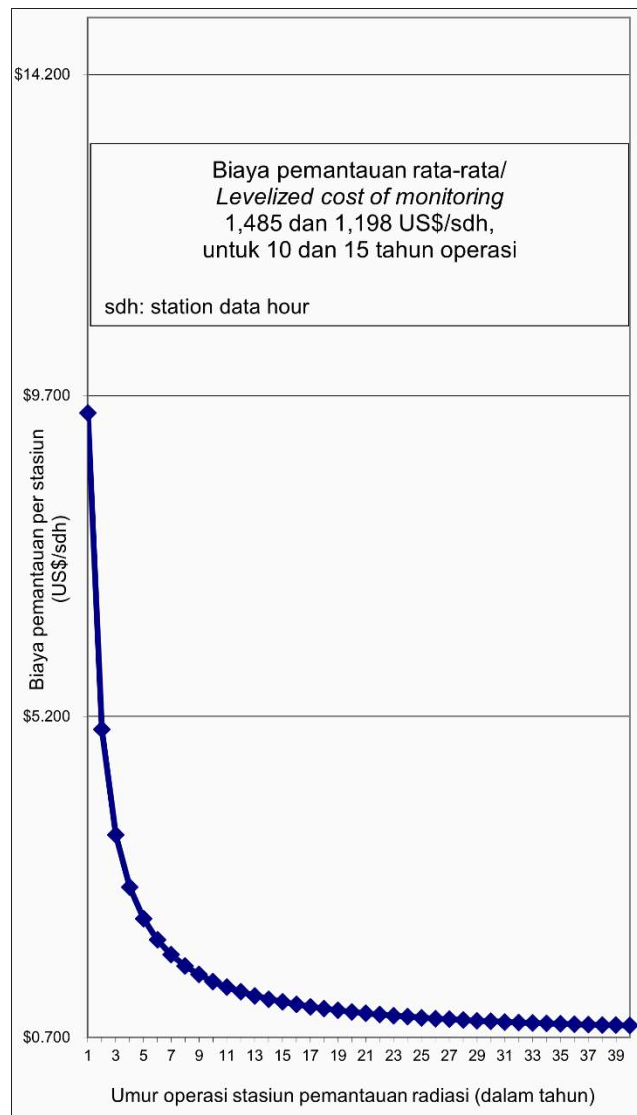
Untuk proyek proteksi radiasi yang kompleks, teknik bantuan keputusan, seperti *cost benefit analysis* dapat digunakan dengan menerapkan "nilai moneter referensi dari man-sievert" untuk mengubah manfaat dari opsi proteksi radiasi (penghindaran paparan) dalam istilah moneter untuk perbandingan dengan biaya. Dari contoh-

contoh tersebut, nilai moneter referensi dapat digunakan dua kali lipat: untuk menilai "kewajaran" proyek tertentu dan untuk memprioritaskan beberapa skenario/proyek antara satu sama lain [13]. Dalam hal ini, keuntungannya adalah paparan yang dihindari dalam man-sievert, sehingga nilai referensi dari nilai moneter referensi dinyatakan dalam misalnya Rp/man-sievert atau US\$/man-sievert. Pengajuan opsi proteksi radiasi dengan nilai melebihi nilai referensi dapat dianggap tidak wajar (*unacceptable*) oleh pengambil keputusan. Dengan pendekatan serupa, dalam kaitannya dengan makalah ini, untuk masalah sistem pemantauan radiasi yang kompleks, manfaatnya berupa data atau informasi dari suatu stasiun, sehingga opsi yang diusulkan dinyatakan dalam Rp/sdh (*Rupiah/station data hour*).

Tabel 3. Hasil keluaran simulasi pemodelan biaya pemantauan rata – rata pada tahun ke-10 dan tahun ke-15

Tahun ke-	RMSH	US\$/sdh atau Rp/sdh				
		Modal/ Capital	Biaya Komunikasi Data/ Communication Data Cost	Pengoperasian/ Operating	Pemeliharaan/ Maintenance	Total
10	5.082,10	\$ 1,103	\$ 0,150	\$ 0,147	\$ 0,085	\$ 1,485
		atau Rp 16.545	atau Rp 2.250	atau Rp 2.205	atau Rp 1.275	atau Rp 22.275
15	3.981,96	\$ 0,816	\$ 0,150	\$ 0,147	\$ 0,085	\$ 1,198
		atau Rp 12.240	atau Rp 2.250	atau Rp 2.205	atau Rp 1.275	atau Rp 17.970

Kecuali faktor radioaktivitas lingkungan, pembahasan optimalisasi parameter operasi seperti faktor-faktor tujuan (keselamatan dan/atau keamanan nuklir), demografi, subjek hukum, sumber daya organisasi, dan jenis teknologi detektor, yang memengaruhi pemasangan stasiun di lokasi sebagaimana dinyatakan dalam metode diubah menjadi parameter biaya pemantauan. Nilai parameter input yang diberikan di sini hanya dimaksudkan untuk menggambarkan bagaimana menggunakan lembar kerja untuk mengoptimalkan faktor-faktor yang berpengaruh dalam membangun stasiun pemantauan. Setiap pemecahan masalah yang kompleks merupakan hasil dari pendekatan optimasi sesuai dengan situasi dan konteks pada saat pengambilan keputusan. Grafik biaya pemantauan rata – rata (LCOM) setiap tahun yang diperoleh dari lembar kerja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.1, dengan parameter output yang didapat adalah Rp. 22.275/sdh (1,485 US\$/sdh) dan Rp. 17.970/sdh (1,198 US\$/sdh) untuk masing-masing umur operasi 10 dan 15 tahun. Umur yang dianggap sama dengan masa layanan stasiun. Kontribusi masing-masing komponen biaya dapat dilihat pada tabel 3 untuk skenario 10 tahun adalah 1,103 US\$ (74%), 0,150 US\$ (10%), 0,147 US\$ (10%), dan 0,085 US\$ (6%) untuk investasi (pemasangan), komunikasi data, pengoperasian, dan pemeliharaan yang menghasilkan biaya pemantauan rata rata sebesar 1,485 US\$/sdh (Rp. 22.275/sdh); untuk skenario 15 tahun, komponennya masing-masing adalah 0,816 US\$ (68%), 0,150 (12,5%), 0,147 (12,5%), dan 0,085 (7%) yang menghasilkan biaya pemantauan rata rata sebesar 1,198 US\$/sdh (Rp. 17.790/sdh). Nilai ini merupakan nilai impas, sehingga pihak ketiga yang menjadi pengusul harus menambah nilai keuntungannya untuk dipertimbangkan oleh pengambil keputusan seperti pemegang izin atau Pemerintah dalam hal ini BAPETEN.



GAMBAR 1. Biaya Pemantauan Rata-Rata/*Levelized Cost of Monitoring* (LCOM)

Berdasarkan skenario ini, komponen biaya terbesar adalah dari investasi (pemasangan/instalasi), yang meliputi jenis teknologi detektor, tujuan pemasangan, dan subjek hukum lokasi. Dari hasil pemodelan didapatkan biaya pemantauan rata-rata (LCOM) untuk umur operasi 10 tahun sebesar US\$ 1,485/sdh atau sekitar Rp. 22.275/sdh dan untuk umur operasi 15 tahun didapatkan nilai biaya pemantauan rata-rata (LCOM) sebesar US\$ 1,198/sdh atau sekitar Rp. 17.790/sdh. Apakah nilai biaya pemantauan rata-rata (LCOM) ini dapat diterima tergantung pada konteks dan situasinya. Untuk perusahaan nuklir besar (NPP) atau kebutuhan sistem deteksi dini, transparansi dan komunikasi publik, tentu saja, biaya ini dapat diterima; jika biaya tidak dapat diterima, pilihan jenis teknologi detektor dan tujuan khusus perlu disesuaikan untuk menurunkan nilai biaya pemantauan rata-rata (LCOM).

KESIMPULAN

Perhitungan biaya pembangkitan listrik rata-rata/*Levelized Cost of Electricity* (LCOE) diadopsi untuk perhitungan biaya pemantauan pada stasiun pemantauan radiasi menjadi biaya pemantauan rata-rata/*Levelized Cost of Monitoring* (LCOM). Parameter – parameter yang menghasilkan nilai biaya pembangkitan listrik rata-rata disesuaikan dengan parameter – parameter yang membentuk biaya pemantauan rata-rata. Dengan kebutuhan jumlah stasiun IRDMS yang sangat besar dimasa akan datang, maka pemodelan biaya pemantauan rata-rata stasiun pemantauan akan menjadi sangat penting dalam rangka pengambilan keputusan baik stasiun pemantauan yang dibangun oleh pemegang izin maupun oleh BAPETEN. Dari hasil simulasi didapatkan nilai biaya pemantauan rata-rata (LCOM) untuk masa operasi 10 tahun adalah Rp. 22.275/sdh dan untuk masa operasi 15 tahun adalah Rp. 17.970/sdh. Diharapkan pemodelan ini bisa menjadi salah satu opsi pengambilan keputusan dalam pengoperasian stasiun pemantauan radiasi yang ada di Indonesia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan khususnya kepada Bapak Yus Rusdian Akhmad atas bimbingan dan arahnya dalam penelitian kami serta kepada Kelompok Fungsi Pengkajian Industri dan Penelitian P2STPFRZR BAPETEN dan semua rekan yang telah memberikan bantuan, kontribusi dan akses sehingga artikel ini dapat terwujud. Karena kesempurnaan dalam penyusunan makalah artikel ini masih jauh, untuk semua pembaca dapat memberikan masukan sebagai masukan agar dalam proses penyusunan artikel kedepannya dapat lebih baik lagi.

REFERENSI

- [1] Republik Indonesia, Undang Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, (Indonesia, 1997).
- [2] Republik Indonesia, Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi, (Indonesia, 2019).
- [3] IAEA. GSR Part 7. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. 2015
- [4] U. Stöhlker et al., The German Dose Rate Monitoring Network and Implemented Data Harmonization Techniques, (2018).
- [5] IAEA, International Radiation Monitoring System: User Manual IRMIS Version 3.0.0, (February 2020).
- [6] Kemenristekdikti Republik Indonesia, Peraturan Menristekdikti Nomor 38 Tahun 2019 tentang Prioritas Riset Nasional Tahun 2020-2024. (Indonesia, 2019).
- [7] BAPETEN, Kerangka Acuan Kerja Sistem Nasional Pemantauan dan Pengawasan Radioaktivitas Lingkungan di Wilayah NKRI, (Indonesia).
- [8] IAEA, TECDOC-1964 Financing Nuclear Power Plants, (2021).
- [9] Amritpal Singh Agar, Giorgio Locatelli, Economics of nuclear power plants, Nuclear Reactor Technology Development and Utilization 1st edition", Edited by Salah Ud-Din Khan and Alexander Nakhbov, Woodhead Publishing.
- [10] Yus R. Akhmad, Bakri Arbie, A study on the introduction of s demonstration plant for the clean and efficient production of water and electricity in Indonesia, National Nuclear Energy Agency, IAEA-TECDOC-1184, <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/32/001/32001532.pdf>
- [11] Nasrullah Mochamad, Economic Calculation and Financing SMR NPP 100 MWe, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2014 (Pontianak, 19 Juni 2014).
- [12] IESR, Levelized Cost of Electricity in Indonesia: Understanding The Levelized Cost of Electricity Generation, (Institute for Essential Services Reform, December 2019, Jakarta)
- [13] S. Andresz, T. Jobert and C. Schieber, The values and the uses of the reference monetary value of the man-sievert. Results of an international survey, Radioprotection, (SFRP, 2020).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



ANALISIS TINGKAT RADIOAKTIVITAS UDARA PADA DAERAH KERJAKAWASAN NUKLIR BANDUNG DENGAN PENCACAH BETA-TOTAL DAN SPEKTROMETER GAMMA

Haryo Seno^{1,a)}, Afida Ikawati^{1,b)}, Annita Nurhayati², Aprilia Nur Kholifah¹,
Dani Muliawan¹, Dikdik Sidik Purnama¹, Rezky Anggakusuma¹

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Tamansari 71, Coblong, Bandung, 40132

²Program Studi Teknik Lingkungan ITENAS, Jl. PH. H. Mustofa No. 23, Bandung, 40124

^{a)} corresponding author: ryosen7@gmail.com

^{b)} afida.ikawati@gmail.com

Abstract. ANALISIS TINGKAT RADIOAKTIVITAS UDARA PADA DAERAH KERJA KAWASAN NUKLIR BANDUNG DENGAN PENCACAH BETA-TOTAL DAN SPEKTROMETER GAMMA. Pemanfaatan iptek nuklir di Kawasan Nuklir Bandung (KNB) dilakukan pada berbagai daerah kerja yang tersebar di beberapa fasilitas. Untuk memastikan tercapainya aspek keselamatan radiasi bagi personel di daerah kerja maka perlu dilakukan pemantauan tingkat radioaktivitas beta-total dan radioaktivitas gamma di dalam udara ambien daerah kerja. Analisis radioaktivitas udara di daerah kerja KNB dilakukan dengan pengambilan sampel partikulat udara pada 21 titik lokasi. Pengambilan sampel partikulat udara dilakukan selama 30 menit di setiap titik. Pengukuran radioaktivitas dilakukan menggunakan pencacah beta-total (detektor PIPS) dan spektrometer gamma (detektor HPGe). Hasil perhitungan radioaktivitas udara menggunakan pencacah beta-total menunjukkan bahwa tingkat radioaktivitas beta-total berada di bawah nilai batas yang diizinkan (0,004 Bq/L). Berdasarkan analisis radionuklida pemancar gamma pada 20 titik sampling teridentifikasi radionuklida alam, yaitu Pb-212, Pb-214, Ra-226, dan Bi-214. Selain itu juga teridentifikasi satu radionuklida buatan, yaitu I-131. Hasil analisis seluruh radionuklida pemancar gamma menunjukkan bahwa tingkat radioaktivitas gamma berada di bawah nilai batas yang diizinkan.

Kata kunci: radioaktivitas, partikulat udara, beta total, spektrometer gamma, daerah kerja

PENDAHULUAN

Radiasi nuklir bersifat tidak dapat dirasakan oleh panca indera manusia, dan pada tingkat tertentu dapat berdampak panjang, lintas generasi, dan lintas geografis, sehingga dapat membahayakan kehidupan manusia dan lingkungan [12].

Dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir juga disebutkan bahwa pemantauan paparan radiasi wajib dilakukan di daerah kerja. Pemantauan radioaktivitas dilakukan melalui pemantauan aspek lingkungan, seperti rumput, tanah, air, dan lumpur. Pemantauan radioaktivitas juga dilakukan melalui sampel partikulat udara, karena radiasi dari fasilitas nuklir berpotensi untuk menyebar dan terjadi kontaminasi pada udara sebelum akhirnya jatuh ke permukaan (rumput, tanah, air, dan lumpur), sehingga perlu dilakukan penentuan rutin untuk radioaktivitas pada udara. Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom yang tak- stabil untuk memancarkan radiasi dan berubah menjadi inti stabil. Proses perubahan ini disebut peluruhan dan inti atom yang tak-stabil disebut radionuklida. Materi yang mengandung radionuklida disebut zat radioaktif. Ada dua sumber utama radioaktivitas atau sumber radiasi, yaitu sumber radiasi / radioaktivitas alami dan sumber radiasi / radioaktivitas buatan. [6].

Radioaktivitas Alam

Radioaktivitas alam ada yang berasal dari alam (kerak bumi / primordial) dan dari radiasi komik [3].

- a. Radionuklida alam (kerak bumi / primordial)
Radionuklida alam (kerak bumi / primordial) banyak terkandung dalam berbagai macam materi dalam lingkungan, misalnya dalam air, tumbuhan, kayu, bebatuan, dan bahan bangunan. Salah satu radionuklida yang secara primordial paling banyak keberadaannya di sekitar kita adalah potasium-40 (K-40). Radionuklida K-40 juga dapat ditemukan di dalam tubuh manusia [3].
Radionuklida ini ada sejak terbentuknya alam semesta, dan terdiri dari radionuklida deret uranium dengan induk uranium (U-238) dan ujung akhir nuklida stabil timbal (Pb-206), radionuklida deret Thorium dengan induk Thorium (Th-232) dan ujung akhir nuklida stabil timbal (Pb-208) [4].
- b. Radioaktivitas yang berasal dari radiasi kosmik
Dari reaksi antara radiasi kosmik dengan inti atom utama di lapisan atmosfer rendah seperti N, O, dan Ar dihasilkan sekitar 20 radionuklida. Jumlah radionuklida yang terbentuk berbeda-beda, bergantung pada intensitas radiasi kosmik dan konsentrasi inti yang bereaksi dengan radiasi kosmik di atmosfer. Jika dilihat dalam rentang waktu yang panjang maka jumlah radionuklida yang dihasilkan akan seimbang dengan jumlah yang meluruh. Oleh karena itu kelimpahannya di alam hampir konstan [4].

Radioaktivitas Buatan

Radioaktivitas buatan dipancarkan oleh radioisotop yang sengaja dibuat manusia, dan berbagai jenis radionuklida dibuat sesuai dengan penggunaannya [3].

- a. Radioaktivitas yang berhubungan dengan pembangkit listrik tenaga nuklir
Energi yang dihasilkan oleh proses reaksi fisi (pembelahan inti atom) pada bahan bakar nuklir dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga nuklir. Dalam proses pembelahan inti atom ini terbentuk berbagai jenis radionuklida, baik dari hasil fisi nuklir maupun hasil aktivasi. Radioaktivitas di PLTN berasal dari proses fisi dan aktivasi ini.
- b. Radioaktivitas akibat percobaan senjata nuklir
Radioaktivitas yang berasal dari jatuhnya radioaktif akibat percobaan senjata nuklir disebut *fall out*.
- c. Radioaktivitas dalam kedokteran
Radioaktivitas yang berasal dari radioisotop dalam bidang kedokteran digunakan misalnya untuk diagnosis, terapi, dan sterilisasi alat kedokteran.
- d. Radioaktivitas dalam rekayasa teknologi
Penggunaan radiasi dalam bidang pengukuran (*gauging*), analisis struktur materi, pengembangan bahan-bahan kayu baru, dan sebagai sumber energi.
- e. Radioaktivitas dalam bidang pertanian
Penggunaannya dalam bidang bioteknologi, pembasmian serangga atau penyimpanan bahan pangan, dan teknologi pelestarian lingkungan.

Pada radioaktivitas alam maupun buatan selalu terjadi peluruhan spontan inti atom yang tidak stabil yang akan menyebabkan terbentuknya nuklida baru. Peluruhan ini terjadi karena komposisi jumlah proton dan neutron yang tidak seimbang. Dalam hal ini, inti tidak stabil tersebut akan memancarkan radiasi alpha atau radiasi beta atau radiasi gamma [6].

Radiasi Alpha

Radiasi alpha memiliki sifat sebagai berikut [1]:

- a. Daya ionisasi partikel α sangat besar, ± 100 kali daya ionisasi partikel β dan 10.000 kali daya ionisasi sinar γ .
- b. Jarak jangkauan (daya tembus) sangat pendek, hanya beberapa milimeter di udara, bergantung pada energinya.
- c. Partikel α akan dibelokkan jika melewati medan magnet atau medan listrik.
- d. Kecepatan partikel α bervariasi antara 1/100 hingga 1/10 kecepatan cahaya.

Radiasi Beta

Radiasi beta memiliki sifat sebagai berikut [1]:

- a. Daya ionisasi di udara 1/100 kali dari partikel α .
- b. Jarak jangkauannya lebih jauh daripada partikel α , dapat menembus beberapa cm di udara.
- c. Kecepatan partikel β berkisar antara 1/100 hingga 99/100 kecepatan cahaya.
- d. Karena sangat ringan, maka partikel β mudah sekali dihamburkan jika melewati medium.
- e. Partikel β akan dibelokkan jika melewati medan magnet atau medan listrik.

Radiasi Gamma

Radiasi gamma memiliki sifat sebagai berikut [1]:

- a. Sinar γ dipancarkan oleh nuklida (inti atom) yang berada dalam keadaan tereksitasi (isomer) dengan panjang gelombang antara 0,005 Å hingga 0,5 Å.
- b. Daya ionisasi di dalam medium sangat kecil sehingga daya tembusnya sangat besar bila dibandingkan

dengan daya tembus partikel α atau β .

c. Karena tidak bermuatan, sinar γ tidak dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet.

Analisis ini dilakukan dalam rangka mengetahui tingkat radioaktivitas partikulat udara pada daerah kerja di dalam Kawasan Nuklir Bandung (KNB). Radioaktivitas udara di daerah kerja atau area kerja yang menggunakan radiasi sangat perlu untuk diketahui dalam kaitannya terhadap keselamatan kerja personel. Sebagai bentuk proteksi dan aspek keselamatan radiasi terhadap pekerja, maka digunakan nilai baku tingkat radioaktivitas di udara yang tertuang dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 7 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan dan prosedur tentang radioaktivitas udara di KNB.

METODOLOGI

Metodologi penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu: pengambilan sampel, pengukuran beta-total (*gross beta*) dan analisis radionuklida pemancar gamma. Pengambilan sampel partikulat udara dilakukan menggunakan perangkat yang bernama *air-sampler* AS2 (Staplex AS2) dan *filter paper* dengan diameter 9 cm yang memiliki ukuran pori sebesar 1,6 μm . *Sampling* dilakukan di dalam Kawasan Nuklir Bandung (KNB) pada 21 titik lokasi yang berada di daerah kerja (area radiasi). *Sampling* dilakukan selama 30 menit pada setiap titik lokasi, dengan laju alur berkisar antara 165 hingga 190 SCFH. Setelah proses pengambilan tersebut selesai, maka dilakukan tahapan pengukuran beta-total (*gross beta*) menggunakan iSolo kemudian analisis radionuklida pemancar gamma menggunakan detector HPGe.

Pengukuran Beta-Total (*Gross Beta*)

Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran α dan β total adalah iSolo dengan detektor PIPS. Detektor PIPS mampu mengukur radiasi alpha dan beta. Detektor ini biasanya digunakan dalam pengukuran beta total, spektrometri alpha, monitoring beta, deteksi beta berenergi rendah dan ion-ion berat [14].



GAMBAR 1. Pencacah beta total (iSolo) dengan detektor PIPS

Gambar 1 menunjukkan alat pencacahan sampel beta total yang digunakan yaitu iSolo Alpha-Beta Counter. Pencacahan sampel dilakukan selama 3 menit, hanya saja karena energi yang dipancarkan oleh radioaktif bersifat fluktuatif maka pencacahan dilakukan 3-5 kali hingga mendapatkan nilai yang stabil.

Analisis Radionuklida Pemancar Gamma

Detektor HPGe (*High Purity Germanium*) sangat berguna dalam karakterisasi untuk menentukan kandungan berbagai radionuklida pemancar gamma pada suatu material atau sampel. Resolusi detektor HPGe sangat baik sehingga dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif berbagai radionuklida dalam sampel dengan tingkat ketelitian yang tinggi [8].

Detektor ini bekerja pada suhu yang rendah sehingga memerlukan pendingin berupa nitrogen cair. Hal ini bertujuan untuk menjaga kemurnian dari germanium yang sangat sensitif terhadap temperatur [1,7].

Analisis kuantitatif dilakukan berdasarkan nilai hitung spektrum yang dipancarkan dari setiap radiasi yang masuk ke detektor, dimana karakteristik spektrum yang dihasilkan adalah interaksi foton yang dipancarkan oleh zat radioaktif tersebut dengan detektor. Interaksi foton dengan detektor akan menghasilkan sinyal pulsa. Tinggi pulsa yang dihasilkan oleh detektor sesuai dengan energi foton yang mengenai detektor. Selanjutnya pulsa tersebut diproses secara elektronik dalam rangkaian peralatan yang disebut perangkat sistem spektrometri gamma, yang

terdiri dari detektor HPGe, tegangan tinggi, penguat, MCA (*Multi Channel Analyzer*), dan pengolah data (komputer). Perangkat sistem spektrometri gamma tersebut dalam dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



GAMBAR 2. Perangkat sistem spektrometri gamma.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai radioaktivitas udara pada filter kertas dan *charcoal* telah diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan spektrometri gamma dan alat pencacahan beta total.

Analisis Beta

Data pada Tabel 1 adalah data hasil pencacahan beta menggunakan perangkat iSolo dan data hasil perhitungan aktivitas radioaktif. Nilai SCFH (*Standard Cubic Feet per Hour*) menunjukkan debit udara yang terhisap selama *sampling* menggunakan *air-sampler*. Nilai cacahan (Bq) didapatkan dari hasil pencacahan pada beta counter iSolo. Data aktivitas didapatkan dari hasil perhitungan seperti berikut ini,

$$\begin{aligned} 1 \text{ SCFH} &= 0,472 \text{ L/menit} \\ 190 \text{ SCFH} &= 0,472 \text{ L/menit} \times 190 = 89,86 \text{ L/menit} \\ \text{Volume udara} &= 89,68 \text{ L/menit} \times 30 \text{ menit} = 2690,4 \text{ liter} \end{aligned}$$

30 menit adalah lamanya waktu *sampling* pada setiap titik. Maka nilai aktivitasnya adalah

$$\begin{aligned} A \text{ (Bq/L)} &= \frac{\text{cacahan (Bq)}}{\text{volume udara (L)}} & (1) \\ &= \frac{0,19 \text{ Bq}}{2690,4 \text{ Liter}} \\ &= 7,06E - 05 \text{ Bq/L} \end{aligned}$$

Tabel 1. Konsentrasi aktivitas beta-total pada berbagai daerah kerja

No	Lokasi	SCFH Udara	Volume Udara (L)	Aktivitas (Bq)	Konsentrasi Aktivitas (Bq/L)
1	Limbah Cair	190	2690,40	0,19	7,06E-05
2	Lapangan Parkir	170	2407,20	0,12	4,99E-05
3	Stack Lab. RISB	170	2407,20	0,38	1,58E-04
4	Stack Reaktor	160	2265,60	0,10	4,41E-05
5	SSB 1	190	2690,40	0,13	4,83E-05
6	Laboratorium XRF	160	2265,60	0,24	1,06E-04
7	SSB 2	190	2690,40	0,33	1,23E-04
8	Laboratorium Pneumatik	170	2407,20	0,31	1,29E-04
9	TPR	190	2690,40	0,24	8,92E-05
10	LQC	180	2548,80	0,34	1,33E-04
11	Deck Reaktor	165	2336,40	0,17	7,28E-05
12	Hall Selatan Reaktor	190	2690,40	0,11	4,09E-05
13	Laboratorium Hewan	190	2690,40	0,12	4,46E-05
14	Laboratorium Liofilisasi	165	2336,40	0,26	1,11E-04
15	Blower stack Lab RISB	190	2690,40	0,24	8,92E-05
16	Ruang Cacah Luar	160	2265,60	0,25	1,10E-04
17	Ruang Penyimpanan Bahan Kimia 2	180	2548,80	0,32	1,26E-04
18	Ruang Cacah Dalam	170	2407,20	0,23	9,55E-05
19	Laboratorium Aseptik	190	2690,40	0,32	1,19E-04
20	Ruang Penyimpanan Bahan Kimia 1	165	2336,40	0,14	5,99E-05
21	Ruang Dekontaminasi	190	2690,40	0,19	7,06E-05

Berdasarkan prosedur tentang radioaktivitas udara di KNB nilai batas konsentrasi beta- total untuk pengukuran radioaktivitas udara adalah sebesar 0,004 Bq/L. Adapun hasil pengukuran pada daerah kerja yang terlihat pada pada Tabel 1 menunjukkan nilai konsentrasi aktivitas beta-total pada 21 titik berada di bawah nilai batas yang diizinkan.

Pada Gambar 3 juga terlihat nilai konsentrasi aktivitas beta-total terbesar pada hasil pengukuran di titik *Stack Lab. RISB* yaitu sebesar 1,58E-04 Bq/L. Lab. RISB merupakan laboratorium yang melaksanakan litbang di bidang senyawa bertanda dan radiometri, menyelenggarakan fungsi pelaksanaan litbang di bidang pembuatan radioisotop untuk aplikasi berbagai bidang, sintesis senyawa bertanda, biodinamika, dan biosintesis serta litbang dan aplikasi teknik analisis radiometri. Untuk nilai aktivitas terkecil berada pada titik *Hall Selatan Reaktor* yaitu sebesar 4,09E-05 Bq/L, meskipun berada di dalam ruang Hall Reaktor nilai aktivitasnya kecil karena pada saat dilakukan *sampling* reaktor tidak sedang dalam kondisi operasi.

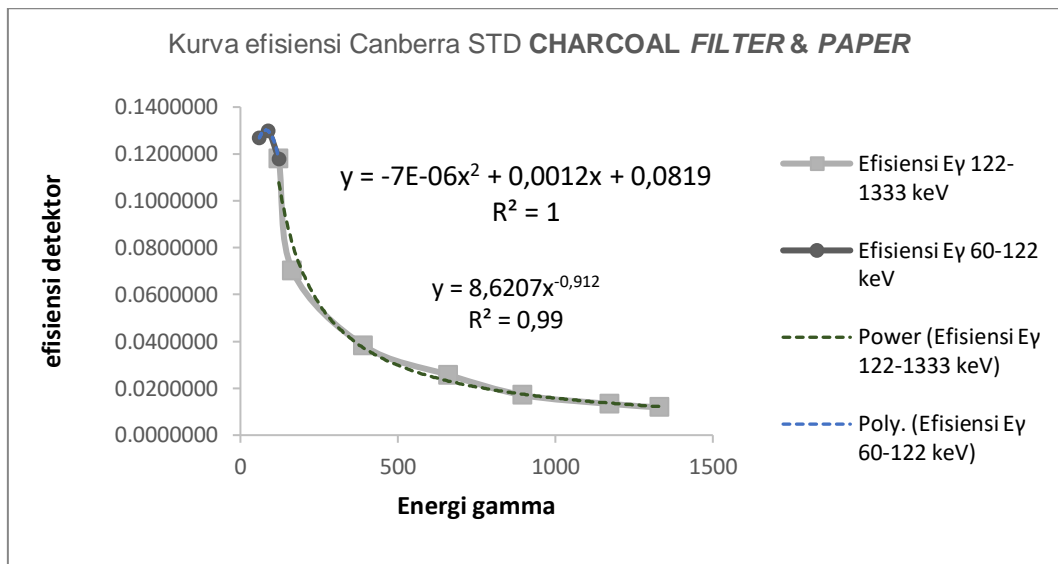
Analisis Radioaktivitas Gamma

Dalam perhitungan dan analisis gamma data yang diperlukan berupa data sampel standar, data sampel *background*, dan data sampel partikulat udara.

Data sampel standar digunakan untuk mendapatkan kurva efisiensi sehingga didapatkan persamaan E_{γ} 60-122 keV dan E_{γ} 122-1333 keV. Nilai efisiensi dari standar charcoal dan paper filter dapat dilihat pada Tabel 1 yang kemudian diplotkan dalam grafik pada Gambar 3.

Tabel 2. Efisiensi Canberra STD *charcoal filter & paper*

Energi (keV)	Yield(%)	Intensitas	Net area	μ net area	cps	Aktivitas	Ketidakpastian Aktivitas	Efisiensi
60	36	0,36	5,41E+05	929,04	54,1	1184,163	35,525	0,126906
88	3,63	0,0363	1,56E+05	554,94	15,6	3309,919	102,607	0,129838
122	85,6	0,856	3,54E+04	422,05	3,54	35,067	1,087	0,117933
166	84	0,84	1,64E+03	313,28	0,164	2,79	0,086	0,069987
392	64,9	0,649	9,62E+02	270,56	0,096	3,887	0,117	0,038139
662	85,1	0,851	5,09E+05	791,4	50,9	2331,6	72,28	0,025653
898	94	0,94	7,06E+02	260,95	0,071	4,404	0,132	0,017054
1173	99,86	0,9986	2,72E+05	590,96	27,2	2040,898	61,227	0,013346
1333	99,98	0,9998	2,41E+05	516,93	24,1	2040,898	61,227	0,011811



GAMBAR 3. Kurva efisiensi Canberra STD charcoal filter & paper

Pada Gambar 3 terlihat dua buah persamaan garis yang mewakili kurva efisiensi pencacahan spektrometri gamma. Persamaan Ey 60-122 keV, dengan $R^2 = 1$ yaitu:

$$Y = -7E - 06x^2 + 0,0012x + 0,0819 \tag{2}$$

Persamaan Ey 122-1333 keV, dengan $R^2 = 0,99$

$$Y = 8,6207x^{-0,912} \tag{3}$$

Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung efisiensi energi yang terdeteksi berdasarkan energi gamma yang diamati. Nilai efisiensi yang diperoleh dari Gambar 3 selanjutnya digunakan untuk menghitung aktivitas radionuklida dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A = \frac{CPS}{efisiensi \times I\gamma \times massa \text{ (liter)}} \tag{4}$$

Data yang digunakan dari sampel *background* adalah data energi (keV) dan *net peak area*, data tersebut digunakan dalam perhitungan aktivitas radionuklida yang ada pada sampel. Pencacahan dilakukan selama 10.000 detik pada sampel partikulat udara, sampel standar, dan sampel *background*.

Pada Gambar 3 terlihat *trend* kurva mengalami penurunan. Dengan kata lain, nilai efisiensi menurun seiring kenaikan besaran energi gamma. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi energi gamma dari suatu radionuklida maka semakin cepat radionuklida tersebut untuk melintas melewati detektor dan tidak tertangkap atau tidak tercacah oleh detektor. Semakin tinggi energi foton yang melintas suatu detektor akan semakin rendah kebolehjadian foton tersebut terdeteksi oleh detektor, sehingga efisiensi pencacahan akan semakin rendah.

Tabel 3. Tingkat Radioaktivitas Gamma

No	Lokasi	Radionuklida	Energi (keV)	A Spesifik (Bq/m ³)	Baku Mutu Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2017 (Bq/m ³)	Keterangan	
1	Filter Paper Dek Reaktor	Pb-212	74,88	1,47E-01	-	Tidak tercantum	
			77,36	4,22E-02	-	Tidak tercantum	
			238,61	1,31E-06	-	Tidak tercantum	
		Pb-214	295,48	5,20E-06	-	Tidak tercantum	
		Ra-226	185,68	8,47E-07	1,8E-03	Dibawah baku mutu	
2	Filter Paper Ruang Cacah Luar	Pb-212	238,8	3,58E-07	-	Tidak tercantum	
		Pb-214	351,74	2,30E-06	-	Tidak tercantum	
		Ra-226	185,82	8,00E-07	1,8E-03	Dibawah baku mutu	
3	Filter Paper Ruang Cacah Dalam	I-131	364,66	1,56E-06	2,7E-02	Dibawah baku mutu	
			Pb-212	74,99	0,0008914	-	Tidak tercantum
				92,6	9,30E-05	-	Tidak tercantum
		Pb-214	338,71	1,61E-06	-	Tidak tercantum	
			351,82	1,38E-06	-	Tidak tercantum	
4	Filter Paper Lab Aseptik	Pb-214	74,87	2,07E-01	-	Tidak tercantum	
			76,89	1,09E-01	-	Tidak tercantum	
			351,93	2,84E-06	-	Tidak tercantum	
		Ra-226	185,92	1,63E-07	1,8E-03	Dibawah baku mutu	
5	Filter Paper Ruang Dekontaminasi	Pb-212	75,01	1,30E-01	-	Tidak tercantum	
			238,59	8,27E-07	-	Tidak tercantum	
		Pb-214	295,3	3,27E0-06	-	Tidak tercantum	
			352,02	1,62E-06	-	Tidak tercantum	
		Ra-226	185,78	1,63E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu	
6	Filter Paper Lab Hewan	Pb-212	74,97	8,41E-02	-	Tidak tercantum	
			77,19	1,15E-01	-	Tidak tercantum	
		Ra-226	185,67	5,31E-07	1,8E-03	Dibawah baku mutu	
		Bi-214	609,5	1,04E06	-	Tidak tercantum	
7	Filter Paper Stack Reaktor	Pb-214	352,0	5,71E-07	-	Tidak tercantum	
8	Filter Paper TPR	Pb-212	74,93	0,0853162	-	Tidak tercantum	
			238,71	2,34E-06	-	Tidak tercantum	
		Ra-226	185,83	2,01E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu	
9	Filter Paper Stack Lab RISB	I-131	284,24	1,57E-05	2,7E-02	Dibawah baku mutu	
			364,41	1,39E-05	2,7E-02	Dibawah baku mutu	
			637,24	5,21E-06	2,7E-02	Dibawah baku mutu	
		Pb-212	75	0,0647611	-	Tidak tercantum	
			77,22	0,0514815	-	Tidak tercantum	
			238,67	2,78E-06	-	Tidak tercantum	
		Pb-214	352,06	3,41E-06	-	Tidak tercantum	
		Ra-226	185,67	1,34E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu	

No	Lokasi	Radionuklida	Energi (keV)	A Spesifik (Bq/m ³)	Baku Mutu Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2017 (Bq/m ³)	Keterangan
10	Filter Paper Limbah Cair	Ra-226	186,24	3,63E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu
11	Filter Paper Lapangan Parkir	Pb-212	239,15	2,39E-06	-	Tidak tercantum
		Pb-214	352,38	2,11E-06	-	Tidak tercantum
12	Filter Paper SSB 1	Pb-212	75,12	0,0473228	-	Tidak tercantum
		Pb-214	352,22	3,04E-06	-	Tidak tercantum
		Ra-226	186,02	1,28E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu
13	Filter Paper Lab XRF	Pb-212	75,2	8,81E-02	-	Tidak tercantum
			238,77	8,56E-08	-	Tidak tercantum
		Ra-226	186,04	2,00E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu
14	Filter Paper SSB 2	Pb-212	75,2	7,42E-02	-	Tidak tercantum
			238,77	7,21E-08	-	Tidak tercantum
		Ra-226	186,04	1,69E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu
15	Filter Paper Ruang Penyimpanan Bahan Kimia 1	Pb-214	75,44	1,94E-02	-	Tidak tercantum
		Ra-226	186,03	5,24E-07	1,8E-03	Dibawah baku mutu
16	Filter Paper Ruang Penyimpanan Bahan Kimia 2	Bi-214	609,9	1,05E-06	-	Tidak tercantum
		Pb-212	75,06	0,0299115	-	Tidak tercantum
			238,89	6,50E-07	-	Tidak tercantum
		Pb-214	73,05	0,0309424	-	Tidak tercantum
		Ra-226	186,2	1,36E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu
17	Filter Paper Blower	Pb-214	75,23	1,11E-01	-	Tidak tercantum
			77,51	8,18E-02	-	Tidak tercantum
			352,17	1,19E-06	-	Tidak tercantum
18	Filter Paper Lab Liofilisasi	Bi-214	609,57	9,22E-07	-	Tidak tercantum
		Pb-212	75,1	9,45E-02	-	Tidak tercantum
			238,9	1,77E-06	-	Tidak tercantum
		Pb-214	352,11	1,72E-06	-	Tidak tercantum
		Ra-226	186,26	3,87E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu
19	Filter Paper LQC	Pb-214	75,27	1,90E-01	-	Tidak tercantum
			352,21	2,23E-06	-	Tidak tercantum
		Ra-226	186,16	1,01E-06	1,8E-03	Dibawah baku mutu
20	Filter Paper Hall Selatan Reaktor	Pb-212	238,1	1,74E-06	-	Tidak tercantum
		Ra-226	185,26	3,21E-07	1,8E-03	Dibawah baku mutu
21	Filter Pape Lab Pneumatik	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi	-	Tidak terdeteksi

Setiap radionuklida memiliki energi dan karakteristik spesifik yang berbeda-beda. Sehingga dapat digunakan sebagai acuan dasar dalam melakukan analisis secara kualitatif. Analisis kuantitatif dilakukan berdasarkan nilai cacahan yang dihasilkan oleh spektrum yang terpancar dari radionuklida [13].

Dari hasil pencacahan pada 20 titik *sampling* yang dapat dilihat pada Tabel 3 teridentifikasi radionuklida alam, yaitu Pb-212 (Timbal-212), Pb-214 (Timbal-214), Ra-226 (Radium-226), dan Bi-214 (Bismut-214). Pb-214, Ra-226, dan Bi-214 merupakan anak luruh dari U-238 (Uranium-238), sedangkan Pb-212 merupakan anak luruh dari Th-232.

Pada titik *sampling* ke-21 dengan sampel *filter paper* laboratorium pneumatik, tidak ditemukan jenis radionuklida secara signifikan karena energi dengan probabilitas terbesar tidak teridentifikasi.

U-238 biasa terdapat di alam, sekitar 99,3% dihasilkan dari uranium alam, sedangkan Th-232 biasanya terdapat pada bebatuan sekitar 1,6-20 ppm. Selain radionuklida alam didapatkan pula radionuklida buatan, yaitu I-131 (Iodium-131). I-131 ini berasal dari aktivitas proses produksi I-131 di Lab. RISB untuk sediaan radiofarmaka I-131-Hipuran, yang berfungsi untuk diagnosa ginjal.

Mengacu pada PerKa BAPETEN no. 7 tahun 2017 lampiran 3 tabel 1 tentang nilai batas radioaktivitas lingkungan, tidak ditemukan radioaktivitas nuklida yang melebihi baku tingkat radioaktivitas yang telah ditentukan [2].

KESIMPULAN

Hasil pengukuran radioaktivitas beta-total di masing-masing titik memiliki aktivitas dibawah baku tingkat yang diizinkan. Hasil analisis radioaktivitas gamma menunjukkan terdapat radionuklida alam yaitu Pb-212 yang merupakan anak luruh Th-232, sedangkan Pb-214, Bi-214, dan Ra-226 merupakan anak luruh U-238. Selain itu ditemukan radionuklida buatan yaitu I-131 yang berasal dari proses produksi untuk sediaan radiofarmaka. Berdasarkan Perka BAPETEN no. 7 tahun 2017 tingkat radioaktivitas dari radionuklida pemancar gamma yang teridentifikasi pada sampel memiliki tingkat radioaktivitas yang berada di bawah nilai batas radioaktivitas yang diizinkan.

ACKNOWLEDGEMENTS

Terima kasih kepada seluruh Staf Subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi dan personel Laboratorium RISB dan Bidang SBR yang telah membantu kelancaran proses penelitian ini.

REFERENSI

- [1] ALATAS Z, "Buku Pintar Nuklir", Jakarta: Batan Press, (2016).
- [2] BAPETEN, "Peraturan Kepala Badan No 7 Tahun 2017 Tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 7 Tahun 2013", Jakarta (2017)
- [3] BATAN, "Radioaktivitas Ensiklopedia Teknologi Nuklir", Jakarta: BATAN, (2015a).
- [4] BATAN, "Radionuklida yang Ada di Bumi Ensiklopedia Teknologi Nuklir", Jakarta: BATAN (2015b).
- [5] DUDERSTADT J. J., dan HAMILTON, L. J, "Nuclear Reactor Analysis", New York: John Wiley and Sons, Inc. (1967).
- [6] HISWARAN E, "Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit", Jakarta: Batanpress (2015).
- [7] JAMAYANTI E, "High Purity Germanium Detector (HPGe Detector)", Retrieved krom Yogyakarta (2015).
- [8] NUROKHIM, "Penentuan Ketebalan Dead Layer Detektor HPGe Melalui Simulasi dan Pengukuran Kurva Kalibrasi Efisiensi untuk Analisis Limbah Radioaktif Pemancar Gamma", Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah, 17(2), (2014)
- [9] PRANOTO A, "Sains dan Teknologi", Jakarta: Gramedia Pustaka Utama (2009).
- [10] PURWANTO A T, dan NURAENI E, "Optimasi Parameter Spektrometri Gamma dengan Detektor HPGe", Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir (2013).
- [11] RAHAYU D. S, "Analisis Distribusi Radionuklida Dalam Drum Menggunakan Spektrometri Gamma", Hasil Penelitian dan Kegiatan PLTR 2006 (2006).
- [12] SARIJATI U, "Risiko Nuklir dan Respon Publik Terhadap Bencana Nuklir Fukushima di Jepang", Jurnal Kajian Wilayah, 9(1) (2018).
- [13] WAHYUDI, ISKANDAR D, dan MARJANTO D, "Pengaruh Matriks Terhadap Pencacahan Sampel Menggunakan Spektrometer Gamma", JFN, 1(2) (2007).
- [14] WIDIYANTORO A, "Spektroskopi dan Spektrometri Partikel Alfa", Retrieved krom Yogyakarta (2017).

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

Jika tingkat radioaktivitasnya rendah, apakah lama kelamaan akan berakumulasi dan berbahaya ?

Jawaban

Sejauh ini dari penelitian akumulasi bahaya radioaktivitas yang rendah pada waktu lama belum terbukti atau terlihat efek negatif pada kesehatan secara jelas dan signifikan, potensi bahaya pada keselamatan terlihat jelas dan signifikan karena radiasi pengion mulai dari aktivitas 1 Gray dan lebih besar dari itu.

Radioaktivitas adalah fenomena disintegrasi atau peluruhan spontan dari inti atom yang tidak stabil menjadi inti atom yang lebih stabil secara energi. Selama proses peluruhan ini dipancarkan radiasi yang kemudian

diterima oleh tubuh manusia dengan nama dosis radiasi. Istilah dosis radiasi yang rendah adalah tingkat dosis radiasi yang diterima lebih kecil dari batas dosis yang diatur dalam ketentuan/peraturan. Paparan radiasi yang terus menerus diterima oleh tubuh akan menjadikan terimaan dosis radiasi meningkat. Berdasarkan forum radiobiologi khusus, dosis radiasi yang rendah dan terus menerus diterima akan sangat kecil kemungkinannya untuk merusak sel tubuh selama mekanisme perbaikan atau regenerasi sel terus berlangsung dengan baik. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) menyimpulkan bahwa dosis radiasi rendah mengacu pada dosis total kurang dari 200 mSv dan laju dosis di bawah 0,1 mSv per menit. Berdasarkan hasil penelitian, rata-rata terimaan dosis radiasi tahunan setiap manusia yang diperoleh secara alamiah adalah 2,4 mSv. Secara kalkulasi, selama usia hidup manusia rata-rata, terimaan dosis radiasi tidak mencapai 200 mSv. Nilai ini masih dalam kategori dosis radiasi yang rendah dan tidak berdampak signifikan terhadap tubuh.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



THE IMPLEMENTATION OF A PLC BASED CONTROLLER ON SAFETY SYSTEM OF CS-30 CYCLOTRON

Heranudin^{1, a)}, Kristianto Hidayat²⁾, Fyndi Abdi Wibowo²⁾, I Wayan Widiana²⁾,
Rajiman²⁾, Syefudin Ichwan²⁾, Edi Slamet Riyanto²⁾, Parwanto²⁾

¹Research Center for Radioisotopes Radiopharmaceuticals and Biodosimetry – BRIN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 11, Tangerang Selatan, Banten, 15314, Indonesia

²Department of Nuclear Facility Management – BRIN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 11, Tangerang Selatan, Banten, 15314, Indonesia

^{a)} Corresponding author: heranudin@brin.go.id

Abstract. A Programmable Logic Controller (PLC) based controller has been implemented on the safety system of CS-30 cyclotron. The PLC with an LCD touch screen interface providing reliability and ease of operation replaced the old control system that relied on logic gates and relay-based interlock systems. The main controller located in the cyclotron control room manages four radiation zones: cyclotron cave, physics cave, solid target cave and Positron Emission Tomography (PET) cave. Each zone has a cave control unit, an area radiation monitor, door sign lights and horns. In order to protect personnel from radiation and electrical hazards, the PLC was programmed to divide the safety conditions into four stages of access: permitted access, controlled access, restricted access and no access. As a result, this safety system has effectively replaced the old system and can be applied to other similar facilities.

INTRODUCTION

Nowadays, cyclotron is widely used in nuclear medicine for producing medical radionuclides(1–3). Cyclotron, as a particle accelerator, can produce harmful radiation levels, even after some time the cyclotron finished operation(4). National Research and Innovation Agency of Indonesia (BRIN) has a CS-30 cyclotron facility established in 1991. The CS-30 cyclotron has four zones of radiation, namely cyclotron cave, physics cave, solid target cave, and PET cave. Those last three are target areas of the cyclotron. Due to safety concerns, a systematic process of safety system is required to provide human safety and adequate flexibility in research as well(5,6). The safety system is used to protect personnel from both radiation hazards and electrical hazards. This system manages access to the four radiation areas and ensure no one is present during cyclotron operation.

In this project, a PLC (Programmable Logic Controller)-based control system was implemented to replace the previous controller of the safety system. The old control system was based on logic gates or TTL (Transistor Transistor Logic) combined with relay-based interlock systems. Disadvantages of the old one were the architecture of the control system was fixed due to its hardware design and dimension of the overall hardware size was quite large. Another drawback of the old system was the use of mechanical relays that are strongly influenced by its operating time(5). On the other hand, the developed system uses the PLC control system and an LCD touch screen interface. Through PLC programming, the control system design is configurable without requiring hardware replacement. In addition, the PLC system which is ruggedized industrial device could provide reliability in operation.

MATERIALS AND METHODS

Each cyclotron area has own safety system components that consist of an area radiation monitor, a cave control unit, door sign lights, horns. Area radiation monitor is required to monitor radiation level in the cave. The cave control unit handles the operation of the safety system in its cave. The door sign lights, which is installed in front of the cave entrance, is used to provide real time information about the cave and operating

conditions of the cyclotron. Horns is used to generate a loud sound signaling the process of closing the door. In general, a block diagram of the CS-30 cyclotron safety system is shown in Fig. 1.

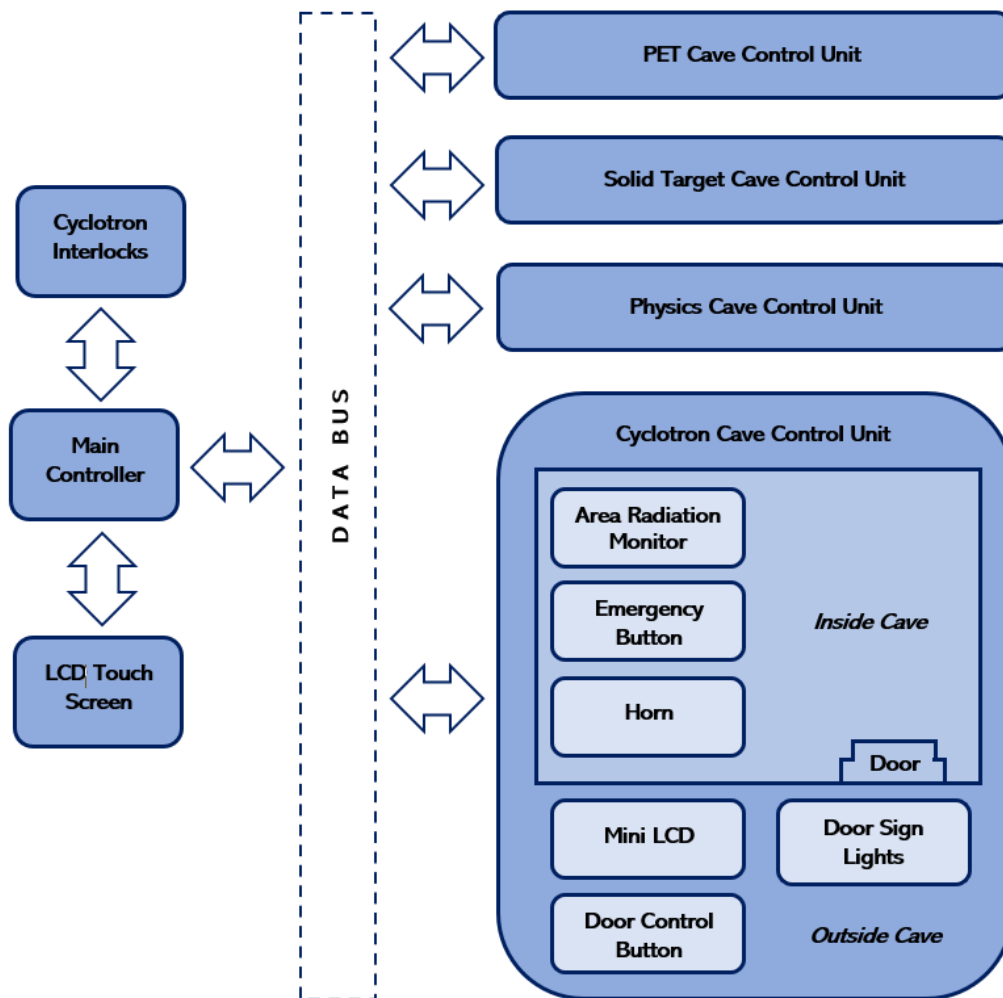


FIGURE 1. Block diagram of the safety system of CS-30 cyclotron.

Cave Control Unit

Cave control units comprise of emergency buttons, door control buttons, a mini-LCD and door sign lights as shown in Fig. 2(a). The emergency button is utilized in the event of an emergency, such as when personnel are trapped in the cave. Pressing this button can stop the cyclotron operation (shut down), then the cave door will open automatically for evacuating personnel.

The door control buttons are used to manually close and open the cave door. In the procedure for opening the cave door, personnel require an access key that can be obtained from the main controller of the safety system in the cyclotron control room before pressing the open button of the cave door. While the procedure for closing the cave door, it is necessary to press the button on a watchman station before pressing the close button. The watchman station is designed and located in such a way inside the cave so that the personnel can inspect situation of the cave. For safety purposes, pressing the button on the watchman station will trigger a timer that gives a time limit for closing the door via the cave door control button. The LCD display on the cave control unit is used to display information about cave conditions.

Each cave door has door sign lights indicating information about the cyclotron operation and cave conditions. The information displayed includes cyclotron is operating (beam on), cave with high radiation level, cave with low radiation level, cave in emergency condition, cave in restricted access condition and the interlock function in the safety system has been bypassed. Through these indicators, the operator gets sufficient information about the condition of the cyclotron before taking action in the cave.

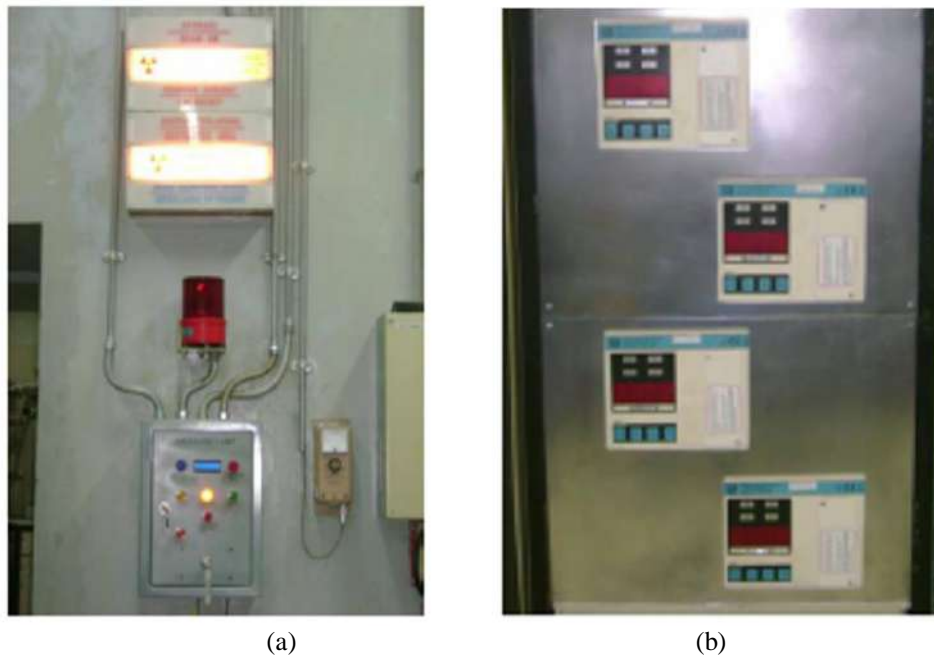


FIGURE 2. (a) Cave control unit located at the front of each cave. (b) Area radiation monitor for all caves.

Area Radiation Monitor

The area radiation monitors used Model 375 Digital Area Monitor by Ludlum Measurement Inc.(7), with detectors located in each cyclotron cave. Readings of the area monitor are in the cyclotron control room so that the radiation level in each area can be monitored in real time, as shown in Fig. 2(b). The radiation area monitor has a main function to protect personnel from radiation hazards, so it will only work when the cyclotron is not operating. Meanwhile, to measure the radiation level when the cyclotron is operating, a beam spill monitor is utilized. If after cyclotron operation, the radiation level in the cave is still high and dangerous for humans, the area radiation monitor will send a signal to the control system of the safety system to close access to the cave.

Main Controller of Safety System

The developed control system on the CS-30 cyclotron safety system employs a Siemens S7-200 PLC(8). The PLC was suitable with the design of the control system, which is simple but effective in handling various inputs and outputs of the safety system. This controller will process data from and to each cave of the cyclotron in real time.

In addition, the PLC is also connected to the interlock system of the cyclotron machine. When an emergency condition occurs, it will send a signal to the interlock system to immediately stop the cyclotron operation. As a result, the ion source subsystem and the Radio Frequency (RF) subsystem of the cyclotron will be turned off. With no operation of both systems, the cyclotron will not produce beam. Hardware configuration of the control system is depicted in Fig. 3.



FIGURE 3. Main controller of the safety system using the S7-200 PLC.

LCD Touch Screen Interface

Compared to the old control system which the interface system used buttons, switches, and lights indicator; the new control system utilized a user-friendly interface of LCD touch screen with the Simatic Panel TP-177 Micro type. The LCD is designed with several control pages including the cyclotron cave, physics cave, solid target cave, and PET cave. The LCD touch screen shows the input and output conditions of the PLC in real time. For example, on the cyclotron cave page, the LCD page shows the condition of the cyclotron cave such as condition of the cave door and radiation level. An illustration of the control page display on the LCD interface is presented in Fig. 4.



FIGURE 4. The LCD touchscreen for the safety system interface.

RESULTS AND DISCUSSION

The CS-30 cyclotron safety system has the main function to protect personnel or humans from radiation hazards and electrical hazards. In general, the developed program on the PLC divided the safety conditions into four stages of access:

- No access: All cave doors are completely closed and no one are allowed to enter the cyclotron caves at all. This stage allows cyclotron operation to generate the beam current. Ion source systems, RF and other systems with electrical hazards are also permitted to be on.
- Restricted access: At this stage, only experienced personnel are allowed to enter the cave to perform special tests. Entering the cave requires the access key which is located in the cyclotron control room. This stage allows systems with electrical hazards to operate, but the cyclotron is not permitted to operate to generate beam currents. Ion source (IS) systems and RF systems are not permitted to operate at same time.
- Controlled access: This stage allows personnel access the cave with limited and controlled entry. Ion source systems, RF and other systems with electrical hazards are also not permitted to be on.
- Permitted access: This stage allows personnel to enter the cave without restriction, so access key is not required. The cyclotron is not allowed to be operated. Ion source systems, RF and other systems with electrical hazards are interlocked to be off.

The stages of access can be described as shown in Fig. 5.

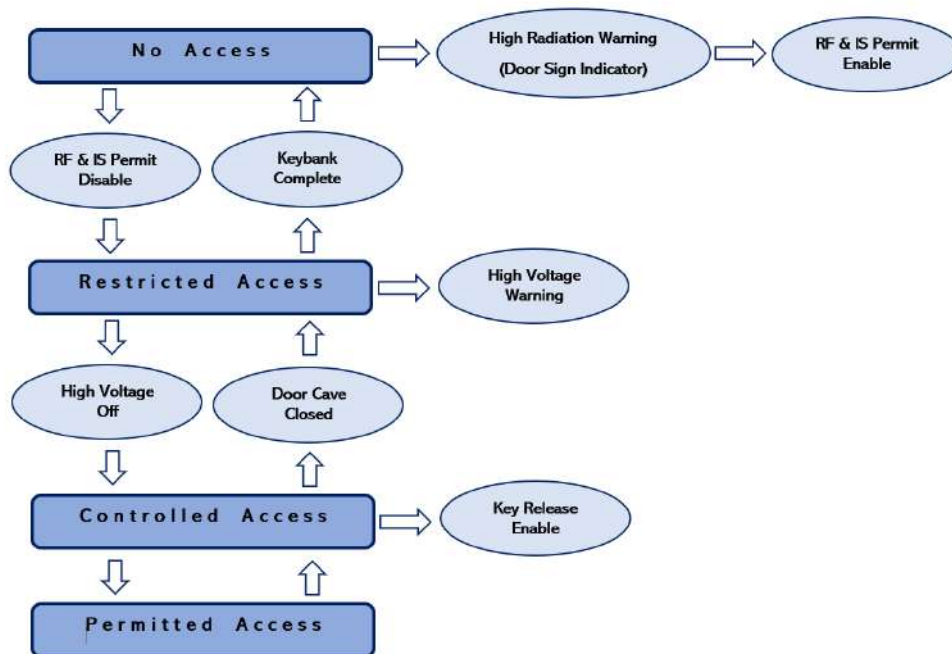


FIGURE 5. Access stage diagram of the safety system of the CS-30 cyclotron

Programming of the PLC used a graphical language that involves interconnecting the basic function blocks of the PLC hardware to implement control logics. Therefore, the control design can be redesigned without changing the hardware. Some parts of the created design can be reused to produce a new design and thus save time and cost for the future development. In addition, reuse of well-tested designs has an impact on increasing system reliability.

CONCLUSION

The CS-30 cyclotron safety system has been successfully developed using the controller based on Siemens PLC S7-200 with TP-177 Micro LCD touch screen interface. The system was designed for providing several access stages to the cyclotron and its caves: permitted access, controlled access, restricted access, and no access. These access stages systematically form a safe interaction for personnel against radiation hazards and electrical hazards caused by the cyclotron operation. Finally, the developed safety system can be applied to other cyclotron models or accelerators.

REFERENCES

- [1] International Atomic Energy Agency, Cyclotron Produced Radionuclides: Physical Characteristics and Production Methods, TRS-468, (IAEA, Vienna, 2009).
- [2] M. A. Synowiecki, L. R. Perk, J. F. W. Nijsen, "Production of novel diagnostic radionuclides in small medical cyclotrons," in *EJNMMI Radiopharmacy and Chemistry-2018*, 3(1)3.
- [3] I. Kambali, Rajiman, Parwanto, Marlina, Kardinah, N. Huda, et al. "Spectral Analysis of Proton-Irradiated Natural MoO₃ Relevant for Technetium-99m Radionuclide Production," in *J. Math. Fund. Sci.-2020*, (ITB Institute for Research and Community Services, Bandung, 2020), pp. 222-231.
- [4] T. Otto, Particle Acceleration and Detection: Safety for Particle Accelerators, (Springer International Publishing, Cham, 2020).
- [5] H. Zhang and E. Matias, "Development of an Accelerator Safety System Using IEC 61508 and Design Pattern. 2013," in *The Eighth International Conference on Systems-2013*, pp. 117-122.
- [6] J. C. Liu, J. S. Bull, J. Drozdoff, R. May and V. Vylet, "Radiation Safety Systems for Accelerator Facilities," *Radiation Protection Dosimetry-2001*, (Nuclear Technology Publishing, 2001), pp. 429-439.
- [7] Ludlum Measurements Inc, Manual of LUDLUM Models 375, (Ludlum, Texas, 2009).
- [8] Siemens AG, S7-200 Programmable Controller System Manual, (Siemens, Nuernberg, 2008).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENGEMBANGAN MANAJEMEN PROYEK EVALUASI IZIN TAPAK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE)

Alfa Gunawan Zulqarnain^{1,a)}, Budi Rohman^{1,b)}, Wiryono^{1,c)}, Tiar Fridianto^{1,d)}

¹ *Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir BAPETEN, Jl. Gajah Mada 8 Jakarta 10120*

email: ^{a)}gunawan@bapeten.go.id, ^{b)}b.rohman@bapeten.go.id, ^{c)}y.wiryono@bapeten.go.id,
^{d)}t.fridianto@bapeten.go.id

Abstrak – Saat ini BATAN telah merancang pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) yakni reaktor nuklir riset yang dapat menghasilkan daya (listrik/panas), dibangun di Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, dengan pilihan reaktor jenis HTGR berdaya 10MWth. Tahapan perencanaan tersebut telah dikeluarkan Izinnya oleh BAPETEN. Untuk mengevaluasi perizinan dengan benar, BAPETEN menerapkan Manajemen Proyek pada tinjauan peraturan dan penilaian dalam izin Tapak. Pelaksanaan manajemen proyek cukup efektif dalam penerbitan izin Tapak RDE yang lebih pendek dari durasi maksimum yang diamanatkan dalam peraturan. Dalam melaksanakan strateginya BAPETEN telah menerapkan Pengelolaan Proyek Perizinan Tapak RDE sebagai bahan pembelajaran ke depan dengan strategi: Implementasi Proses Pra-Lisensi, Strategi Sumber Daya Manusia, Manajemen Organisasi dan Konsultasi Perizinan. BAPETEN juga perlu mengembangkan manajemen proyek yang terkomputerisasi untuk mencapai sistem yang lebih efisien dan mudah diterapkan melalui pengembangan aplikasi dan pengelolaan data proyek perizinan reaktor nuklir.

Kata kunci: manajemen proyek, manajemen proyek terkomputerisasi, tinjauan dan penilaian peraturan, reaktor daya eksperimental

PENDAHULUAN

BATAN telah pengembangan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) untuk pembangkit listrik dan panas dan produksi hidrogen, di Serpong Kawasan Puspiptek, Provinsi Banten, dengan reaktor berpendingin gas suhu tinggi 10 MW mulai tahun 2015. Izin Tapak, salah satu tahapan perizinan, telah dilewati BATAN dengan diterbitkannya Ketentuan Tata Usaha Situs (KTUN) oleh BAPETEN pada 23 Januari 2017. BAPETEN menerapkan Manajemen Proyek untuk meninjau dan menilai permohonan izin tapak.

Manajemen proyek, menurut definisi IAEA, adalah kegiatan yang menghubungkan dan mengintegrasikan fungsi, dan pemahaman tentang engineering, quality assurance, procurement, dan accounting^[5]. Sedangkan menurut Husen Manajemen Proyek adalah penerapan pengetahuan, keahlian, dan keterampilan, dengan teknis terbaik dan dengan sumber daya yang terbatas, untuk mencapai tujuan dan sasaran yang telah ditentukan guna memperoleh hasil yang optimal dari kinerja, biaya, kualitas, dan waktu, serta keselamatan kerja^[6]. Pelaksanaan manajemen proyek dalam rangka pengawasan sangat diperlukan dalam proses pengawasan perizinan dan terbukti cukup efektif dalam penerbitan kegiatan izin Tapak RDE yang diajukan oleh PTKRN-BATAN. Pelaksanaan manajemen proyek telah meningkatkan akurasi dan kecepatan proses penerbitan izin yang lebih pendek dari durasi maksimum yang diamanatkan dalam peraturan.

Berdasarkan pengalaman yang telah dilakukan BAPETEN dalam melaksanakan penerbitan izin tapak RDE, diperlukan pengembangan sistem manajemen proyek yang terkomputerisasi untuk mencapai sistem yang lebih efisien dan mudah diimplementasikan melalui pengembangan aplikasi dan pengelolaan pengelolaan data melalui proyek perizinan reaktor nuklir. Sistem ini memuat kuantitas, kompetensi SDM, waktu penyelesaian, penetapan prioritas kegiatan, pemantauan dan pelaporan.

Tahapan pelaksanaan pengembangan sistem manajemen proyek perizinan dapat dilaksanakan melalui sistem database informasi yang terintegrasi dan mudah diakses dan dikembangkan untuk menyimpan semua informasi proyek yang dibutuhkan. Berdasarkan kondisi dalam pengelolaan manajemen proyek, pengelolaan yang baik terkait database dokumen proyek menjadi sangat penting karena setiap pengelolaan proyek memiliki

kepentingan dan kebutuhan yang beragam. Dengan dibangunnya sistem database informasi yang terintegrasi akan dapat menyelaraskan kegiatan proses perizinan yang dikembangkan berdasarkan sistem manajemen proyek perizinan.

BAETEN saat ini sedang mengembangkan B@lis Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir secara online guna menjawab tantangan dan tuntutan dalam meningkatkan efisiensi, efektivitas dan transparansi proses bisnis dan mekanisme kerja dalam sistem manajemen pemerintahan sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 81 Tahun 2010 tentang Grand Design Reformasi Birokrasi 2010-2025 menuju tata pemerintahan yang baik (Good Governance)^[4].

B@lis online Perizinan Instalasi Bahan Nuklir merupakan sarana pengembangan sistem informasi manajemen yang merupakan bagian dari manajemen proyek yang dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas dalam proses evaluasi permohonan izin instalasi dan bahan nuklir. Proses perizinan dapat dilakukan secara online dan menggunakan konsep digitalisasi dimana pemohon izin menggunakan sistem front-end untuk membuat permohonan perizinan dengan mengisi formulir dan mengunggah dokumen menggunakan metode self-checking. Kemudian untuk para evaluator baik dari BAPETEN atau para tenaga ahli dari luar Bapeten dapat menggunakan sistem backend untuk proses evaluasi yang saling terintegrasi dan terhubung. Berdasarkan pengalaman yang telah dilakukan didalam menerbitkan perizinan tapak RDE, BAPETEN perlu mengembangkan sistem manajemen proyek perizinan dan sistem B@lis Online Perizinan Instalasi Bahan Nuklir dalam mengevaluasi permohonan izin instalasi nuklir.

METODOLOGI

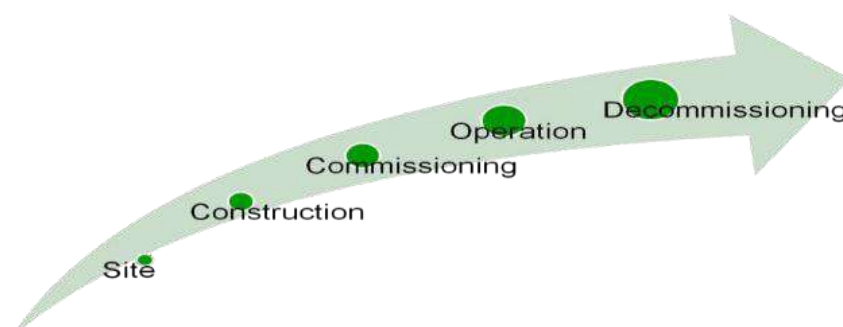
Pengembangan Manajemen Proyek Evaluasi Izin Tapak disampaikan dengan mengulas kegiatan proses perizinan tapak reaktor khususnya izin tapak Reaktor Daya Eksperimental milik BATAN dengan menggunakan sistem manajemen proyek yang diterapkan oleh BAPETEN dan juga dalam rangka pengembangan manajemen proyek yang terkomputerisasi melakukan studi pustaka dengan tahapan langkah meliputi: pengumpulan literatur standar dan peraturan perundang-undangan yang terkait, dan pengumpulan informasi pendukung.

HASIL DAN DISKUSI

Peraturan Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir

Berdasarkan Undang-undang (UU) Nomor 10 Tahun 1997^[1] tentang Ketenaganukliran, pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia, sesuai dengan bunyi pasal 17 dinyatakan bahwa setiap kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memiliki izin, kecuali dalam hal-hal tertentu yang diatur lebih lanjut dengan Peraturan Pemerintah kemudian pada ayat berikutnya disebutkan bahwa Pembangunan dan pengoperasian reaktor nuklir dan instalasi nuklir lainnya serta dekomisioning reaktor nuklir wajib memiliki izin.

Selanjutnya pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 2 Tahun 2014^[2] tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Berdasarkan pasal 4 dinyatakan bahwa: pembangunan dan pengoperasian reaktor nuklir serta dekomisioning wajib memiliki izin, kemudian izin pembangunan reaktor nuklir meliputi: a. izin tapak; dan b. izin konstruksi. c. izin pengoperasian reaktor nuklir yang didalamnya meliputi izin komisioning; dan izin operasi. Berdasarkan tahapan perizinan sesuai Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 2 Tahun 2014^[2] tahapan awal dari perizinan adalah Perizinan tapak Instalasi Nuklir yang di atur dalam Persyaratan Teknis Pasal 8 dengan persyaratan teknis harus memenuhi: a. laporan pelaksanaan Evaluasi Tapak; b. laporan pelaksanaan sistem manajemen Evaluasi Tapak; c. DID; dan d. dokumen yang memuat data utama Reaktor Nuklir. Gambar 1 dibawah menjelaskan dari setiap tahapan izin yang diberlakukan didalam pembangunan Reaktor Daya di Indonesia.



GAMBAR 1: Tahapan Perizinan Reaktor Daya

Perizinan Reaktor Daya

Sesuai dengan Pasal 4 UU Nomor 10 Tahun 1997^[1] tentang Ketenaganukliran, Pemerintah membentuk Badan Pengawas yang berada di bawah dan bertanggung jawab langsung kepada Presiden yang didalam

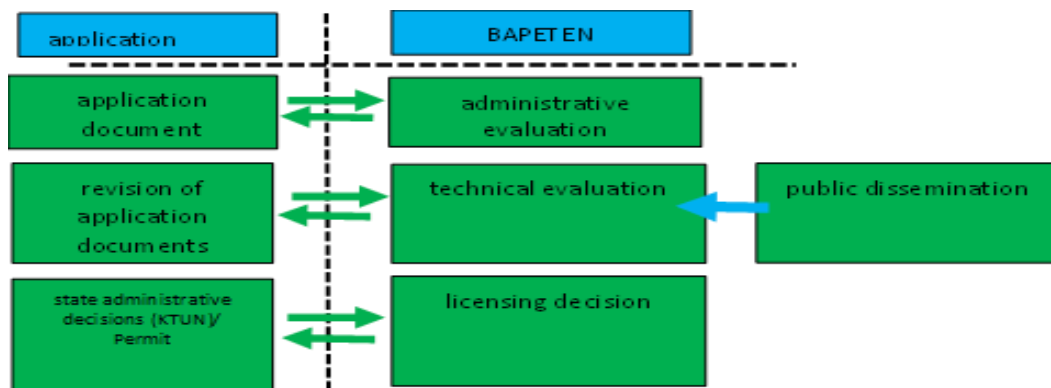
tugasnya melakukan pengawasan terhadap seluruh kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Berdasarkan kewenangannya Badan Pengawas melakukan Pengawasan Ketenaganukliran melalui tiga pilar pengawasan yaitu: Pengaturan, Perizinan, dan Inspeksi.

Badan Pengawas yang saat disebut sebagai Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) adalah instansi pemerintah yang berwenang mengawasi penggunaan tenaga nuklir, termasuk dalam hal ini pengawasan pembangunan dan pengoperasian PLTN. Dalam hal pembangunan dan pengoperasian ini BAPETEN telah menyusun peraturan dan pedoman yang berkaitan dengan keselamatan dan keamanan fasilitas yang akan dibangun untuk semua tahapan, yaitu tahapan tapak, desain, konstruksi, operasi, dan dekomisioning.

Dalam tahapan proses perizinan sesuai dengan peraturan untuk tahapan awal perizinan RDE, BAPETEN mengeluarkan yang dinamakan Perizinan Tapak kepada Badan Pelaksana atau dalam hal ini BATAN. Pembangunan RDE berdasarkan pada peraturan dan pedoman serta semua ketentuan yang berlaku, menyelenggarakan perizinannya dilakukan melalui evaluasi dan penilaian terhadap setiap dokumen perizinan yang diajukan oleh pemohon izin yaitu BATAN, untuk memastikan dipenuhinya semua persyaratan terkait dengan tahap pembangunan dan pengoperasian.

Dalam kegiatan review dan penilaian dokumen perizinan, BAPETEN membentuk tim baik secara internal BAPETEN maupun tim independen yang sering disebut sebagai TSO (*Technical Support Organization*) dalam bentuk kerja sama dengan lembaga ataupun tenaga ahlidiluar BAPETEN melalui kegiatan evaluasi bersama dengan tetap mengutamakan profesionalisme

Dalam pelaksanaan proses evaluasi dan penilaian, BAPETEN mengundang pemohon izin untuk menjelaskan atau memberikan klarifikasi tentang apa yang terkandung di dalam dokumen perizinan mereka agar tidak terjadi salah pemahaman dalam menelaah dokumen. Selain melakukan proses evaluasi dokumen BAPETEN juga melaksanakan verifikasi dilapangan untuk memastikan kesesuaian data di dokumen dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Setelah seluruh persyaratan dan proses tersebut dipenuhi sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku, maka BAPETEN dapat mengeluarkan izin yang disebut KTUN (Keputusan Tata Usaha Negara) yang telah diajukan oleh pemegang izin. Setelah izin diperoleh, Pemegang izin dapat melakukan kegiatan sesuai dengan kewenangan dan batasan yang ada di dalam izin tersebut. Selama pelaksanaan kegiatan pembangunan dan pengoperasian, BAPETEN berkewajiban melakukan inspeksi dalam rangka memastikan bahwa Pemegang Izin mentaati setiap kondisi izin dan memenuhi semua ketentuan keselamatan, keamanan dan sefeguard. BAPETEN juga dapat meminta kepada Pemegang Izin untuk melakukan tindakan perbaikan atau menghentikan kegiatan untuk sementara waktu, apabila BAPETEN menemukan adanya ketidaksesuaian atau pelanggaran di lapangan yang berpotensi membahayakan keselamatan dan kesehatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Gambar 2 dibawah ini menjelaskan alur proses pengajuan izin sampai dengan terbitnya KTUN dalam proses izin BAPETEN dalam tahapan pembangunan.



GAMBAR 2: Proses Evaluasi Perizinan di BAPETEN

Perizinan Tapak Reaktor Daya Eksperimental

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 2 Tahun 2014^[2] tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, terkait perizinan Tapak Instalasi Nuklir disebutkan bahwa Persyaratan izin sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi: a. persyaratan administratif; b. persyaratan teknis; dan c. persyaratan finansial.

Persyaratan teknis untuk memperoleh izin Tapak sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 ayat (2) huruf a meliputi: a. laporan pelaksanaan Evaluasi Tapak; b. laporan pelaksanaan sistem manajemen Evaluasi Tapak; c. DID; dan d. dokumen yang memuat data utama Reaktor Nuklir. Ketentuan mengenai penyusunan dokumen persyaratan teknis sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a sampai dengan huruf c diatur dengan Peraturan Kepala BAPETEN.

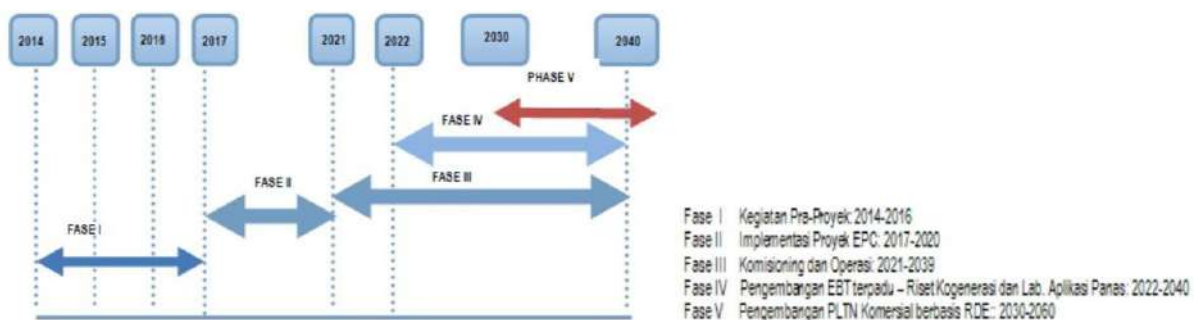
Untuk jangka waktu pemenuhan seluruh proses perizinannya sendiri telah diatur juga dalam pasal 15 sampai dengan pasal 19 PP No 2 Tahun 2014^[2], yang tercantum dalam Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Ketentuan dan Proses Lisensi Situs RDE

SYARAT	TAPAK
ADMINISTRASI	a. bukti pendirian badan hukum b. persyaratan hak atas tanah,/izin pinjam pakai kawasan hutan/perubahan peruntukan kawasan hutan, c. kesesuaian dengan penataan ruang, d. bukti pembayaran biaya permohonan izin
TEKNIS	a. laporan pelaksanaan Evaluasi Tapak; b. laporan pelaksanaan sistem manajemen Evaluasi Tapak; c.DID; dan d. dokumen yang memuat data utama Reaktor Nuklir
FINANSIAL	-
SYARAT	EVALUASI TAPAK
TEKNIS	Dokumen Program Evaluasi Tapak dan SistemManajemen
PIHAK	TAPAK
Syarat Awal	Evaluasi Tapak
Pemegang Izin	Syarat Administrasi dan Teknis
BAPETEN	Pengecekan Dokumen 30 Hari Penilaian Dokumen 2 Tahun
Pemohon	Perbaikan Penilaian Dokumen 3 Tahun
Total Waktu Evaluasi Tahap I	5 Tahun 30 Hari
Pemegang Izin	Syarat Teknis
BAPETEN	Pengecekan Dokumen 30 Hari Penilaian Dokumen 6 Bulan
Pemohon	Perbaikan 6 Bulan
Total Waktu Evaluasi Tahap II	1 Tahun 30 Hari
Terbit Izin (KTUN) Tapak RDE	

Strategi Manajemen Proyek untuk Perizinan Tapak RDE

BATAN sebagai pemohon izin RDE telah merencanakan jadwal induk pembangunan dan pengembangan proyek RDE yang terbagi menjadi lima (5) fase kegiatan (Gambar 3). Dalam jadwal induk tersebut terlihat bahwa kegiatan proyek RDE berlangsung selama 7 tahun (2014- 2020), setelah itu dilanjutkan dengan kegiatan komisioning dan operasi yang dimulai pada tahun 2021. Sehingga diperlukan waktu 6 tahun sejak sekarang hingga akhir tahun 2020 untuk pengurusan perizinan tapak, konstruksi, komisioning dan operasi^[7]. Tahapan Proyek RDE BATAN dijelaskan pada gambar 3 dibawah ini.

**GAMBAR 3.** Tahap Proyek RDE BATAN

Tahap perizinan membutuhkan persyaratan yang cukup banyak dan juga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menyiapkannya, baik persyaratan administratif ataupun persyaratan teknis. Selain itu, penilaian atau evaluasi teknis terhadap dokumen persyaratan perizinan yang dilakukan BAPETEN juga membutuhkan waktu yang tidak sebentar untuk menjamin keamanan dan keselamatan pembangunan dan pengoperasian RDE. Oleh karena itu, agar perencanaan pembangunan dan pengoperasian RDE dapat terlaksana sesuai dengan jadwal yang ditetapkan, maka perlu disiapkan penyusunan dan penyiapan strategi dan langkah-langkah agar jadwal

perizinan dapat terpenuhi dengan tepat waktu. Dari hasil identifikasi, beberapa strategi dan langkahl angka yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:

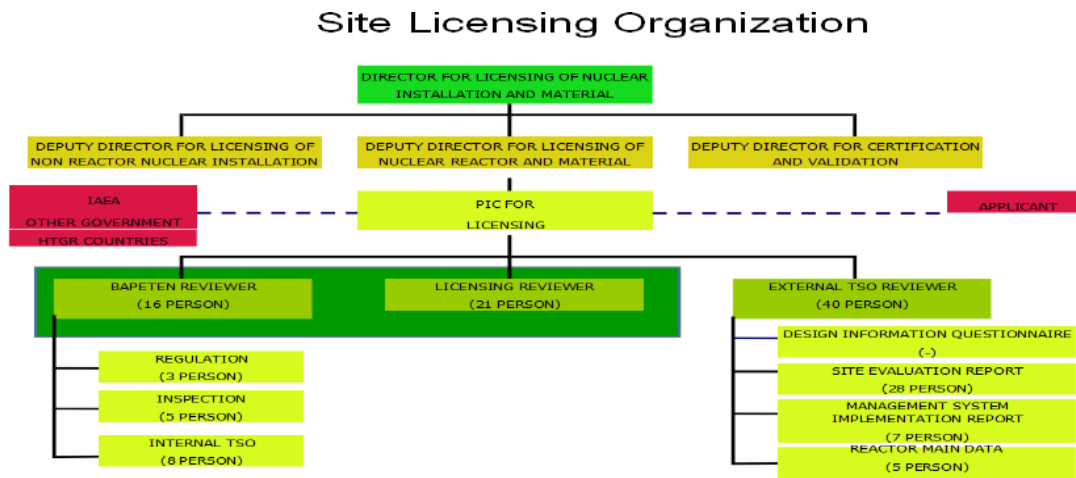
Strategi yang diterapkan dalam proses perizinan Tapak di BAPETEN:

1. Sumber daya manusia

Dalam pelaksanaan evaluasi BAPETEN berusaha memenuhi seluruh aspek dari dokumen izin yang diajukan oleh pemohon izin dengan mengandalkan kekuatan dan kemampuan dari Evaluator BAPETEN sesuai dengan kebutuhan teknis yang ada. Kekuatan Evaluator yang dimiliki BAPETEN dalam melaksanakan evaluasi perizinan Tapak RDE adalah sangat minim yaitu personil yang tersedia di Direktorat Perizinan IBN BAPETEN dan melibatkan beberapa evaluator di luar DPIBN, sehingga diperlukan keterlibatan evaluator dari luar BAPETEN dengan metode pelaksanaan kerjasama evaluasi dengan TSO atau evaluator luar BAPETEN dalam hal ini telah melibatkan Instansi Pemerintah dan Perguruan Tinggi yang profesional.

Pada pelaksanaan evaluasi tapak RDE, BAPETEN melakukan evaluasi bersama dengan TSO yaitu bekerja sama dengan Institut Teknologi Bandung, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofosika, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan juga Pemerintah daerah dalam hal ini PEMDA Tangerang Selatan.

Kekuatan para evaluator dalam melaksanakan evaluasi permohonan izin tapak RDE dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



GAMBAR 4. Sumber Daya Evaluator Perizinan Tapak RDE di BAPETEN

2. Manajemen Organisasi

Dalam penerapan proyek perizinan Tapak RDE, BAPETEN membentuk tim evaluator yang dipimpin langsung oleh Kepala Proyek Perizinan dalam hal ini adalah Direktur Perizinan IBN yang kemudian dalam pelaksanaan operasional menunjuk seorang manajer pengawas kegiatan yang bertanggung jawab memantau proses kegiatan perizinan berjalan dengan baik dan tepat waktu. Tugas ini dipegang langsung oleh Koordinator Kelompok Fungsi Perizinan Reaktor dan Bahan Nuklir (KF – PRBN) DPIBN-BAPETEN, kemudian dibawah Manajer ini dibentuklah para penanggung jawab kegiatan untuk masing-masing sub kegiatan evaluasi didalam proses perizinan Tapak RDE. Adapun masing-masing para penanggung jawab kegiatan yang sering disebut sebagai PIC (Person In Charge) adalah perosnil yang bertanggung jawab untuk kegiatan evaluasi dari sub evaluasi yang merupakan bagian dari proses perizinan tapak, termasuk didalamnya adalah proses koordinasi dengan pemegang izin agar dalam proses perizinan terjadi komunikasi yang baik anatara Badan Pengawas dan Pemohon izin supaya tidak terjadi hambatan atau keterlambatan proses termasuk tidak terjadi kesalah pahaman dalam penafsiran hasil evaluasi. Point penting dari strategi manajemen proyek ini adalah dibentuknya PIC untuk masing-masing sub judul proses perizinan dan koordinasi yang baik BAPETEN dengan pemohon izin.

3. Konsultasi Perizinan

Dalam rangka proses penyiapan kelengkapan dokumen, sesuai dengan persyaratan dan kelengkapan persyaratan perizinan diperlukan waktu yang cukup lama, terkadang terkendala dengan batasan waktu yang telah ditetapkan didalam peraturan perizinan. Kendala pemenuhan kelengkapan dokumen akan menyebabkan diperlukannya tambahan waktu untuk perbaikannya, sehingga menyebabkan proses perizinan menjadi mundur. Sehingga waktu penilaian teknis yang dilakukan oleh BAPETEN terkadang bergantung pada kecepatan pemohon izin dalam melengkapi persyaratan izin yang dipersyaratkan.

Mencoba belajar dari pengalaman proses perizinan yang diajukan BATAN dalam mempersiapkan permohonan persetujuan evaluasi Tapak RDE tahun 2014, kecepatan BATAN dalam melengkapi data dan merevisi dokumen pada saat pertama kali diajukan masih belum optimal. Hal ini karena penanggung jawab perizinan RDE tidak berada dalam satu atap dan satu pimpinan manajemen di level teknis, sehingga koordinasi menjadi sedikit lambat dan terkadang membutuhkan tambahan waktu untuk mempersiapkan kelengkapan ataupun perbaikan revisi dari persyaratan perizinan. Untuk itu perlu diterapkan one stop management dan one

leadership berupa Unit Pelaksana Teknis atau Project Management Organization (PMO) untuk mengurus pengelolaan proyek RDE secara umum dan pengelolaan perizinan RDE secara khusus.

Dalam menyasiasi kendala tersebut, BAPETEN menerapkan kegiatan pra evaluasi perizinan, dimana pemohon izin dapat berkonsultasi terlebih dahulu terkait pemenuhan dan persyaratan kelengkapan dokumen perizinan sebelum dilakukan pengajuan permohonan izin secara resmi ke BAPETEN. Selain itu dalam proses pengajuan, BAPETEN menerapkan konsultasi atau bimbingan teknis terkait pemenuhan dokumen perizinan yang diharapkan dapat mempercepat alur proses perizinan dari permohonan sampai dengan penerbitan KTUN tepat atau bahkan sebelum batas waktu yang ditetapkan. Hal ini untuk menghindari kerugian dari pemohon izin terkait waktu dan dana yang telah dikeluarkan akibat pembayaran permohonan izin tersebut.

Manajemen waktu

Manajemen waktu pelaksanaan evaluasi memegang peranan penting dalam proses perizinan tapak RDE dikarenakan BAPETEN memiliki keterbatasan waktu evaluasi dan proses izin sesuai dengan yang diamanatkan oleh Peraturan. Selain kendala keterbatasan waktu yang dimiliki BAPETEN, Pemegang izin juga memiliki kendala waktu terkait pemenuhan dokumen perizinan dan juga hambatan proses pengadaan jasa guna pembayaran permohonan izin, sehingga seluruh kendala waktu harus dapat diperbaiki melalui mekanisme strategi manajemen proyek yang telah dibuat. Strategi-strategi pelaksanaan yang telah disampaikan diatas menjadi salah satu jalan keluar BAPETEN dalam menyelesaikan permasalahan waktu dan SDM yang dimilikinya.

Strategi manajemen waktu yang diterapkan dalam proses perizinan adalah melalui metode pemeringkatan evaluasi, dimulai dengan pelaksanaan evaluasi dari Bab Laporan Analisa Keselamatan yang memiliki resiko sangat tinggi, dan mengatur jumlah evaluator disesuaikan juga dengan resiko kejadian dari LAK tersebut. Selain menggunakan metode pemeringkatan evaluasi, proses dalam masing-masing kegiatan perizinan para PIC berkewajiban membuat komponen evaluasi meliputi: penjadwalan, komposisi evaluator, kapasitas evaluator, dan dukungan evaluasi lainnya. Selain itu juga harus dipantau progres dari setiap waktu yang telah ditentukan, hal ini berguna untuk memastikan bahwa hasil evaluasi sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Pengembangan Sistem Manajemen Proyek Perizinan

Dengan adanya strategi-strategi yang di buat dalam melaksanakan proses perizinan telah membantu BAPETEN menyelesaikan dan mengeluarkan KTUN tepat waktu dan selamat. Untuk kedepannya masih diperlukan strategi lain dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan tersebut melalui mengembangkan sistem Manajemen proyek Perizinan yang berbasis komputer dan terdata sehingga selain menghasilkan evaluasi perizinan yang baik juga dapat menghasilkan ketepatan waktu dan menyasiasi keterbatasan SDM yang ada.

Untuk melakukan pengembangan manajemen proyek seperti itu, tentunya diperlukan sebuah perangkat pendukung yang mampu dijadikan sebagai sarana komunikasi dan interaksi antar personil proyek (Badan Pengawas, Evaluator, Pemegang Izin, Stakeholder), yaitu sebuah sistem perangkat lunak manajemen proyek berupa teknologi informasi terintegrasi, dan mudah diakses dari mana saja. Akan lebih baik lagi apabila perangkat lunak ini mempunyai visual interface yang interaktif dan fleksibel sehingga memberikan dukungan yang sangat signifikan terhadap penyampaian informasi.

Dengan adanya aplikasi manajemen proyek BAPETEN, efisiensi waktu dan biaya proses perizinan dapat ditingkatkan. Hal ini dapat menjadi keuntungan atau kemudahan dari peserta proyek yaitu:

- Manajer Proyek (Koordinator KF – PRBN) dapat membuat sebuah perencanaan proses perizinan baik penjadwalan maupun alokasi sumber daya evaluator yang terencana dengan baik.
- Evaluator, dapat memperoleh penugasan pekerjaan kapan saja, serta dapat melaporkan perkembangan pekerjaan yang dilakukannya, umumnya adalah berupa persentase kemajuan (progress).
- Stakeholder Proyek (Pemohon Izin, TSO), yaitu siapapun baik perorangan maupun organisasi yang berkepentingan dengan proyek, dapat memantau dan memperoleh informasi tentang jalannya proses perizinan sehingga proses ini dapat berjalan secara transparan.

Sistem Manajemen Proyek Berbasis B@lis Online Perizinan Bahan dan Instalasi Nuklir (PIBN)

Pengembangan sistem perizinan yang sedang dikembangkan saat ini adalah sistem perizinan B@lis Perizinan IBN. Untuk mempermudah pengembangan sistem tersebut, dikembangkan juga sistem manajemen proyek evaluasi perizinan untuk memudahkan manajer proyek/koordinator perizinan mengevaluasi dokumen perizinan serta mengefisienkan waktu dan dana dalam pelaksanaan evaluasi perizinan ke depan.

Pengembangan Balis online Perizinan IBN menggunakan framework yang hampir sama dengan Balis online Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat radioaktif versi 2.0 yang sudah berjalan dan digunakan sejak 2 Januari 2016. Pengembangan Balis online PIBN disesuaikan dengan kebutuhan dan juga peraturan-peraturan terkait yang berlaku. Struktur proses Balis online Perizinan Instalasi dan bahan Nuklir berbeda dengan Balis online Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (FRZR). Sebagai contoh Balis online FRZR untuk proses disposisi evaluator dilakukan secara random dan otomatis by system dan diampu dan dievaluasi oleh satu orang evaluator yang sama. Sedangkan Balis online PIBN pengampu atau PIC ditentukan oleh Otorisator dengan melihat kesesuaian

instalasi dan kapabilitas PIC. Kemudian evaluator yang ditentukan dapat terdiri dari banyak evaluator dapat terdiri dari personel dari Bapeten dan juga dari personel di luar Bapeten, seperti dari Universitas, Instansi swasta, Instansi pemerintah dan juga dapat dari konsultan dan Technical Support Organization (TSO). Hal ini sesuai dengan pemaparan Alghory, S. & Aly, A.I.M. [3] bahwa TSO sangat diperlukan untuk melakukan evaluasi dari sisi regulatory body untuk negara pendatang baru dalam mengevaluasi permohonan instalasi nuklir terutama instalasi reaktor daya.

Tampilan Balis online PIBN dapat dilihat pada Gambar.5 yang terdiri dari backend untuk proses evaluasi dan frontend untuk pemohon izin untuk melakukan pengajuan izin dan pemantauan data.



Jenis Layanan	Draft	Siapa	Evaluasi	Perbaikan	Pembayaran	Terbit
Perubahan						
Sesu	0	0	0	0	0	0
Perpanjangan	0	0	0	0	0	0
Perubahan	0	0	0	0	0	0
Pemohonan Baru						
Sesu	0	0	0	0	0	0
Perpanjangan	0	0	0	0	0	0

(a)



No.	No Registrasi	Instansi	Objek Pengawasan	T. Dokumen Terdistribusi	Status Penilaian	User/Disposisi	Action
1	0000020 2020-02-12 10:35:33	Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) - SABDA	Objek Pengawasan : Bahan Teror Tekanan Istimewa dari Pengembangan Jenis Instalasi Sambutan dan Pengembangan Jenis Permisian Baru	Dokumen : 5 - BDC - Terdistribusi - 52 file	Perilaku Teknis Simpul Sesuai	Penginput : PSTNT Virtual PIC : 5. K. Sidiyanto	Detail

(b)

GAMBAR 5. Tampilan B@lis online PIBN (a) frontend (b) backend

Dalam mengimplementasikan Sistem Manajemen Proyek B@lis Online Berbasis PIBN, BAPETEN mengembangkan sistem:

1. Manajemen keuangan

B@lis online PIBN telah terhubung dan terintegrasi dengan aplikasi SIMPONI untuk proses pengeluaran kode billing dan pembayaran yang langsung terhubung dengan Ditjen Anggaran Kementerian Keuangan RI. Pembayaran proses biaya izin tersebut langsung masuk kepada Kementerian Keuangan dengan besaran tarif yang berlaku sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 56 tahun 2014^[3], sehingga lebih transparan dan efektif. Fitur ini berguna bagi pemohon izin untuk menentukan biaya proyek untuk proses perizinan sedangkan untuk Bapeten proses ini dapat meringankan beban dalam proses rekaman pembayaran dan sudah dapat terdokumentasi dengan baik

2. Manajemen waktu

Ketentuan waktu proses baik evaluasi untuk para evaluator dan waktu pemenuhan persyaratan untuk pemohon izin juga dimasukkan dan disesuaikan dengan peraturan yang berlaku yaitu sesuai dengan Peraturan Pemerintah nomor 2 tahun 2014^[2]. Dalam penerapannya pada tampilan B@lis Online PIBN dari sisi pemohon izin (frontend) diberikan notifikasi pada permohonan izin yang tidak memenuhi syarat untuk segera melakukan pemenuhan persyaratan, sedangkan dari sisi evaluator (backend) diberikan notifikasi pada data permohonan izin untuk segera dilakukan evaluasi sebelum habis masa evaluasi. Sehingga dapat memberikan acuan waktu proses untuk evaluator dan pemohon izin sehingga proses akan menjadi tepat waktu. B@lis online PIBN menampilkan progres dari proses permohonan izin yang dapat digunakan oleh pemohon izin untuk melakukan pemantauan proses dan dokumen. Rekam data histori juga dapat ditampilkan untuk sebagai feedback evaluasi selanjutnya dan keperluan rekapitulasi data izin.

3. Manajemen sumber daya

B@lis online PIBN dari sisi Bapeten (backend) memungkinkan adanya penentuan siapa yang menjadi Person in Charge (PIC) atau Manajer Proyek dalam melakukan evaluasi permohonan. PIC ini ditentukan dan ditunjuk oleh Supervisor/otorisator dalam hal ini adalah Koordinator PRBN. PIC akan melakukan pembentukan

tim evaluator yang dapat tersusun dari dalam Bapeten ataupun di luar instansi Bapeten seperti dari Universitas, Instansi, dan Technical Support Organization (TSO) lainnya. Masing-masing evaluator akan diberikan username dan password untuk Login ke dalam B@lis online PIBN dari sisi backend untuk melakukan evaluasi dokumen-dokumen permohonan yang sudah dibagi dan didistribusikan oleh PIC di sistem Balis online PIBN. Semua hal tersebut dilakukan dan terintegrasi dalam sistem Balis online PIBN. Fitur ini dapat mempercepat proses evaluasi dan juga efektifitas karena evaluator dapat melakukan evaluasi dimana dan kapan pun dengan syarat terhubung dengan internet.

Selain itu dokumen-dokumen akan terdokumentasi dengan baik dan juga PIC dapat melakukan pemantauan kepada hasil-hasil evaluasi yang dilakukan oleh para evaluator. Meskipun apabila diperlukan maka akan dilakukan koordinasi pembahasan secara bersama evaluator secara offline untuk menghasilkan Laporan Hasil Evaluasi yang juga akan dikirimkan secara online di Balis Online PIBN kepada pemohon izin.

4. Manajemen Sistem Informasi

B@lis online PIBN dapat menampung data berupa dokumen yang telah diupload oleh pemohon izin dan juga data lain seperti data bahan nuklir, data spesifikasi, data instalasi, data lokasi, data peralatan, data personil atau pekerja radiasi dan pekerja non radiasi. Penyimpanan terintegrasi sedemikian rupa sehingga membentuk database sebagai hasil perancangan struktur data informasi aktual untuk proses selanjutnya disebut Relational Database Management System (RDBMS). Server B@lis Online dimiliki dan dimiliki oleh BAPETEN untuk meningkatkan keamanan data dan memudahkan dalam melakukan backup data dan pengolahan data untuk sistem database B@lis online PIBN.

Untuk bidang manajemen proyek lainnya seperti manajemen risiko, manajemen mutu belum dikembangkan jika memungkinkan dan dibutuhkan akan dapat dikembangkan karena proses desain B@lis online menggunakan open source sehingga data dan pengkodean dapat dimodifikasi dan dikembangkan oleh Bapeten sendiri seperti di B@lis online FRZR. Begitu juga dengan manajemen lingkungan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), jika diperlukan pengembangan akan dilakukan ke dalam sistem B@lis online PIBN. Namun juga mempertimbangkan adanya online single submission (OSS) dimana daerah-daerah tersebut berada dan dievaluasi oleh instansi dan kementerian terkait lainnya.

KESIMPULAN

Review ini menghasilkan beberapa kesimpulan berupa:

1. Sistem aplikasi manajemen proyek dapat membantu perencanaan proses perizinan, meminimalisir terjadinya ketidaksesuaian rencana dan realisasi proses perizinan, mengoptimalkan proses perhitungan biaya, dan mempermudah proses pengajuan dokumen laporan dengan mengurangi jumlah dokumen fisik yang dibutuhkan oleh stakeholder dengan tidak mengulang dokumen karena semuanya sudah tercatat dalam sistem, dan yang terakhir meminimalkan kehilangan dokumen. Namun pengembang sistem juga tidak lupa menerapkan sistem keamanan yang baik karena dokumen yang diproses dalam izin Instalasi Nuklir bersifat rahasia dan sangat terbatas.
2. Dapat dikembangkannya Sistem Manajemen Proyek Perizinan Instalasi Nuklir berbasis komputer dan data, dengan menggunakan B@lis Perizinan Instalasi Nuklir dan Bahan Nuklir Sistem perizinan yang sedang dikembangkan oleh BAPETEN, sehingga selain menciptakan hasil evaluasi perizinan yang baik, transparan, akuntabel, menghasilkan evaluasi yang tepat waktu dan mengatasi keterbatasan sumber daya manusia yang ada.

REFERENSI

- [1] Lembaran Negara 1997, Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Sekretariat Negara, Jakarta, 1997
- [2] Lembaran Negara 2014, Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. Sekretariat Negara, Jakarta, 2014.
- [3] Lembaran Negara 2014, Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2014 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Sekretariat Negara, Jakarta, 2014
- [4] Lembaran Negara 2010, Peraturan Presiden Republik Indonesia. Nomor 81 Tahun 2010. Tentang. Grand Design Reformasi Birokrasi 2010 – 2025, Sekretariat Negara, Jakarta, 2010
- [5] IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.7, Project Management in Nuclear Power Plant Construction: Guidelines and Experience, IAEA, Vienna, Austria, 2012.
- [6] Husen A (2011), Manajemen Proyek : Perencanaan, Penjadwalan dan Pengendalian Proyek, Penerbit Andi, Yogyakarta
- [7] Birmano M.D. “Perizinan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) di Indonesia”, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Riset Ilmiah Bidang Iptek Nuklir, Yogyakarta, 9-10 Juni 2015, ISSN : 0216 - 3128.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



STUDY ON FORMAT AND CONTENT NUCLEAR REACTOR OPERATING EXPERIENCES PROGRAM

Liliana Yetta Pandi^{1,a)}, Bintoro Aji^{1,b)}, Diah Hidayanti Sukarno^{1,c)}

¹Center for Safety Assessment of Nuclear Reactors and Materials, Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN)

^{a)}p.liliana@bapeten.go.id

^{b)}b.aji@bapeten.go.id

^{c)}d.hidayanti@bapeten.go.id

Abstract. A study of laws and regulations in Indonesia related to the analysis of research reactor operation experiences which shall be submitted by the licensee has been carried out, namely Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 54 Year 2012 on Safety and Security of Nuclear Installations, Government Regulation Number 2 Year 2014 on Licensing of Nuclear Installations and Utilization of Nuclear Materials, and the Nuclear Energy Regulatory Agency or BAPETEN Chairman Regulation Number 2 Year 2015 on Safety Verification and Assessment of Research Reactor. Generally, the operational experience analysis carried out by the licensee is incomplete and not based on the IAEA safety standards regarding operating experience analysis as feedback to improve the reactor safety which shall be carried out by the licensee. Therefore, guidance regarding the format and content of the operating experience program is needed. The result of this study provides a guideline on the format and content of the operating experience program to facilitate the licensee in developing an operating experience program. In accordance to the licensee must provide feedback from the operating experience analysis to improve reactor safety, it is necessary to establish an operating experience program to get the lesson learned feedback. The guideline is expected to be followed up by formalizing it in the BAPETEN regulations.

Keywords: program, operating experience, feedback, nuclear reactor, analysis

INTRODUCTION

The Government Regulation of the Republic of Indonesia (hereinafter referred to as GR) Number 54 Year 2012 on Safety and Security of Nuclear Installations, article 39 letter e [1], states that safety assessment must be carried out periodically which includes an assessment of safety performance and operating experience feedback. In the Elucidation of GR Number 2 Year 2014 on Licensing of Nuclear Installations and Utilization of Nuclear Materials, article 48 paragraph (4) letter b [2], it is stated that the periodic safety assessment report includes safety performance and operating experience feedback. The Nuclear Energy Regulatory Agency/BAPETEN Chairman Regulation (hereinafter referred to as BCR) Number 2 Year 2015 on Safety Verification and Assessment of Research Reactor, article 6 paragraph (1) letter e [3], also states that safety assessment includes an assessment of operating experience feedback. However, the attachment of the BCR Number 2 Year 2015 does not provide detailed information on the format and content of the operating experience program. It only describes that the assessment of operating experience feedback should include operational experiences identification and important to nuclear safety information from other nuclear installation's operating experiences, as well as research results. Operating organization in compiling reports of operating experience require guidelines. This study provides a guideline regarding the format and content of a nuclear reactor operating experience program.

This paper discusses the format and content of the operating experience program based on the IAEA safety standard [4] which states that before and during nuclear reactor operations, the operating organization is responsible for proving to the regulatory body, among others, the issue of operational experience related to the nuclear reactor operating experience program.. This study used IAEA standards and technical documents, and STUK-Finland regulation [5], because they have comprehensive contents.

SUBJECT

The operational safety of research reactors in Indonesia is increasingly important for two reasons i.e.: 1) all research reactors in Indonesia have been operating for a long time and the life of operating research reactors is increasing; and 2) safe operation is a fundamental component in increasing the research reactor safety confidence.

Practical operating experience is a valuable source of information for improving and optimizing reactor safety and reliability. The establishment of a research reactor operating experience program by the licensee should be following the requirements of the IAEA standard which states that the operating organization must establish an operating experience program for lesson learning from events that occur at the reactor. [6]

Therefore, it is important to gather information about abnormal events that occur during reactor operation, all deviations from normal performance, and personnel that can be precursors of accidents. To this objective, it is necessary to establish an operating experience program that is as effective as possible to give feedback on the reactor operational safety in Indonesia. This paper aims to develop the format and content of an effective operating experience program which includes the following: [7] 1. Collecting information on all events related to operational safety, such as deviations, incidents, and accidents; 2. Screening the events data to select the event which can give the lessons learned; 3. Analyzing the selected event to identify direct and root causes and areas for improvement/correction; 4. Implementation of corrective actions as necessary to prevent the recurrence of similar incidents; 5. Dissemination of lessons learned with a clear explanation of the analyses made, to all national and international interested parties (other utilities, regulatory agencies, suppliers and international organizations); and 6. Processing all operating experience feedback data from research reactors in other countries.

Indonesia has signed the International Convention on Nuclear Safety (CNS) [8] which states that each Party is committed to taking appropriate steps to ensure that significant incidents for safety are reported in a timely manner by the relevant licensee to regulatory bodies and that feedback program to gather and analyze operating experience is established, results obtained and conclusions drawn are acted upon, and that existing mechanisms are used to share important experiences with international agencies and with other operating organizations and regulatory bodies.

The regulatory body establishes requirements for the licensee to report incidents, accident precursors, near misses, accidents, and illegal acts, both to guide regulatory action and also to ensure that lessons can be learned, shared and acted upon. It is also important to provide feedback on the actions that have been taken by operators and regulatory agencies in response to reported incidents. Reporting lessons learned is perhaps the most useful aspect of an effective operating experience program because the broad implementation of such lesson learning can improve safety by preventing recurrences. [9]

To comply with the provisions of the CNS mentioned above, BAPETEN has stipulated three regulations, namely GR Number 54 of 2012 on Safety and Security of Nuclear Installations (article 39 letter e), BCR Number 2 of 2015 on Safety Verification and Assessment of Research Reactor (article 6 paragraph (1) letter e), and Elucidation of GR Number 2 Year 2014 on Licensing of Nuclear Installations and Utilization of Nuclear Materials (article 48 paragraph (4) letter b), as explained in the introduction chapter of this paper. However, those three regulations do not describe in detail the identification and operating experience information. Therefore, it is necessary to conduct a study on the format and content of the operating experience program. Since the operating organization/licensee has a responsibility to ensure that the operating experience is used effectively within the organization to improve safety, the organization must have an effective operating experience program to identify, analyze, and report the events which give the lessons learned feedback. An operating experience program that provides the lesson learned feedback effectively contains several main elements as follows: [10,11,12] 1. The operating organization's policy; 2. Management system; 3. Events identification and reporting; 4. Events screening; 5. Incident investigations; 6. Incident causes analysis; 7. Recommended actions resulting from the assessment, including approval, implementation, traceability and evaluation; 8. Trends evaluation; 9. Corrective action; 10. Dissemination and exchange of information including the use of international systems such as the IRSRR (Incident Reporting System for Research Reactor); 11. Review and improvement of programs for operating experience feedback; and 12. Documentation.

The method used in this study is a literature study of several references related to the nuclear reactor operating experiences feedback and regulations.

All items in the operating experience program are described in the discussion of this paper.

DISCUSSION

This study proposes the format and content of a nuclear reactor operating experience program. The preparation of an operating experience program is based on Article 39 letter e of the GR Number 54 of 2012 on Safety and Security of Nuclear Installations and Article 6 Paragraph (1) letter e of the BCR Number 2 of 2015 on Safety Verification and Assessment of Research Reactor and its attachment which state that the safety assessment must be carried out periodically which includes an assessment of safety performance and operating experience feedback. The format and content of the operating experience program are as follow:

1. The operating organization's policy

A policy for operating experience feedback is established by the management to align the organization so that the operating experience program can be implemented effectively. This policy includes the determination of tolerance/level and the determination of the expected criteria and priorities. [10]

2. Management system [11]

In the management system, the management must plan and establish an operating experience program at the start of the plant's life so that relevant operating experience can be collected, analyzed and disseminated during the installation life, including decommissioning. The operating experience analysis should be complemented by a process for synthesizing all relevant operating experience data to identify general lessons and actions for management system improvement.

The management system shall include procedures for providing feedback on the plant operating experience, as part of an operating experience program implemented to prevent recurrences and to improve safety. Incident reports shall be developed following licensing requirements and operational limitations and facility conditions. The event reporting system includes reporting criteria, report format, reporting schedule and the individual/organization to which the report is submitted. For the reporting of research reactor events, the IAEA has published the IRSRRGuide which is a useful publication in developing an incident reporting system.

In GSR Part 2 para. 5.2 (d) [12] states that the operating organization shall be responsible for instilling an attitude among plant personnel that encourages reporting of all incidents, including low-level and near misses, potential problems related to equipment failure, deficiencies in human performance, inadequate procedural or inconsistencies in safety-relevant documentation. The management shall develop a fair culture where deficiencies in human performance are used as learning opportunities. The management shall be proactive in identifying the drivers of risk at the organizational and management level and in highlighting the continuing need to improve safety.

The management shall ensure that the operating experience program has a sufficiently dedicated staff with the appropriate training, qualifications, and experience. The management should ensure that: [10] operation experience programs are adequately supported, including the necessary infrastructure and information technology tools to allow all staff easily access the relevant operating experience information; all personnel are informed of the objectives of the operating experience program and their role in implementing it. Expectations for the identification and reporting of incidents, performance weaknesses and negative trends must be communicated effectively to ensure that these expectations are met by everyone at the plant, including contractors. Expectations should be communicated through formal means, such as briefings and group meetings, written instructions, and training; through informal means, such as newsletters and information systems; and by example, such as through supervision and coaching. The management shall monitor and review the effectiveness of the operating experience program regularly, at a frequency appropriate to the type of installation and with the number and significance of operating experience problems that arise.

3. Events identification and reporting

The main activity of the operating experience program is the identification of events or good practices. The purpose of incident identification is for the information provided from the operating experience program to be further evaluated, corrective action to reduce the potential for recurrence occurrences is taken, and good practice is implemented as operational feedback.

The operating organization should identify and incorporate into its research reactor operations experience program all issues for feedback such as: (a) events, including low-level events and near misses; (b) potential problems related to equipment and human performance; (c) issues related to safety; (d) situations which may give rise to error and need to be addressed to prevent unwanted effects; (e) procedural deficiencies/inadequacies; and (f) inconsistencies in documentation. Opportunities for improvement and safety-relevant good practices should also be identified and incorporated into the program. [11]

The licensee must select for further processing and classify events that are significant to plant safety and involve the field of operation and define selection and classification criteria for incident identification purposes, and each event needs to be investigated after the event is classified.

The event classification criteria shall cover at least the following: the actual or potential nuclear or radiation safety significance of the event; the repetition of the event or the potential repetition; frequency of defects, problems or phenomena detected; the substantial benefits in terms of the lessons learned and the dissemination of experimental knowledge generated by the investigation of the incident. [12]

Sources of operating experience should include: (a) documentation relating to the design, construction, commissioning, operation and decommissioning of the installation, fabrication, installation and dismantling of equipment, and the procurement and testing of goods and services; (b) operational, maintenance and audit records; and (c) results from inspections and regulatory reviews, training sessions, tracking, trends, surveillance, comparisons, peer reviews, self-assessments, and safety and risk analysis. Problems involving inappropriate, counterfeit, fraudulent or suspicious equipment or components that have the potential to create a substantial safety hazard should also be identified and reported in the operating experience program. [11]

The identification and reporting of low-level events and near misses should be included in an operating experience program, as they can provide valuable lessons to help avoid more significant events. Every personnel

in the operating organization must be able to report any problems they encounter. The operating experience reporting system should be easily accessible to all personnel in the operating organization; systems should be user-friendly and computerized whenever possible. Contractor personnel should have access to the operating experience reporting system were relevant to them. Even if accountability is encouraged by noting who reported an incident, anonymous reporting can also be done. Individuals who report concerns should receive feedback, recognition, and recognition from management to encourage future reporting. Examples of good reporting should be communicated widely within the plant to encourage future reporting and a questioning attitude.

The preparation of incident reporting includes: [9] a. Basic information; b. Narrative description; c. Safety assessment (consequences and implications); d. Causes and corrective action (taken and/or planned); e. Lessons learned; and f. Graphic information (drawings, sketches, photographs, process and instrumentation diagrams, etc.) if necessary, to better understand the incident.

Reporting requirements should include: [10]

- a. Preliminary reports provide information relating to events that challenge (or potentially challenge) safety, or other incidents as determined by the regulatory body. Acceptable methods of communication and the time frame for the initial report should be determined by the regulatory body.
- b. The master report provides detailed information about the incident after sufficient time has elapsed to allow completion of the investigation (and sufficient time for the regulatory body to be notified of any changes made since the issuance of the initial report).
- c. Follow-up reporting to complete the main report if new facts are revealed or new insights are obtained.
- d. Periodic reporting of operating experience information provided regularly or, as determined by the regulatory body, at agreed time scales regularly (e.g. results of low-level event trend analysis or other trend data, periodic safety assessment reports).

4. Events Screening

In a nuclear reactor, there are two sources of information available, namely internal operational experience and external operational experience. Internal operational experience is the experience from events that occur in the reactor itself. External operational experience is the experience from outside of the reactor, either from within the same country or from another country, from nuclear reactors using similar technology or from those utilizing

different technologies.[5] Internal event screening should be undertaken promptly to establish priority in-process for feedback of experience from events and in follow-up action.

To apply a graded approach to operating experience, the identified problems must be screened in a timely manner to evaluate their significance based on actual or potential consequences for safety. Written guidelines with defined criteria for significance should be used for the screening process. The screening process should determine the type of investigation or level of analysis for all reported issues, and any necessary compensatory or mitigation measures should be initiated according to the significance of the problem.

The management shall assign a multidisciplinary team that is experienced, knowledgeable and suitable for the screening task. This multidisciplinary team should meet regularly to review any events that occur at the reactor and to discuss whether the cause has been clearly identified whether corrective action has been taken or planned and whether the corrective action is commensurate with the cause of the incident. The events that were screened for and initially found to be unsafe should be considered for trend analysis. Screening results may be reviewed in subsequent periodic plant self-assessments or peer reviews. The history of the screening process should be made available to the regulatory body. [5]

The screening process should include: [11] consideration of the possible implications of a problem for other areas of the plant or the operating organization from which the problem was reported; identify and prioritize immediate action that may be required, according to the safety significance and potential recurrence of a particular problem or according to the significance of developing adverse trends; and criteria for actual or potential consequences of reported problems for nuclear safety, radiation protection, environmental protection and safety not related to radiation.

Event repetition information is carried out to ensure that all important safety-relevant matters are considered and all applicable lessons are taken into account. A screening process should be used to select events for detailed investigation and analysis. This includes priority according to safety significance and identification of loss trends.

[14] Using an external operating experience can help spot potential latent failures that could raise safety concerns. The information must first be reviewed to determine whether it is applicable to the installation. This review shall include consideration of such aspects as: General implications that apply to the plant; Is there any similar equipment in the reactor; Are there similar practices in the reactor that affect similar incidents; The possibility of a similar incident occurring before; Measures reported that can be applied to the reactor. [5]

External operating experience (from other nuclear plants and interested parties, such as vendors, suppliers, designers, and research institutions) should also be identified and screened for applicability to the plant and safety significance. Screening for application should include consideration of aspects such as the following: (a) Whether immediate action is required in response to significant external operating experience; (b) Are there any general implications that may apply to the installation; (c) Whether similar equipment is

present at the installation; (d) The possibility of a similar incident occurring at the installation; (e) Whether the reported corrective action applies to the installation; (f) Are there similar environmental conditions; (g) Whether management expectations, personnel behavior, similar practices or processes (i.e. organizational factors) have been observed in the organization. [5,11,13] for external events should follow the criteria governing internal event reporting to determine whether a detailed investigation is required. Inputs deemed applicable should be distributed to relevant sections/fields (e.g. radiological protection, operations, maintenance) for analysis, assessment and application consideration or information. The results of the external event screening at the reactor level should be recorded for evaluation in the next periodic self-assessment or peer review. The history of the screening process for external events should be made available to regulatory agencies if necessary. [5] If the external operating experience is determined to be significant but not applicable to the installation, the basis for this decision shall be documented. The results of screening all operating experiences (internal and external) should be recorded and can be used for evaluation in subsequent self-assessments, periodic safety assessments or peer reviews. [5]

5. Incident investigation

In connection with paragraph 7.127 of SSR-3 [6] which states that events with safety implications should be investigated according to the actual or potential significance of the event for safety. Events with significant safety implications should be investigated to identify their immediate and root causes, including causes related to equipment design, operation and maintenance, or human and organizational factors. The results of the analysis should be included, where appropriate, in the relevant training program and should be used in reviewing procedures and instructions. Installation incident reports and accident reports not related to radiation should identify tasks where inadequate training can lead to equipment damage, excessive equipment unavailability, the need for unscheduled maintenance work, the need for rework, unsafe practices or lack of compliance. for the approved procedure. [6]

Accordingly, the operating organization or the licensee must establish and implement procedures with criteria that define the type of investigation appropriate for each category of incident. The type of investigation must be commensurate with the actual or potential consequences of an event and the likelihood of its recurrence. Incidents should be investigated using appropriate analytical techniques. The procedure usually describes how the investigation should be carried out, including defining the scope and mandate of the investigation, the methodology to be carried out, the time frame, specific techniques and tools to be used, the composition of the investigation team and the format of the final report. [5,13]

The level of investigation and analysis applied should be commensurate with the significance of the event, for example: (a) In the case of events with the potential to provide key lessons (e.g. events with severe actual or potential consequences, or significant consequences and high likelihood of recurrence), root cause analysis formal, according to the type of event, must be done. Root cause analysis should be carried out by a team with appropriate skills and knowledge relevant to the nature of the event. (b) For events that provide less and/or less importance (for example, events with moderate actual or potential consequences), clear causes should be identified and corrected. (c) Adverse trends, including those consisting of minor problems, should be reviewed for security purposes and, where appropriate, investigated using appropriate techniques to identify common causes and implications. [4,11]

At least one individual in each team conducting a root cause analysis should have received formal training (and regular retraining) in root cause analysis and have recent experience conducting root cause analysis in investigations. The investigation should: [11]

- a. conducted without undue managerial or organizational influence over the results. Events with significant safety implications should be investigated by a team with sufficient independence from line management to identify and deal with organizational problems objectively. The purpose of investigating an incident is the prevention of future events. This activity should focus on fact-finding and should not be used to blame or take responsibility.
- b. initiated as soon as possible, consistent with maintaining the safety of the installation, to ensure that important information is not lost, invalid, or deleted.

6. Incident causes analysis

Incidence analysis should be carried out on a time scale consistent with the safety significance of the event. The main phases of incident analysis can be summarized as follows: the formation of a complete event sequence (what happened); determination of the deviation (how it happened); cause analysis; direct cause (why it happened); root cause (why it might be); assessment of safety significance (what could happen); and identification of corrective action. [5]

In the case of an event requiring a root cause analysis, the analysis should document the following: (a) The complete sequence of events (what happened, including how the event developed); (b) A cause analysis that identifies technical, human, and organizational factors and other factors that contributed to the event (why it happened); (c) An assessment of the significance of safety (what could happen); (d) Evaluation of immediate action or compensation taken; (e) Corrective action is identified to prevent its recurrence; (f) Strategies for determining the effectiveness of corrective action; (g) Evaluation of the extent to which similar conditions are present in structures, systems and other components or processes at the plant, or in human performance in the organization ('state level');

(h) Evaluation of the extent to which a similar specific root or underlying cause may affect the safety of other structures, systems and components or processes in the plant, or in human performance in the organization ('cause level'); and (i) Evaluation of the potential for common cause failure or common mode failure. [5,11]

Problems identified in the investigation but not relevant to the cause of the incident should be documented and reported through the established reporting system. In cases where a root cause analysis has been carried out, the multidisciplinary management team should review completed investigations to provide additional assurance that all major causes and contributors to the organization have been identified and that corrective action has been developed to address the causes and to prevent their recurrence.

7. Recommended actions resulting from the assessment, including approval, implementation, traceability, and evaluation

Actions taken in response to events form the basis of the operations experience feedback process to improve safety at nuclear installations. Such actions are generally aimed at improving the situation, preventing its recurrence or enhancing safety. The development of recommended corrective action after an incident investigation should be directed at the root causes and contributing causes and should be aimed at strengthening weakened or penetrated barriers that fail to prevent the incident.

A tracking process should be put in place to ensure that all approved corrective actions are completed in a timely manner and that actions with long waits to completion remain valid at the time of implementation based on future experience or more recent developments. [11]

A detailed category of corrective action identified as a result of a detailed analysis of an unusual occurrence added to this recommended action is likely to result in changes to: (1) Operating, testing, calibration, maintenance, monitoring or inspection procedures. (2) Operating margin. (3) Quality assurance program. (4) The design or location of the components. (5) System configuration or location. (6) System or component reliability. (7) Safety analysis methods or assumptions. (8) Safety design standards. (9) The regulatory process. (10) Design method. (11) Construction method. (12) Commissioning method. (13) Radiological protection. (14) Emergency planning in place. (15) Training program and implementation. [14]

The level of action recommended may differ depending on safety potential and national practice. In some countries, there are categorization systems for plant modifications for different levels of safety significance that require different levels of documentation, approval, and quality assurance procedures. The higher the level of safety significance, the higher the level of approval to seek. This approval level is at: (a) installation level - unlikely to impact safety; (b) licensee/utility level - unlikely to have a significant effect on safety; (c) regulatory body - likely to have a significant influence on safety. [14]

Documents to be prepared consist of: a detailed description of the proposed corrective action (including drawings, schemes, etc.); a safety analysis that proves that corrective action increases safety and does not have an adverse effect; a quality assurance program that ensures the authenticity of the materials used; a design standard plan for implementing corrective actions; procedures for carrying out the safe work method. At each approval level, whether at the installation level, the permit/utility level or the regulatory body level, special conditions can be placed on how the process can be carried out.

It is the responsibility of each plant to carry out corrective actions. A quality assurance audit process may need to be put in place to ensure that corrective actions are implemented according to agreed conditions. The quality assurance audit process should be implemented by the utility to ensure that corrective action is implemented as approved and supervised, if necessary, by the regulatory body. Any action deemed necessary by an approval body needs to be taken and, if necessary, documented. Subsequent evaluations should sometimes be carried out to check the effectiveness of the actions taken. In this way, the immediate feedback loop is closed with the application of special corrective action. At longer time scales, the regulatory body may wish to monitor the situation regarding the implementation of recommended actions. This can be done by requiring the installation/utility to provide periodic progress reports relating to the status of the recommended action that has not been completed. [14]

8. Trends evaluation

The licensee must conduct trend analysis and prepare a series of summaries to identify weaknesses and trend movements in the facility using data that is significant in terms of operating experience feedback, such as maintenance and non-conformities and other data. [13]

The operating organization should establish a trending and review process to allow recognition of developing or emerging problems so that proactive action can be taken before serious conditions arise. Trends and reviews should take place at the plant level and the operating organization level. [5]

Operating experience data should be collected and stored in a database to enable timely identification and review of adverse trends and recurring themes. As a minimum, the attributes of each event or problem should be coded based on the structure, systems, and components affected; identified causes; and actual or potential consequences for safety. A coding system shall be implemented which allows events to be characterized. The selected parameter or parameter group can then be directed to identify a recurring theme (e.g., plant system, workgroup or cause of activity). Examination of these parameters can allow the identification of adverse trends and potential recurrences. Such coding should be defined by a designated individual with the appropriate skills and knowledge to ensure consistency in coding.

The types of trends (including those in low-level and near misses) that should be identified and reviewed include the following: (a) Recurrent problems that occurred in some of the relevant reported events; (b) Events or problems arising primarily in certain modes of operation or during certain activities; (c) Repeated failure or deterioration of the performance of certain systems or components; (d) Trends in the causes of the event or problem identified; (e) Adverse trends in human and organizational performance; (f) Trends that involve small, gradual changes over a long period; (g) Trends are identified by comparing current performance with previous similar operating conditions (eg comparing two outages); (h) Positive trend. [5,11,13]

9. Corrective action

To prevent such occurrences from recurring and to increase the level of safety, if necessary, licensees must take corrective and preventive action in response to the findings of the investigation. Such measures may include technical modifications to the plant, its structure, components and systems; changes to operations and operating instructions, supervision or inspection activities; and changes in the organization and training provided to personnel. [13]

The manager concerned about who is responsible for implementing corrective actions should be included in their development and should be responsible for their effective implementation. Senior management must review and approve: (a) the main corrective actions (including actions taken to prevent the recurrence of internal events with significant safety implications or the occurrence of major external events. Therefore, they are different from other corrective actions taken to respond to less significant events, although final corrective action is still required for safety) resulting from internal events with significant implications for safety and (b) external operating experiences that provide important lessons. [11]

The main unfinished corrective action should be periodically assessed to check if the risk of the installation is still acceptable. Extension of deadlines, modification or cancellation of major corrective actions must be minimized and must be carried out only with the approval of the plant's senior management. The effectiveness of the major corrective actions should be reviewed upon completion. If the recommended corrective action will take a long time to implement, the need for temporary corrective action or compensation should be analyzed so that the necessary action is taken to minimize the risk of its recurrence. Traceable links must exist between root causes that are not covered and deficiencies detected on the one hand and corrective and preventive action on the other. Corrective action must be tracked to completion and closed.

The licensee shall monitor the progress made in implementing the decisions made regarding corrective and preventive action. Any changes in implementation must be processed in the same way as decisions about corrective and preventive action are originally made. [13]

10. Dissemination and exchange of information including the use of international systems such as the IRSRR

Paragraph 7.126 of SSR-3 states that operating organizations should encourage the exchange of experiences in national and international systems for feedback on operating experience. Paragraph 7.129 of SSR-3 states that the operating organization shall maintain liaison, as appropriate, with the supporting organizations (e.g. plants, research and design organizations) involved in the design, construction, installation and commissioning, operation of the plant to provide feedback, information about operating experience and for advice, if necessary, in the event of an equipment failure or other event. [6]

Relevant operating experience should be shared with other organizations in a timely manner at the appropriate level (for example at the level of designers, constructors, installations or operating organizations, or national and international organizations). Recipients of certain types of information can include organizations with planned or ongoing nuclear power programs; technical support organizations in the nuclear field; vendor companies, including designers, engineering contractors, and manufacturers; governing bodies; and a centralized international reporting system. [11]

The lessons learned from internal and external operating experience should be applied to relevant processes, such as training, revision of procedures, work management, and plant design and modification. Personnel should use lessons learned from operating experience in their activities to improve safety and prevent incidents. This use should be actively encouraged and strengthened by management.

11. Review and improvement of programs for operating experience feedback

The licensees must annually evaluate the efficiency of the operating experience feedback process and any need for improvement. When doing so, the licensee must: evaluate the achievement of the objectives set for the operating experience feedback process, the adequacy of the allocated resources and the efficiency of the procedures implemented; identify trends or repeat developments critical to safety based on events that occur; determine whether preventive and corrective actions have been prioritized and completed correctly by the date specified, and how effective they are in preventing recurrence; identify the reasons why any action has not been completed correctly and by the date specified, and determine the additional actions required; prepare a list of events handled in connection with events at other nuclear facilities, including related precautions and their current status. [13]

The peer-review group shall review the operating experience feedback process at least once between periodic safety assessments. The effectiveness of the operating experience program should be assessed using methods such as

self-assessment, comparisons and independent peer review. Such assessments should be carried out regularly by a team of experienced personnel who are familiar with the operating experience program. [10]

Performance criteria and indicators to assess the effectiveness of the key elements of the operating experience program should be developed and implemented. The results of various assessments of the effectiveness of the operating experience program should be used to identify areas for improvement and address them with appropriate measures. Assessments should also be used to determine whether previous remedial measures have been effective in addressing specific performance gaps. [11]

12. Documentation

The operating organization shall establish and maintain systems for storage, retrieval and retrieval of operating experience data. The system must be searchable effectively using an appropriate coding system or keywords. Relevant operating experience information should be retained for use throughout the operating life of the plant, including as input for periodic safety reviews, deterministic and probabilistic safety assessments, design and implementation of plant modifications, and ageing management. [11,13]

The description of all the reactor operation experience processes above are summarized in Figure 1 below.

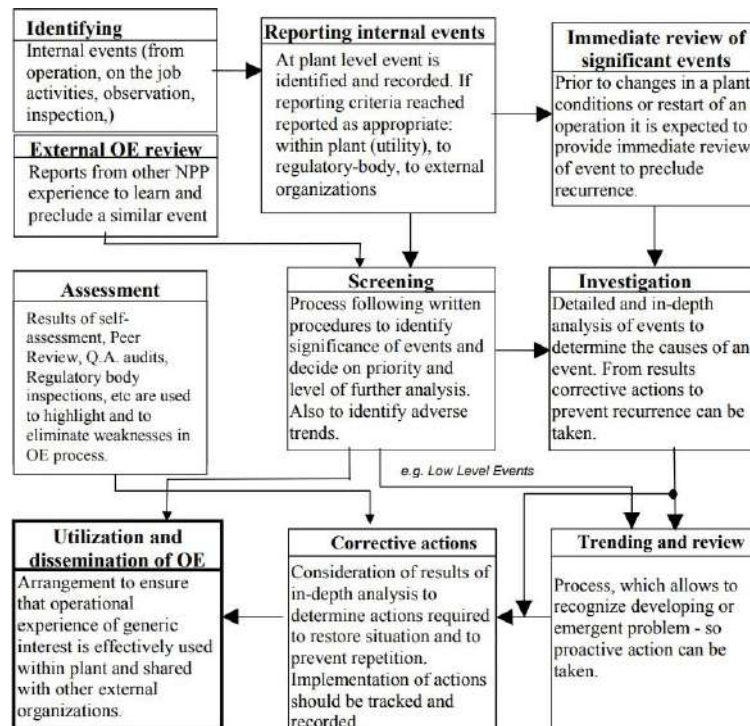


FIGURE 1. Flow diagram of the operating experience process for a licensee [15]

Figure 1 shows a flow diagram of a typical operating experience process. An effective system for operational experience feedback relating to safety should include the dissemination and exchange of information, including using the international system. [10]

Effective use of operating experience, both internal and external, requires analysis to identify underlying weaknesses in the organization of the plant, equipment (structures, systems, and components), human procedures and performance, and then identification of appropriate station-specific corrective actions that will minimize the likelihood. similar events that occurred at the installation. Once fundamental weaknesses have been identified, the operating experience must be disseminated in a timely manner both internally and externally and utilized to prevent the recurrence of the problem. This operating experience process includes internal and external experiences and can incorporate lessons learned, to improve the operational performance of the plant. [15]

CONCLUSION

From the above discussion, it can be concluded that:

1. In accordance with the regulations, the licensee must provide feedback from the results of the operating experience analysis to improve reactor safety.
2. The practical operating experience is a valuable source of information for improving (and optimizing) plant safety and reliability. So, it is important to gather information about abnormal events that occur during reactor operation and all deviations from normal performance. Then, it is necessary to establish an operating experience program to get the lesson learned feedback.
3. operating bodies in compiling reports of operating experience require guidelines, therefore from the

results of this study the format and content of the OPEX program can be used as guidelines that need to be formalized through BAPETEN regulations.

REFERENCES

- [1] Government of the Republic of Indonesia, Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 54 Year 2012 concerning Safety and Security of Nuclear Installations (2012).
- [2] Government of the Republic of Indonesia, Government Regulation Year the Republic of Indonesia Number 2 of 2014 concerning Licensing of Nuclear Installations (2014).
- [3] Nuclear Energy Supervisory Agency (BAPETEN), Regulation of the Chairman of the Nuclear Energy Supervisory Agency Number 2 Year 2015 concerning Safety Verification and Assessment of Research Reactor (2015).
- [4] International Atomic Energy Agency, Licensing Process for Nuclear Installations No. SSG-12 Specific Safety Guide (Vienna, 2010).
- [5] STUK, Operating Experience Feedback of a Nuclear Facility, Guide YVL A.10/15 (Finlandia, 2013).
- [6] International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Standards Series No. SSR-3: Safety of Research Reactors (Vienna, 2016).
- [7] International Atomic Energy Agency, The Importance for Nuclear Safety of Efficient Feedback of Operational Experience, INSAG/TN/2 (Vienna, 1987).
- [8] International Atomic Energy Agency, Convention on Nuclear Safety, INFCIRC/449 (Vienna, 1994).
- [9] International Atomic Energy Agency, Improving the International System for Operating Experience Feedback, INSAG-23 (Vienna, 2008).
- [10] International Atomic Energy Agency, Operating Experience from Events Reported to the IAEA Incident Reporting System for Research Reactors, Tecdoc-1762 (Vienna, 2015).
- [11] International Atomic Energy Agency, Operating Experience Feedback for Nuclear Installations, Specific Safety Guide No. SSG-50 (Vienna, 2018).
- [12] International Atomic Energy Agency, Leadership and Management for Safety, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2 (Vienna, 2016).
- [13] International Atomic Energy Agency, A System for the Feedback of Experience from Events in Nuclear Installations, Screening of Events, IAEA Safety Standards Series Safety Guide No. NS-G-2.11 (Vienna, 2006).
- [14] International Atomic Energy Agency, Operational safety experience feedback by means of unusual event reports, IAEA-TECDOC-891 (Vienna, 1996).
- [15] International Atomic Energy Agency, 2008, Best Practices in the Utilization and Dissemination of Operating Experience at Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1580



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



STANDARD REVIEW FOR THE FINANCIAL GUARANTEE IN THE NUCLEAR POWER PLANT CONSTRUCTION LICENSES

Imron Tarsono Rusmanatmojo^{1,a)}, Bintoro Aji^{1, b)}, Alfa Gunawan Zulqarnain^{1, c)}

¹*Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN),
Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat 101020, DKI Jakarta, Indonesia*

^{a)}Corresponding author: i.imron@bapeten.go.id
^{b)}b.aji@bapeten.go.id, ^{c)}a.gunawan@bapeten.go.id

Abstract. The Financial Guarantee requirement in the Nuclear Power Plant Construction Licenses had been reviewed. This Requirement was based on article 13 of the Government Regulation Year 2014 No. 2 on Licensing for the Nuclear Installation and Material. Three documents of financial guarantee must be submitted such as a time deposit in the government bank, the guarantee bank from the government and private bank, and the reserve fund account. Financial requirements are evidence of financial ability to guarantee the implementation of construction up to the implementation of operations and are included in the budget plan construction. Currently, there are several national private companies become Independent Power Producers (IPP) that are interested in participating in the construction and operation of nuclear power plants, especially in the small Modular Reactor in Indonesia. They attempt to finance nuclear power projects through the Public-Private Partnership (PPP) as a modified project financing model, which is based on a combination of investment from the government and investors. For scope of study including determining acceptance criteria of the value of the guarantee bank with 5% of the value of the construction contract, the value of the time deposit is 5% of the value of the construction contract, and the reserve fund account is approved from the proposed the amount reserve fund with a range minimum of 5% to 10 % of the value of the construction contract. The proposal reserve fund account includes, among others, an estimated reserve fund for the construction costs and the cost of the first nuclear fuel, the details of sources of construction funds.

Keywords: Standard review, Financial Guarantee, acceptance criteria

INTRODUCTION

This paper describes the standard review for Financial Guarantee in the Small Modular Reactor Construction Licenses. This requirement is stated in article 13 of the Government Regulation in the year 2014 No. 2 on Licensing for the Nuclear Installation and Material.^[1] Until now there is no detailed guidance regulates the acceptance criteria for Financial Guarantee. The standard review is a part of licensing services as mandated by Law no. 25 of 2009 concerning Public Services^[2] and the Regulation of the Minister of Empowerment of State Apparatus and Bureaucratic Reform Number 15 of 2014 concerning Guidelines for Public

Service Standards. The Licensing of Nuclear Power Plant (NPP), Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) has already integrated with the OSS system based on Government Regulation Number 5 in the year 2021 about Implementation of Risk-Based Business Licensing.^[3] The integration means that the license permit by the Ministry of Investment and BAPETEN has the authorization to give notification to the ministry of investment via the OSS system. The Online Single Submission (OSS) is an electronically integrated business licensing system that is managed and organized by the OSS Institution (Ministry of Investment/BKPM). The online Nuclear Installation Licensing system is a part of Online Single Submission system, and BAPETEN issued a notification permit in that system. The notification authority is based on the Indonesian Standard Classification of Business Fields (KBLI) with the number KBLI 43294 for the NPP construction License.

The requirement is based on BAPETEN chairmen Regulation No. 3 of 2021 concerning Business Activity Standards and Product Standards in the Implementation of Risk-Based Business Licensing in the Nuclear Sector. The requirement is still the same as within article 13 of the Government Regulation Year 2014 No. 2 on Licensing for the Nuclear Installation and Material. It is necessary to prepare Public Service Standards to ensure

certainty, uniformity, and effectiveness for service recipients and provide services that can meet and satisfy regulatory requirements. Financial requirements are evidence of financial ability to guarantee the implementation of Construction up to the implementation of operations and are included in the budget plan for construction.

The purpose of the financial requirement is to protect the sustainability of the project. In Many Nuclear Power Plant (NPP) Projects, the financial problems become a challenge, given the nature of nuclear power plant projects, as capital-intensive and technology-intensive projects and vulnerable to the occurrence of several uncertainty variables. Investment costs, fuel price fluctuations, and construction time so that there is a threat of a stop in construction implementation which will result in losses.

According to established regulations, the financial requirements must be applied in the financial industry under Financial Services Authority. If these requirements are not able to be applied, it will be difficult for the license applicant. For the construction of nuclear power plants for the first time, it will be much higher than those that already have experience in NPP Project. The costs range from \$1,200/kW to \$1,500/kW or represent a total construction cost of \$2 to \$4 billion per new nuclear unit. The amount of these costs, if converted to the value of Rupiah with an exchange rate of 1 USD = Rp. 15,000, will be worth Rp. 30 trillion to Rp 60 trillion.^[4] The guarantee value will be a very huge amount and the financial industry and financial services authority must be ready to protect the financial risk more than in conventional projects.

With the assumption that the financing of the first NPP project will not use the Indonesian State budget with national private companies (IPPs) that are interested in participating in the construction and operation of nuclear power plants, especially in the small modular reactor and attempt to finance nuclear power projects through the Public-Private Partnership (PPP). Uncontrolled activities related to financial risk can influence the finances of the country and provide rise to risks to the quality of NPP safety, and finally will affect the human health of both workers and the public. Financial Risk has an environmental impact, so all stakeholders must be aware that risk must be minimized and the BAPETEN and Financial Services Authority must be coordinated to get additional guidance in helping to Manage Financial Risk.

For The reason of this Financial Risk, in this study, it is necessary to establish the review standards for Financial Guarantee that can be established and can be applied in the national framework, especially in Financial Industry. An acceptance criterion of three requirements as time deposit in the government bank, a guarantee bank from the Government and Private Bank, and a reserve fund account. Therefore, in this study, it will propose an acceptance criterion for three requirements then it will be discussed with the financial services authority to make special guidance in the Financial First NPP Project.

METHODOLOGY

The method used in this review is conducted by a literature study using relevant references. The references are compared with the corresponding description in the regulations or standards. The references used in this review are documents issued by the International Atomic Energy Agency (IAEA) and others. By comparing the relevant references, it is expected to obtain a more comprehensive review to propose the acceptance criteria related to the Financial Guarantee requirement on the first NPP Project.

RESULTS AND DISCUSSION

The main focus of this study is to determine acceptance criterion in the review and assessment of financial requirement activities. The three requirements documents consist of a time deposit in the government bank, a guarantee bank from the government and private bank, and a reserve fund account. Article 13 Government Regulation the year 2014 No. 2 on Licensing for the Nuclear Installation and Material clearly states that the three documents must be submitted to BAPETEN. The following are the acceptance criteria for the three documents:

1. Time deposit.

Time deposits must be in the state's own Government Bank guaranteed by Financial Services Authority, Time deposits are deposits that can only be disbursed within a certain period and under certain conditions. Deposits should be automatically extended or automatic rollover (ARO) until the construction finish. Based on Government Regulation Year 2014 No. 2 on Licensing for the Nuclear Installation and Material, the license will be valid for 8 years. Deposits can be denominated in rupiah or another currency based on the NPP contract transaction.

Time deposit represents deposits that are disbursed based on a certain period. Generally, the deposits have maturities of 24 months and are automatically extended. Issued in the name of the owner of the deposit, in this guarantee bank should have an institution's name, not an individual name. Each depositor is given the interest in the amount and time of payment under the prevailing regulations in each bank. Deposit interest payments can be made every month or after maturity according to the period. Payment can be made in cash, or non-cash (book transfer). Each depositor with a certain nominal deposit is subject to income tax from the interest he receives. Disbursement of deposits before maturity is generally subject to fines.

Certificate of Deposit represents the deposits that must be issued with maturities of 12 months. Certificate of Deposit interest payments can be made in advance, monthly, or at maturity, either cash or non-cash. The deposit can be used as collateral/credit guarantee earning interest yields that are generally higher than other forms of savings, guaranteed by the Deposit Insurance Corporation (LPS).

The amount deposit in the proposed deposit is the same as the amount deposited in the bank guarantee. The net value is a minimum of 5% of the construction contract. This value is based on the construction project activity in Government Projects. Based on article 33 Presidential Regulation 12 the year 2021 regarding changes to Presidential Regulation Number 16 the year 2018 on The procurement of government goods and services, The value of performance bond in construction with a total contract higher than Rp.200 Million.^[6] The NPP project is also a Government Project because the project will be decided by Government. No provision that regulates the amount of the time deposit, but in the construction industry, the value is in the range of 5% to 10%, this information is based on the website Otoritas Jasa Keuangan (OJK) information.^[7] The function of this deposit is as a guarantee by saving a certain amount of money during construction so this function is almost the same as a bank guarantee.

2. Bank Guarantee

Bank guarantees are all guarantees received or given by a bank for certain parties, whether individuals or business entities which are stated by the bank that their obligations from the guaranteed party will be fulfilled to other parties as guarantee recipients if at a certain time it has been determined the guaranteed party cannot fulfill its obligations/payments. Performance Bond guarantees the obligee if the principal, who has signed the work execution contract, resigns or terminates the contract unilaterally or jointly from both parties, namely between the obligee and the principal. The value of the guarantee ranges from 5% to 10% of Project Value. There is no provision that regulates the amount of the time deposit, but in construction industry the value is in the range 5% to 10%, this information is based on the website Otoritas Jasa Keuangan (OJK) information.^[7] In this study, the minimum value proposed is 5%. This value is based on the construction project activity in Government Projects. Based on article 33 Presidential Regulation 12 the year 2021 regarding changes to Presidential Regulation Number 16 the year 2018 on The procurement of government goods and services.^[6]

In construction projects, bank guarantees are guarantees that are often required, either by the project owner (nowhere) to the contractor or by the contractor to subcontractors/vendors. Bank guarantee requirements can be requested at each phase of the project, both at the tender/bidding stage (tender guarantee bank/bid bond), the work implementation stage (performance bond bank guarantee), and the maintenance period (bank guarantee for the maintenance period). In addition to referring to the project phase, bank guarantees can also be associated with payment terms such as bank guarantees for advance payment (advance payment bonds) and bank guarantees to replace retained payments (retention bonds). Although bank guarantees are not a foreign thing in construction projects, not all parties understand the arrangements and functions of the bank guarantee itself so often in practice the bank guarantee cannot function optimally according to the purpose of its procurement.

A bank guarantee itself is essentially a guarantee in the form of a script issued by a bank which results in an obligation to pay the party receiving the guarantee if the guaranteed party defaults (Article 1 paragraph (3) letter (a) Decree of the Board of Directors of Bank Indonesia No. 23/88/KEP/DIR dated March 18, 1991) or in other words a guarantee from the Issuing Bank to the Beneficiary that the Bank Guarantee Provider (Applicant) will fulfill its obligations.^[8]

However, the provisions in the Civil Code only regulate general coverage and the legal consequences of insurance. Therefore, a technical regulation is needed to be a guideline for banks in issuing bank guarantees. To answer this need, a Circular Letter of the Board of Directors of Bank Indonesia was issued regarding garage banks, in which the last rule refers to Circular of the Board of Directors of Bank Indonesia No. 23/7/UKU dated March 18, 1991, concerning the Provision of Guarantees by Banks as implementing regulations of the Banking Law.^[8]

The issuing of a bank guarantee will involve three parties, namely the Bank Guarantee Provider as the surety institution that will issue the guarantee bank, the principal (applicant), and the Bank Guarantee Recipient (Beneficiary). To apply for the issuance of a bank guarantee, the principal applies to the Issuing Bank.^[7] Furthermore, the Issuing Bank, under the precautionary principle in banking regulations, will conduct an assessment of the bonafide and reputation of the applicant. As a counter bank guarantee, a bank guarantee can be covered by a guarantee deposit of 100% of the nominal value of the bank guarantee by the applicant to the Issuing Bank, using the issuance facility with a guarantee deposit of less than 100% after the Issuing Bank has analyzed the creditworthiness of the applicant, there is a counter-guarantee issued by another bank or by providing other forms of guarantees in the form of corporate guarantees, land, buildings, and machinery. Furthermore, for each issuance of a bank guarantee, the applicant will be charged according to the provisions of each bank. The Interaction between the principal, Surety, and Oblige is shown in figure 1.

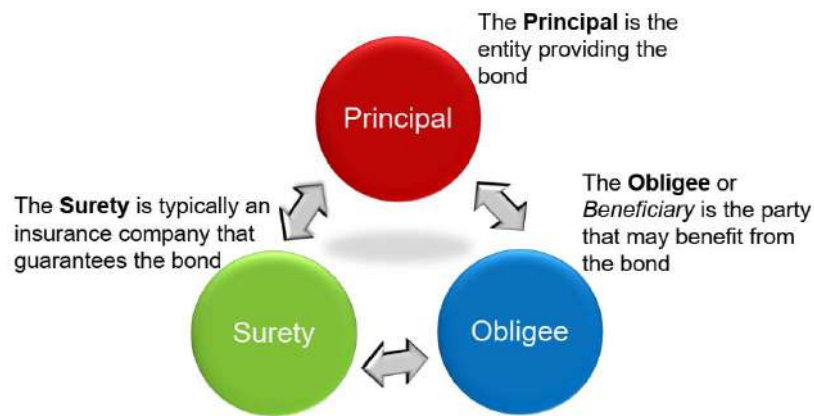


FIGURE 1. The Interaction between the principal, Surety and Oblige

If the applicant's application is approved, the Issuing Bank will issue a bank guarantee using the bank guarantee format provided by the bank or using the bank guarantee format determined by the Beneficiary. In general, To protect the interests of the beneficiary, the beneficiary often determines the format of the bank guarantee which will contain clauses that can protect the interests of the beneficiary. If it is determined that the bank guarantee is issued using the beneficiary format, there will be a correspondence between the Issuing Bank and the beneficiary, through the applicant, regarding the review from the Issuing Bank on that format. A review by the Issuing Bank on the Beneficiary's bank guarantee format appears to ensure that the provisions therein have complied with the minimum requirements stated in the Handbill Bank of Indonesia. This correspondence process often takes time so the applicant needs to take into account determining the time for submitting the bank guarantee to the Beneficiary.

Based on the Handbill of the Bank of Indonesia, a bank guarantee must at least contain the following provisions:

1. The title "Bank Guarantee" or "Bank Guarantee"
2. Name and address of the issuing bank;
3. Publication date;
4. Transactions between the guaranteed party and the guarantor;
5. The amount guaranteed by the issuing bank;
6. Effective start and end date;
7. As an access-or agreement, the bank guarantee ends because:

As an access-or agreement, the bank guarantee ends because:

1. Expiration of the main agreement; or
2. The expiry of the bank guarantee as stipulated in the bank guarantee itself; or
3. Confirmation of the deadline for submitting claims;
4. The time limit for submitting a claim that is allowed is at least 14 (fourteen) days and no later than 30 (thirty) days after the end of the bank guarantee.

Thus, because the handbill of Bank Indonesia only contains the minimum requirements listed in a bank guarantee, the parties involved in issuing bank guarantees can make other arrangements as long as they do not conflict with the minimum requirements. However, to provide legal certainty, there are 2 (two) provisions that may not be included in the bank guarantee as stipulated in the handbill of Bank Indonesia. The conditions that must first be met for the validity of the bank guarantee (conditional); Provisions that the bank guarantee can be changed/canceled unilaterally (revocable).^[8]

If the bank guarantee has been approved for issuance and the original bank guarantee has been submitted to the Beneficiary, then the next step is to ensure the use of the bank guarantee as intended for issuance. If the obligations of the Applicant have been completed and can be well accepted by the Beneficiary as stated in the principal agreement or if the principal agreement terminates not due to the fault or negligence of the Applicant, the bank guarantee will end and the bank guarantee will be returned by the beneficiary to the applicant. In addition, the bank guarantee may expire under the validity period of the bank guarantee stated in the bank guarantee.

However, If the implementation of the principal agreement by the applicant does not proceed as agreed due to the fault of the Applicant, the Beneficiary may submit a claim for disbursement of the bank guarantee to the Issuing Bank. To ensure that the claim can be made without problems, the Beneficiary must take preventive steps from the start. The first step that must be considered is to make sure that the main agreement contains things that are classified as default. Please remember that a bank guarantee is an access-or agreement and it does not include things that are a condition for default of the applicant.

The authenticity of the bank guarantee and the bonafide of the Issuing Bank prevent the bank guarantee received from being fake/false. The Beneficiary must ensure the validity of the bank guarantee period. In

construction contracts, a clause is often stated that in the event of an extension of the work period, the Applicant is obliged to submit an extension of the bank guarantee to the Beneficiary. For this reason, the Beneficiary should always monitor the period of the bank guarantee. It is hoped that with the steps mentioned above, both from the Applicant side and the Beneficiary side, the bank guarantee can fulfill its function as a guarantee.

In the construction project under Minister For Public Works and Human Settlements, the regulation of the detail bank guarantee provision state that the packages above IDR 2,500,000,000.00 (two billion five hundred million rupiahs) are issued by Commercial Banks.^[9] The consortium of general insurance companies/guarantee institutions/guarantee companies that have a loss insurance program (suretyship), are easy to liquidate. The consortium must have assigned/received a recommendation from the Otoritas Jasa Keuangan (OJK). Performance Security must able to be disbursed unconditionally at the value of the guarantee within a period of no later than 14 (fourteen) working days. The guarantee letter contains the name, address, and signature of the guarantor. Failure of the appointed provider to submit the Implementation Guarantee Letter is deemed to have refused to sign the contract or not to accept the decision to appoint as a provider of goods/services, it will be subject to sanctions. Further provisions regarding the disbursement of the Implementation Guarantee Letter are regulated in the General Conditions of Contract.

Things to watch out for are construction projects with national private companies that become Independent Power Producers (IPP) that are interested in participating in the construction and operation of nuclear power plants, especially in the small modular reactor in Indonesia. They attempt to finance nuclear power projects through the Public-Private Partnership (PPP) as a modified project financing model, which is based on a combination of investment from the government and investors. The Beneficiary of the guarantee should be defined clearly. BAPETEN should regulate and take coordination with other institutions to define what institution will receive the money if there is a termination of the guarantee letter. The study proposes the ministry of investment will receive this fund, not the BAPETEN as technical regulator only.

3. A reserve fund account

Reference to reserve funds is contained in Appendix I.03 of PSAP 02 Government Regulation Number 71 of 2010 concerning Government Accounting Standards. Reserve Fund is a fund that is set aside to accommodate needs that require relatively large funds that cannot be met within 1 fiscal year.^[10] The applicant should have a reserve fund account separate from the cash flow account. The number of funds listed should be proposed by the licensee [10], but the value should approximate a minimum of around 5% until 10% from the construction contract. The value is based on website Otoritas Jasa Keuangan (OJK) information.^[7] In the proposal for this reserve fund account, the applicant should submit information demonstrating that the applicant has or has reasonable guarantees of obtaining the necessary funds to cover the estimated construction costs and first fuel cycle costs. The proposal document includes, among others, estimated construction costs and the cost of the first nuclear fuel, details of sources of construction funds, including a financial plan that explains internal and external sources of funds, and the most recent annual financial statements together with the most recent relevant interim financial statements, including income statements, balance sheets, and cash flows.^[10]

In the proposal for determining the reserve fund, the applicant also attaches risk management as stated in the IAEA guideline no. NP-T-2.7 Project Management in Nuclear Power Plant Construction: Guidelines and Experience.^[11] Things that need to be focused on in risk management are how to improve project management and limit the financial and exposure schedules of project partners. On a construction, project risk means financial and schedule overload, for direct or indirect costs. Each part of the project must minimize this risk for its area of responsibility. Project management is responsible for managing risk, and coordinating with other parts of the project. The effectiveness of risk management will be seen from efforts to reduce or eliminate it at an early stage, but management must be carried out throughout the project.

It is necessary for project management to assign one person with authority for proper risk management. The task includes the following steps^[11]:

1. Brainstorming session identifying risk areas
2. Formal declaration and definition of critical risk items
3. List, sort, and weigh the identified risks;
4. Further definition and cost estimates for the ten or twenty closest risks;
5. Input into the project cost matrix of the identified significant financial risks;
6. Definition of an action program for timely risk mitigation;
7. Action follow-up and risk reassessment;
8. Periodic review of the risks of being inactive on the list;
9. Updating the list of risks and their priorities.

Each risk item should be aligned with the action plan, with allocation and monitoring of resources to reduce, contain and eliminate risk, and incrementally incorporate each change into the regular technical description, budget and project schedule, with procedures and standards in place.

CONCLUSION

This review has resulted in several recommendations that could become a proposal for the review standard of financial guarantee requirements. The results from the discussion are:

1. Determine of acceptance criteria of the value of the guarantee bank letter with 5% from the value of construction contract
2. This study proposes the value of a time deposit is 5% of the value of a construction contract
3. Reserve fund account is approved from proposed amount reserve fund with range minimum 5% to 10% of the value of the construction contract.
4. The proposal reserve fund account includes, among others, an estimated reserve fund for the construction costs and the cost of the first nuclear fuel, details of sources of the construction funds, including a financial plan that explains internal and external sources of funds; and the most recent annual financial statements together with the most recent relevant interim financial statements, including income statements, balance Sheets, and cash flows.
5. The validity of three financial guarantees is until 8 years referring to the validity of the construction license.

REFERENCES

- [1] Government Regulation of Republic of Indonesia No.2, Licensing of Nuclear Installation and the Utilization of Nuclear Material (Ministry of the State Secretariat of the Republic of Indonesia), Jakarta, 2014.
- [2] Act of Republic of Indonesia No. 25, Public Services, (Ministry of the State Secretariat of the Republic of Indonesia), Jakarta, 2009.
- [3] Government Regulation of Republic of Indonesia No.5, Implementation of Risk-Based Business Licensing, (Ministry of the State Secretariat of the Republic of Indonesia), Jakarta, 2021.
- [4] D.Schlissel and B. Biewald, Nuclear Power Plant Construction Costs Synapse Energy Economic, Synapse Energy Economics Inc. 2008
- [5] Presidential Regulation of Republic of Indonesia No. 12 Changes to Presidential Regulation Number 16 the year 2018 on The procurement of government goods and services, (Ministry of the State Secretariat of the Republic of Indonesia, Jakarta, 2021
- [6] Otoritas Jasa Keuangan (OJK) of Republic of Indonesia , Article information website, available at <https://sikapiuangmu.ojk.go.id/FrontEnd/CMS/Article/100>
- [7] Decree of the Director of Bank Indonesia of Republic of Indonesia No. 23/88/KEP/DIR , Providing Guarantees by Bank, Jakarta, 1991
- [8] Government Regulation of Republic of Indonesia No.71, Government Accounting Standard, (Ministry of the State Secretariat of the Republic of Indonesia), Jakarta 2010
- [9] Minister of PUPR Regulation Number 14 of 2020, Standards and Guidelines for Procurement of Construction Services, Jakarta, 2020
- [10] United State Nuclear Regulatory Agency, NUREG-1577, Rev. 1 Standard Review Plan on Power Reactor Licensee Financial qualification and Decommissioning Funding Assurance, Rockville, 1999
- [11] International Atomic Energy Agency, AEA guideline no. NP-T-2.7 Project Management in Nuclear Power Plant Construction: Guidelines and Experience, IAEA, Vienna, 2012



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



THE ROLE OF INDONESIA IN THE ASEANTOM REGIONAL COOPERATION FORUM YEAR 2013-2021

Auzan Shadiq^{1, a)}, Indah Annisa^{1, b)}

¹*Bureau for Legal Affairs, Cooperation and Public Communication
Nuclear Energy Regulatory Agency of Indonesia (BAPETEN)
Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat, Indonesia*

^{a)}a.shadiq@bapeten.go.id

^{b)}i.annisa@bapeten.go.id

Abstract. As one of the sectoral bodies under the ASEAN Political-Security Community (APSC), the ASEANTOM is a platform to exchange best practices and information related to nuclear safety, nuclear security, and nuclear safeguards among the nuclear regulatory bodies and stakeholders in the Southeast Asia region. ASEANTOM is an intergovernmental organization with the representation of nuclear energy regulatory bodies or their equivalents of all ASEAN Member States. ASEANTOM is part of ASEAN's official structure and is bound by ASEAN's principles, rules and regulations. Indonesia was one of the founding fathers of ASEANTOM and plays an essential role in its development. The objective of this paper is to find out the role of Indonesia in the ASEANTOM regional cooperation forum year 2013-2021. The research method used in this paper is a qualitative approach and secondary data with the assistance of regional cooperation theoretical framework in the International Relations perspective. The research analysis resulted in this paper found out the role of Indonesia in the ASEANTOM regional cooperation forum is considered quite active and carry out a huge contribution to the institution stability which leads to the enhancement of human resources capacity in the regulatory activity of nuclear energy utilization at the national and regional level.

Key Words: Indonesia; ASEANTOM; cooperation; regional; and nuclear energy

INTRODUCTION

The Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) is an International Organization based in Southeast Asia which was established on 8 August 1967, in Bangkok, Thailand through the signing ceremony of ASEAN Declaration by 5 member states, namely Indonesia, Malaysia, the Philippines, Singapore, and Thailand. Following then, five more member states join the group: Brunei in 1984; Vietnam in 1995; Laos and Myanmar in 1997; and Cambodia in 1999. Since 2003 the ASEAN member states had established the ASEAN Community with its 3 main pillars, namely the ASEAN Political-Security Community (APSC), the ASEAN Economic Community (AEC), and the ASEAN Socio-Cultural Community (ASCC) (ASEAN, 2020a).

One of the ASEAN main pillar in the ASEAN Community is the APSC, which has an objective to ensure the Southeast Asian countries could live together peacefully in harmony and democratic environment. In order to realize its objective, the APSC has several sectoral bodies to undergo program and activities, namely the ASEAN Foreign Ministers Meeting (AMM), in which undertake its function with assistance from the ASEAN Senior Officials' Meetings (ASEAN SOM); the Commission for the Southeast Asia Nuclear Weapon-Free Zone (SEANWFZ); the ASEAN Defence Ministers Meeting (ADMM); the ASEAN Law Ministers Meeting (ALAWMM); the ASEAN Ministers/Attorneys-General Meeting of the Central Authorities on Mutual Legal Assistance in Criminal Matters (AMAG-MLAT); the ASEAN Ministerial Meeting on Transnational Crime (AMMTC); the ASEAN Ministerial Meeting on Drug Matters (AMMD); the ASEAN Regional Forum (ARF); and the ASEAN Intergovernmental Commission on Human Rights (AICHR) (ASEAN, 2020b). In 2012, at the 20th ASEAN Summit held in Phnom Penh, Cambodia, the ASEAN Leaders agreed to the formation of the ASEAN Network of Regulatory Bodies on Atomic Energy (ASEANTOM). ASEANTOM was officially formed when its Terms of Reference were adopted at the ASEAN Joint Preparatory Meeting in September 2013, held in parallel to the ASEAN SOM. In December 2015, ASEANTOM was officially designated as an Annex I sectoral body under the ASEAN Political-Security Community, and would report to ASEAN SOM.

The ASEANTOM serves as a platform for collaboration among nuclear regulatory bodies within ASEAN to enhance regulatory activities and further strengthen nuclear safety, security and safeguards within the ASEAN Community by enhancing cooperation and complementing the work of existing mechanism at the national, regional and international levels. The ASEANTOM meets annually (ASEAN, 2020c). ASEANTOM also develops cooperation with various external partners including the International Atomic Energy Agency (IAEA). The following are member institutions or representatives to the ASEANTOM, namely the Ministry of Energy (MoE) of Brunei; Phillipine Nuclear Research Institute (PNRI) of the Philippines; Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) of Indonesia; Ministry of Mines and Energy (MME) of Cambodia; Ministry of Science and Technology (MOST) of Laos; Atomic Energy Licensing Board (AELB) of Malaysia; Ministry of Education (MoE) / Division of Atomic Energy (DAE) of Myanmar; the National Environment Agency (NEA) of Singapore; Office of Atoms for Peace (OAP) of Thailand; and the Vietnam Agency for Radiation and Nuclear Safety (VARANS) of Vietnam (ASEANTOM, 2018a). The following figure 1 is the map of the ASEANTOM member states, which shows their location in the South East Asia region.



FIGURE 1. The Map of ASEANTOM Member States

As an institution that represented Indonesia in the ASEANTOM regional cooperation forum, BAPETEN has a duty to undergo a governmental assignment in the field of regulatory activity of nuclear utilization in accordance with national regulations prevail in Indonesia. As a non-ministerial government agency, BAPETEN is headed by a Chairman responsible directly to the President of the Republic of Indonesia (BAPETEN, 2020). The BAPETEN's Strategic Plan year 2020-2024, BAPETEN carried out a mission to ensure the safety, security, and safeguards in the utilization of nuclear energy in accordance with the international standards in order to enhance its competitiveness (BAPETEN, 2021).

RESEARCH QUESTION

Based on the aforementioned information, the research to be presented in this paper is how Indonesia's position in the ASEANTOM regional cooperation forum over the years 2013-2021.

RESEARCH METHOD

In order to answer the research question, this paper will use a qualitative research method or qualitative approach. This method is quite often used by many scholars to find out new knowledge based on Social Science, history, and political issue. The strategy used in the qualitative approach is basically narrative and in form of theoretical studies or cases study. Generally, the scholars gathered an open-ended data in order to develop some themes which emerge from formerly available data (Creswell, 2003).

The data used in this paper is in the form of secondary data which was previously gathered by numerous government institutions or non-governmental organizations. The data was gathered via the internet from the various official websites which serve some information regarding the role of Indonesia in the ASEANTOM regional cooperation forum year 2013-2021. The aforementioned data and information gathered are then reprocessed with the assistance of a theoretical framework from the International Relations perspective.

THEORETICAL FRAMEWORK

International Relations is an academic subject that emerge because there is a fact that the whole world community was divided and separated into a political community area called a sovereign state. That issue is

affecting the way of life of humans as the resident of the world, hence shaping an international system called the global political system. These sovereign states had their own rights to determine their stand and destiny independently, which commonly called as sovereignty. The geographical factor and the national interest which own by each sovereign state, had affecting and enable them to live side by side and create a relationship with one another. As one of the main subjects in the International Relations perspective, a sovereign state being studied related to its nature and consequences when starting to create a relationship with other sovereign states, whether it is a profitable or a disbenefit one (Jackson & Sorensen, 1999).

It can't be denied that globalization has made the sovereign states earn some economic growth value, which is relatively high through a sort of complex process. Regional cooperation has to bridge the gap which emerges as the result of the globalization process, which is not necessarily enjoyed by every sovereign state. The regional cooperation has strengthened and become a midway for the issue to fulfill domestic needs independently and meet the openness aspect in the global era. The regional cooperation has brought some benefits in the same way as the multilateral cooperation, although on a relatively smaller scale. The process done by the multilateral cooperation scope is considered slow, even though it could bring some long-term benefits. On the other hand, the cooperation done in the regional scope is considered more focused on the overcoming of priority aspects at the regional level and tends to rarely experience a decline. For instance, the regional cooperation in the field of politics and security is considered has given contribution to the institution's stability which could strengthen the level of growth (UNESCAP, 2004). The following figure 2 is the diagram of operationalization of theory, which shows how the regional cooperation on political and security could bring some contribution into the institution stability that lead to the level of growth.

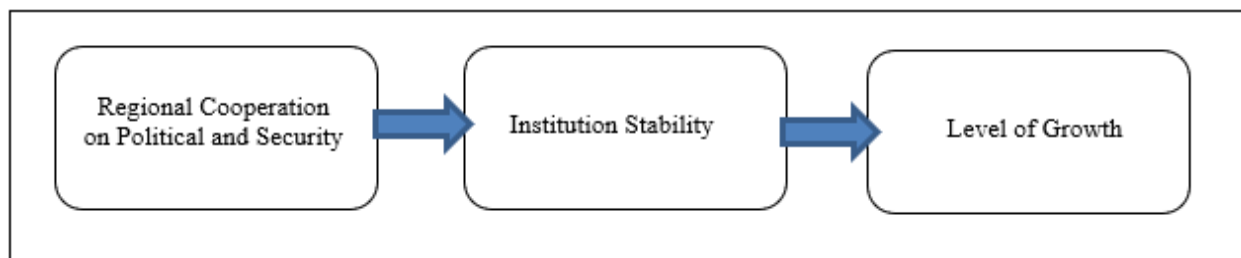


FIGURE 2. Diagram of Operationalization of Theory

RESEARCH ANALYSIS AND FINDINGS

The promotion of regional cooperation in ASEAN, has been listed on the Bangkok Declaration in 1967. Another treaty in ASEAN which so called Treaty of Amity an Cooperation (TAC) signed in 1976, also mentioning about the cooperation and agreement that must be agreed by all member states based on five principles. Those principles then called as the 'ASEAN Way' which influence ASEAN regional diplomacy on any other sector, including the security community (Burke, 2008).

As one of the forms of the regional cooperation institution, the ASEAN has contributed significantly to developing the Southeast Asia region through the principles such as consensus decision-making, non-interference in domestic affairs, and giving much attention to the needs of its member states. The ASEAN has transformed from the regional cooperation forum in the field of politics and security, into an information exchange platform in the field of economics, which is widely spread. Currently, the economic cooperation done by the ASEAN is already included in a sort of fields, starting from trade, investment, industry, service, finance, agriculture, forestry, energy, transportation, communication, intellectual property rights, small and medium enterprise, up into tourism sector (UNESCAP, 2004).

The economic cooperation of ASEAN, which continues to grow year by year (especially in the field of energy), has made the level of public needs become skyrocket. One of the energy fields which becomes the focus of attention from the Southeast Asian countries is the utilization of nuclear energy. The negative impact of the utilization of nuclear energy (such as nuclear accidents), might be happened anytime and could be cross-boundary, hence in order to prevent the potential risk impact of the utilization of nuclear energy in the Southeast Asia region, it needs a cooperation forum in the issue of regulatory activity of the utilization of nuclear energy. The establishment of ASEANTOM as the network forum for the nuclear regulatory bodies in Southeast Asia has become a necessary step in order to response the need to promote the aspect of safety, security, and the utilization of nuclear energy for peaceful purposes (ASEANTOM, 2018b).

Each of ASEANTOM members has its own Points of Contact (PoC) and at least two personnel as alternate Contact Persons (CP) (ASEANTOM, 2018c). For Indonesia, PoC is the Head of Bureau for Legal Affairs, Cooperation and Public Communication of BAPETEN along with the Coordinator for Domestic and International Cooperation (BAPETEN, 2019). The role of Indonesia as one of the members of ASEANTOM is extremely important in order to provide feedback regarding the policy taken either in the period of the ASEANTOM establishment or afterward. The following table 1 is the timeline of the role of Indonesia in the ASEANTOM regional cooperation forum:

Table 1. Timeline the Role of Indonesia in the ASEANTOM Regional Cooperation Forum Year 2013-2021

Year	Activity	Remarks
2013	1 st Meeting of ASEANTOM, Thailand	Indonesia was taking part in facilitating the exchange of information in the field of safety, security, and safeguards among the ASEANTOM member states. Indonesia, along with the Philippines, were 2 of the first countries who give feedback to Thailand for the preliminary draft of the ToR of the ASEANTOM. Therefore, Indonesia could be considered as one of the countries that became the founding fathers of the ASEANTOM.
2014	2 nd Meeting of ASEANTOM, Chiang Mai, Thailand	Indonesia was taking part in reviewing the activities undertaken in the year before, and actively involved in the discussion of the next activities under the work plan for the year 2015-2016. The activities are a regional workshop and a training course in the field of nuclear emergency and preparedness, security culture, and nuclear management.
2015	3 rd Meeting of ASEANTOM, Kedah, Malaysia	Indonesia was taking part in reviewing the activities undertaken in the year before, and actively involved in the discussion of the next activities under the work plan for the year 2016-2017. The aforementioned activity is the implementation of the regional cooperation project by the IAEA-ASEANTOM (RAS9077) for 4 years duration starting from 2016 in order to support the development of a regional environmental radioactivity database and framework of nuclear emergency preparedness and response in the Southeast Asia region.
2017	4 th Meeting of ASEANTOM, Manila, the Philippines	Indonesia was taking part in expressing its ideas and notions related to the initiation of the official website of ASEANTOM, the establishment of the ASEANTOM Secretariat, the discussion of the 5-year work plan, and also some proposals for regional cooperation project.
2018	5 th Meeting of ASEANTOM, Singapore	Indonesia was taking part in the final discussion of some previous meetings and contributed to the draft of Practical Arrangements between IAEA - ASEAN on Cooperation in the Areas of Nuclear Science and Technology and Applications, Nuclear Safety, Security, and Safeguards.
2019	6 th Meeting of ASEANTOM and Technical Security in ASEAN, Krabi, Thailand	Indonesia was taking part in expressing its ideas and notions related to the development of potential cooperation between ASEANTOM and its external partners such as South Korea, Japan, Canada, the United States, and the European Union.
2020	7 th Meeting of ASEANTOM, Hanoi, Vietnam (Virtual Meeting)	Indonesia along with other member states of ASEANTOM kept supporting the implementation of activities under the work plan for the very first against the situation of the Covid-19 Pandemic which started to spread out all over the world.
2021	8 th Meeting of ASEANTOM, Brunei Darussalam (Virtual Meeting)	Indonesia was reporting its role as the co-host in collaboration with the IAEA to hold the Sub-regional Workshop on the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage, which was held virtually from 29 June to 1 July 2021. The event was part of the implementation of Practical Arrangements between the IAEA-ASEAN.

Based on the information above, it shows how Indonesia actively participated in every meeting held by the ASEANTOM and providing some contributions and ideas to the forum. The role of Indonesia is the manifestation and real example of the regional cooperation theoretical framework in the International Relations perspective. Previously, it was stated that regional cooperation (especially in the field of politics and security) will bring the contribution to the institution's stability that leads to the level of growth. The assumption from the regional cooperation theoretical framework has been proven based on the information gathered in the above-

mentioned table regarding the timeline of the role of Indonesia in the ASEANTOM regional cooperation forum year 2013-2021.

The analysis that could be conveyed in this paper is, that ASEANTOM as the network forum for the regional cooperation in the field of political and security in the Southeast Asia region, has shown the institution stability which manifested in the form of the annual meeting that is attended by all ASEANTOM member states, including Indonesia. Various activities were held during the period of 2013-2021, which is the form of implementation from those meetings. The activities which had been done certainly will bring an impact on the growth level received by each member state. The growth level can be a form of the new knowledge and experience which never been obtained before, hence will increase the capacity of the human resources among the nuclear regulatory bodies in the field of nuclear safety, security, and safeguards. The following figure 3 is the diagram of model analysis that shows the role of Indonesia.

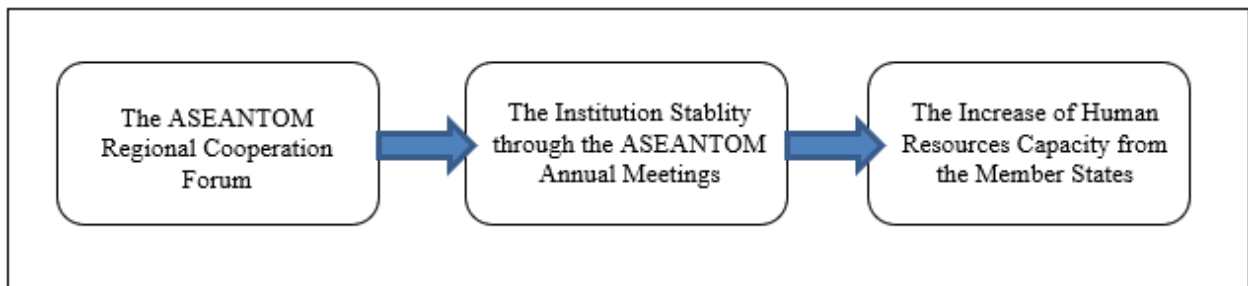


FIGURE 3. Diagram of Model Analysis

CONCLUSION

Based on the analysis results and the findings obtained in this paper, it can be concluded that the role of Indonesia in the ASEANTOM regional cooperation forum year 2013-2021 is considered quite active and provide a huge contribution to the institution's stability, among others facilitating information exchange, the establishment of the work plan document, contributing of ideas and notions related to some important issues, and the development of the Practical Arrangements between IAEA-ASEAN, and the implementation of all activities. The role of Indonesia in the ASEANTOM regional forum is expected to increase the human resources capacity in the regulatory activity of nuclear energy utilization at the national and regional levels.

REFERENCES

- [1] ASEAN. *About ASEAN: Establishment and ASEAN Community*. (2020a). Retrieved from Association of Southeast Asian Nations Official Website: <https://asean.org/asean/about-asean/>
- [2] ASEAN. *ASEAN Political-Security Community*. (2020b). Retrieved from Association of Southeast Asian Nations Official Website: <https://asean.org/asean-political-security-community/>
- [3] ASEAN. *ASEAN Network of Regulatory Bodies on Atomic Energy (ASEANTOM)*. (2020c). Retrieved from Association of Southeast Asian Nations Official Website: <https://asean.org/asean-political-security-community/asean-foreign-ministers-meeting-amm/asean-network-regulatory-bodies-atomic-energy-aseantom/>
- [4] ASEANTOM. *ASEANTOM Member States and Related Organisations*. (2018a). Retrieved from ASEANTOM Official Website: <http://122.155.190.95/aseantom5/>
- [5] ASEANTOM. *Background*. (2018b). Retrieved from ASEANTOM Official Website: <http://122.155.190.95/aseantom5/index.php/about-us-2/>
- [6] ASEANTOM. *Points of Contact*. (2018c). Retrieved from ASEANTOM Official Website: <http://122.155.190.95/aseantom5/index.php/point-of-contacts/>
- [7] BAPETEN. *Chairman of BAPETEN Decree No. 0045/KI/2019 Related to The Executor of International Cooperation Program*. (2019). Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
- [8] BAPETEN. *Official Website of the Network of Legal Data and Information (JDIH) BAPETEN*. (2020, December 8). Retrieved from BAPETEN Regulation No. 9 Year 2020 Related to Organization and Working Procedures of BAPETEN: <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-badan-pengawas-tenaga-nuklir-no-9-tahun-2020-tentang-organisasi-dan-tata-kerja-badan-pengawas-tenaga-nuklir>
- [9] BAPETEN. *Official Website of the Network of Legal Data and Information (JDIH) BAPETEN*. (2021, March 5). Retrieved from BAPETEN Regulation No. 2 Year 2021 Related to Strategic Planning of BAPETEN Year 2020-2024: <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-no-2-tahun-2021-tentang-rencana-strategis-badan-pengawas-tenaga-nuklir-tahun-2020-2024>
- [10] Burke, A. Order and Decolonisation in Southeast Asia. In R. Devetak, A. Burke, & J. George, *An Introduction to International Relations: Australian Perspectives* (pp. 213-222). (2008). Sydney: Cambridge University Press.

- [11] Creswell, J. W. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. (2003). Thousand Oaks: Sage Publications, Inc.
- [12] Jackson, R., & Sorensen, G. *Intoduction to International Relations*. (1999). New York: Oxford University Press Inc.
- [13] UNESCAP. Regional Cooperation: Conceptual Framework and Asia-Pacific Experience. In U. N. Pacific, *Meeting the Challenges in an Era of Globalization by Strengthening Regional Development Cooperation* (pp. 23 - 40). (2004). Los Angeles: University of California.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



ANALISIS KEDUDUKAN SURAT EDARAN SEBAGAI DISKRESI OLEH BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR TERHADAP PERATURAN PERUNDANG- UNDANGAN KETENAGANUKLIRAN

Muhammad Sujana Prawira^{1,a)}, Vatimah Zahrawati^{2,b)}

¹*Analisis Hukum, Badan Pengawas Tenaga Nuklir
Jakarta, Indonesia*

²*Pengawas Radiasi, Badan Pengawas Tenaga Nuklir
Jakarta, Indonesia*

^{a)} Corresponding author: s.prawira@bapeten.go.id

^{b)} v.zahrawati@bapeten.go.id

Abstrak. Mulai berlakunya PP 5/2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko sebagai turunan dari UU 11/2020 tentang Cipta Kerja memberikan dampak signifikan kepada perubahan ketentuan perizinan untuk bidang ketenaganukliran. Lahirnya PP ini menuntut untuk terbitnya Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Perba) 3/2021 dan Perba 1/2022. Dalam kedua Perba tersebut dikumpulkan seluruh persyaratan perizinan yang sebelumnya tersebar di sejumlah Perba. Perba yang lahir cukup tebal sekitar 900 halaman ini tidak luput dari kekurangan. Permasalahan timbul pada saat implementasi sistem Online Single Submission (OSS). Hal ini dikarenakan PP baru mengakomodasi pelaku usaha, sedangkan pemohon yang bukan pelaku usaha tidak diatur dalam PP ini. Permasalahan lainnya muncul pada saat mengimplementasikan persyaratan-persyaratan yang ada, di antaranya beberapa persyaratan yang belum jelas dan tumpang tindih, persyaratan yang kurang lengkap, dan kekeliruan dalam penulisan. Untuk mengatasi masalah implementasi ini BAPETEN mengeluarkan Surat Edaran Kepala BAPETEN Nomor 2565/K/XII/2021 mengenai pelayanan perizinan pemanfaatan tenaga nuklir termasuk sektor pendukungnya, yang bertujuan untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan peraturan perundang-undangan yang sudah diterbitkan. Posisi kekuatan surat edaran terhadap peraturan perundang-undangan dipertanyakan. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui apakah surat edaran yang telah diterbitkan BAPETEN telah sesuai dengan peraturan perundang-undangan. Dalam makalah ini dilakukan analisis dari sisi hukum bagaimana kedudukan surat edaran dan apakah kebijakan BAPETEN mengeluarkan surat edaran untuk setiap permasalahan yang timbul dalam implementasi peraturan perundang-undangan sudah tepat. Dari analisis dapat disimpulkan bahwa surat edaran yang diterbitkan BAPETEN dalam konteks ini telah disusun sesuai dengan ketentuan diskresi dalam UU 30/2014 tentang Administrasi Pemerintahan. Oleh karena itu, diharapkan surat edaran yang diterbitkan BAPETEN dapat menjadi solusi atas permasalahan nyata yang dihadapi di lapangan.

PENDAHULUAN

Surat edaran merupakan instrumen hukum yang sering ditemukan dalam tatanan hukum di Indonesia. Pada saat ini saja, ketika dunia masih menghadapi pandemi COVID-19, pemerintah mengeluarkan banyak surat edaran yang berkaitan dengan penanganan pandemi COVID-19 dalam berbagai aspek. BAPETEN sebagai instansi pemerintah pun mengeluarkan surat edaran guna mengatasi permasalahan di lapangan. Hal ini tentu saja merupakan langkah instan yang dianggap mampu menyelesaikan suatu permasalahan dalam waktu yang singkat.

Mulai berlakunya PP 5/2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko sebagai turunan dari UU 11/2020 tentang Cipta Kerja memberikan dampak signifikan kepada perubahan ketentuan perizinan untuk bidang ketenaganukliran. Lahirnya PP ini menuntut untuk terbitnya Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Perba) 3/2021 yang memuat persyaratan yang harus dipenuhi dan Perba 1/2022 yang memuat aturan tentang tata laksana perizinan berusaha. Kedua Perba tersebut memuat seluruh persyaratan perizinan yang ditujukan untuk pelaku usaha sebelumnya tersebar di sejumlah peraturan. Perba yang terbit lebih dari 900 halaman dan diselesaikan dalam waktu yang relatif singkat ini tidak luput dari kekurangan. Permasalahan timbul pada saat implementasi mengikuti sistem perizinan daring yang dibangun yaitu OSS.

Berbagai kekurangan terhadap isi Perba membuat permasalahan dalam implementasi di lapangan, di antaranya beberapa persyaratan yang belum jelas dan tumpang tindih, persyaratan yang kurang lengkap, dan kekeliruan dalam penulisan. Untuk mengatasi masalah implementasi ini, BAPETEN mengeluarkan surat edaran yang bertujuan untuk memperbaiki kekurangan peraturan perundang-undangan yang sudah diterbitkan.

Dengan adanya praktik di lapangan yang berbeda dengan apa yang telah diatur dalam peraturan perundang-undangan, timbul suatu celah hukum yang menjadi permasalahan bagi pemerintah. Peraturan perundang-undangan tidak sepenuhnya mengatur ketentuan-ketentuan secara spesifik. Terdapat banyak permasalahan di lapangan yang memang tidak tercakup dalam peraturan perundang-undangan [1]. Untuk itu, peraturan yang bersifat kebijakan seperti surat edaran dirumuskan oleh pemerintah [2].

Dengan maraknya penyelesaian suatu masalah melalui surat edaran, apakah substansi dari surat edaran itu sendiri begitu penting sehingga diputuskan untuk diedarkan? Kata “diedarkan” merupakan makna asli dari surat edaran. Secara harfiah, surat edaran merupakan suatu hal yang tidak berbeda dengan *circular letter*. Kata “*circular*” sendiri berasal dari “*circle*” yang berarti “lingkaran” yang tentunya berbentuk lingkaran [3]. Dari sinilah makna dari surat edaran berasal.

Setiap orang paham bagaimana bentuk lingkaran, melingkar menutupi suatu bagian yang memisahkan bagian yang lebih kecil yang berada di dalam lingkaran itu dengan bagian yang berada di luar lingkaran. Secara filosofis, hal itu bermakna bahwa surat edaran diedarkan bagi pihak-pihak yang berada dalam suatu “lingkaran” yang dalam konteks pemerintahan dapat diterjemahkan sebagai suatu instansi. Oleh karena itu, pada dasarnya surat edaran berlaku secara internal. Surat edaran tidak berlaku menyeluruh [4].

Pada praktiknya, tidak semua surat edaran diedarkan secara internal. Hal ini menjadi permasalahan tersendiri di lapangan jika terdapat pemangku kepentingan yang merasa dirugikan oleh suatu surat edaran. “Apakah surat edaran dapat digugat? Apakah surat edaran merupakan instrumen hukum seperti peraturan?” Dua pertanyaan itu senantiasa mengemuka tatkala terdapat pihak yang merasa dirugikan dengan adanya surat edaran. *Judicial review* adalah cara untuk menguji suatu produk hukum melalui peraturan perundang-undangan yang lebih tinggi [5].

Meskipun berlaku secara internal, akan tetapi faktanya penerbitan surat edaran kerap beririsan dengan pemangku kepentingan yang berada di luar lingkup internal. Pemangku kepentingan tersebut bisa jadi mendapatkan keuntungan atau malah dirugikan dengan adanya suatu surat edaran. Hal ini menjadi salah satu contoh bahwa surat edaran meskipun berlaku secara internal akan tetapi turut berdampak secara eksternal.

Pada dasarnya, keberadaan surat edaran itu sendiri merupakan salah satu upaya dalam mewujudkan tujuan hukum. Tiga tujuan hukum adalah kepastian, keadilan, dan kemanfaatan. Kepastian hukum berkaitan dengan ketenteraman dan ketertiban sedangkan keadilan adalah kewajaran, kepatuhan, dan keseimbangan, sementara kemanfaatan berkaitan dengan garansi keseluruhan nilai itu menciptakan perdamaian dalam kehidupan bersama [6].

REGULASI DI INDONESIA

Kerangka Regulasi di Indonesia

Instrumen hukum yang dikenal oleh masyarakat adalah peraturan dan keputusan. Peraturan bersifat mengatur (*regelling*) sementara keputusan bersifat menetapkan (*beschikking*). Lalu di mana posisi surat edaran? Bukankah surat edaran dikeluarkan oleh pejabat berwenang? Untuk melihat di mana posisi surat edaran dalam tatanan *regelling*, merujuk pada UU 12/2011.

Pasal 7 ayat (1) UU 12/2011 mengatur hierarki dan macam peraturan perundang-undangan yaitu UUD 1945, Tap MPR, UU/Perppu, PP, Perpres, Perdaprov; dan Perdakab/kot. Pasal 7 ayat (2) UU 12/2011 mengatur daya ikat peraturan perundang-undangan berdasarkan hierarki yang dimaksud pada ayat (1). Dengan demikian, surat edaran bukanlah suatu peraturan. Hal ini sejalan dengan posisi surat edaran dalam konteks ilmu hukum yang memandang surat edaran sebagai suatu “peraturan” berupa kebijakan (*beleidsregel*) [7].

Kedudukan Surat Edaran

Sejalan dengan makna dari *beleidsregel*, dalam konteks BAPETEN, surat edaran lebih berperan sebagai kebijakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan di depan mata demi kepentingan yang lebih besar. Surat edaran bahkan sering dijumpai seolah “menabrak” norma yang berlaku sebagaimana diatur dalam suatu peraturan. Akan tetapi, keberadaan surat edaran dapat menjadi “jalan keluar” efektif dalam suatu keadaan tertentu.

Jika kita melihat pada pengertian peraturan perundang-undangan berdasarkan UU 12/2011 merupakan peraturan tertulis dengan norma hukum yang memiliki daya ikat secara umum serta diterbitkan pejabat berwenang via prosedur yang ditetapkan peraturan perundang-undangan, dapat disimpulkan bahwa surat edaran bukanlah suatu peraturan perundang-undangan sehingga sering terjadi penyusunan surat edaran pun tidak dilakukan sesuai prosedur yang ditetapkan peraturan perundang-undangan.

Indroharto [8] menyampaikan penyusunan *beleidsregel* harus mempertimbangkan beberapa hal:

1. tidak bertentangan dengan peraturan terkait;
2. tidak bertentangan dengan nalar;

3. harus disusun secara cermat;
4. substansi harus menjelaskan hak dan kewajiban dari objeknya;
5. kejelasan tujuan dan dasar pertimbangan;
6. kepastian hukum harus terpenuhi.

Surat edaran tampak seperti ‘‘obat penawar’’ yang bersifat sementara tetapi ampuh pada saat yang dibutuhkan, terutama dalam hal waktu karena memang tidak seperti pembentukan peraturan perundang-undangan yang tentunya sulit dilakukan dalam waktu singkat seperti halnya surat edaran. Lalu apa yang menjadi dasar bagi pejabat yang berwenang untuk mengeluarkan suatu surat edaran?

Karena posisinya yang merupakan ‘‘peraturan’’ yang bersifat kebijakan, surat edaran dipandang sebagai suatu diskresi yang dipahami sebagai ‘‘kewibawaan’’ penguasa, yaitu pemerintah melalui pejabat berwenang, untuk menyelesaikan permasalahan dengan membutuhkan campur tangan pejabat demi kepentingan bersama.

Surat Edaran sebagai Diskresi

Diskresi diperlukan karena undang-undang tidak mengatur setiap kasus dalam kehidupan sehari-hari [9]. Diskresi terdiri atas diskresi bebas dan diskresi terikat [10]. Dalam diskresi bebas, peraturan perundang-undangan telah membatasi hal-hal tertentu sehingga pejabat pemerintahan bebas menetapkan suatu keputusan selama tidak melampaui batas yang telah ditetapkan [11]. Sementara itu, dalam diskresi terikat, peraturan perundang-undangan menetapkan beberapa alternatif yang dapat dipilih oleh pejabat pemerintahan ketika menerapkan diskresi [12].

Dalam konteks pemerintahan, UU 30/2014 mengatur diskresi merupakan tindakan dan/atau keputusan pejabat pemerintahan dalam rangka menyelesaikan permasalahan nyata dalam penyelenggaraan pemerintahan ketika adanya stagnasi pemerintahan, peraturan perundang-undangan tidak mengatur, memberikan pilihan, dan/atau tidak jelas atau tidak lengkap.

Terdapat dua poin krusial yang dapat diambil dari pengaturan diskresi dalam UU 30/2014 tersebut. Pertama, bahwa surat edaran merupakan suatu diskresi karena termasuk ke dalam kualifikasi ‘‘tindakan pejabat pemerintahan’’. Kedua, diskresi adalah untuk menyelesaikan permasalahan nyata, dengan empat persyaratan yang diatur.

UU 30/2014 mengatur tindakan merupakan perbuatan penyelenggara negara melakukan dan/atau tidak melakukan tindakan nyata untuk melaksanakan penyelenggaraan pemerintahan. Dalam konteks ini, diskresi merupakan suatu perbuatan konkret. Oleh karena itu, surat edaran merupakan suatu perbuatan konkret untuk mengatasi persoalan konkret.

Surat edaran menangkap adanya ‘‘peluang’’ untuk menyelesaikan persoalan konkret yang tampak tidak akan dapat diselesaikan melalui peraturan, karena penyusunan suatu peraturan perundang-undangan melalui beberapa tahapan merujuk pada UU 12/2011. Meskipun demikian, terdapat batasan-batasan dalam UU 30/2014 semata-mata agar diskresi dilakukan dengan proporsional sebagai salah satu pengejawantahan *good governance*.

Oleh karena itu, UU 30/2014 menentukan diskresi dengan ketat. Surat edaran, salah satu produk hukum yang dipahami sebagai suatu diskresi, terikat dengan ketentuan Pasal 22 ayat (2) UU 30/2014 yang mengatur bahwa diskresi memiliki tujuan menyelesaikan stagnasi pemerintahan, menimbulkan kepastian hukum, memastikan tidak adanya kekosongan hukum, dan membuat penyelenggaraan pemerintah menjadi lancar. Dengan demikian, diskresi harus dilakukan dengan proporsional mengingat terikat dengan UU 30/2014. Dalam konteks BAPETEN, apakah surat edaran yang dikeluarkan oleh BAPETEN telah sesuai dengan ketentuan diskresi?

PRAKTIK DI BAPETEN

BAPETEN sebagai salah satu lembaga pemerintah pun kerap mengeluarkan surat edaran. Hal ini tentu saja bukan tanpa sebab, dengan sebab utama untuk tetap menjaga agar proses pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia tetap berjalan dengan baik meski dengan adanya aral yang melintang. Aspek keselamatan dan keamanan tetap menjadi prioritas. Termasuk dalam masa pandemi COVID-19 ini, tercatat BAPETEN mengeluarkan sejumlah diskresi berupa surat edaran ketika menghadapi permasalahan nyata di lapangan.

BAPETEN, sebagai salah satu instansi pemerintah yang bersama sejumlah instansi pemerintah lain terkena dampak dari berlakunya UU 11/2020 serta turunannya, harus menyesuaikan penerapan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran. Hal krusial pertama yang menjadi poin penting adalah adanya pembedaan pengaturan kepada pelaku usaha dan nonpelaku usaha. Secara sederhana, pelaku usaha diasosiasikan sebagai subjek hukum yang melakukan kegiatan berusaha atau berorientasi pada keuntungan sementara nonpelaku usaha adalah subjek hukum yang tidak melakukan kegiatan berusaha atau tidak berorientasi pada keuntungan.

Dengan adanya pembedaan itu, pelaku usaha diberlakukan ketentuan sesuai dengan UU 11/2020 dan turunannya sementara nonpelaku usaha tetap menggunakan peraturan perundang-undangan sebagaimana biasanya. Dalam konteks perizinan BAPETEN, nonpelaku usaha masih merupakan subjek hukum dengan mengacu pada peraturan perundang-undangan ketenaganukliran.

Tidak hanya BAPETEN, sejumlah instansi pemerintah lainnya pun harus menyesuaikan penerapan peraturan perundang-undangan sesuai dengan sektornya masing-masing pascaberlakunya UU 11/2020 dan turunannya.

Dengan banyaknya instansi pemerintah terdampak dari perubahan sejumlah undang-undang secara masif ini, kekurangan dari peraturan lembaga termasuk Perba sebagai turunan dari UU 11/2020 adalah suatu keniscayaan.

Untuk melengkapi atau sebagai solusi atas adanya kekurangan dari turunan UU 11/2020 dalam konteks sektor ketenaganukliran, BAPETEN mengeluarkan Surat Edaran Kepala BAPETEN Nomor 2565/K/XII/2021 (SE 2565/2021). Implementasi sistem OSS menjadi salah satu prioritas dalam masa transisi pascaberlakunya UU 11/2020 dan turunannya. Pelayanan perizinan BAPETEN harus tetap dilaksanakan secara optimal meski terdapat perubahan terhadap peraturan perundang-undangan ketenaganukliran khususnya mengenai pelaku usaha sebagai subjek hukum.

SE 2565/2021 merupakan respons cepat atas tuntutan kelancaran dalam pelaksanaan Sistem Balis Perizinan yang diintegrasikan dengan sistem Perizinan Berusaha Berbasis Risiko (OSS RBA). Mekanisme peralihan dari sistem perizinan sebelumnya yang ada di BAPETEN ke Sistem Perizinan BAPETEN Terintegrasi OSS RBA membutuhkan kebijakan yang cepat dan tepat untuk memastikan pelayanan perizinan BAPETEN tetap berjalan seperti biasanya. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi BAPETEN sebagai badan pengawas selain memastikan aspek keselamatan dan keamanan nuklir tetap terjaga.

Adapun mengenai beberapa permasalahan lainnya yang juga muncul pada saat pengimplementasian persyaratan-persyaratan yang ada, di antaranya beberapa persyaratan yang belum jelas dan tumpang tindih, persyaratan yang kurang lengkap, dan kekeliruan dalam penulisan, pada dasarnya jika peraturan perundang-undangan yang ada belum dapat menjawab permasalahan tersebut maka berlaku adagium hukum *presumptio iures de iure* yang bermakna bahwa suatu keputusan pemerintahan dianggap sah sampai dengan adanya *in kracht van gewijsde* dengan putusan berkebalikan.

Oleh karena itu, BAPETEN sebagai representasi pemerintah dalam pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir, berwenang untuk menegakkan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran dalam rangka memastikan setiap pemanfaatan tenaga nuklir terhadap aspek keselamatan dan keamanan nuklir. Akan tetapi, pemerintah pun tidak dapat bertangan besi dalam menghadapi permasalahan nyata di lapangan. Diskresi dalam bentuk surat edaran menjadi salah satu solusi untuk mendapatkan kemaslahatan yang lebih besar bagi masyarakat.

Sesuai dengan adagium hukum *lex semper dabit remedium* yang bermakna bahwa hukum senantiasa memberikan solusi, dalam konteks ini SE 2565/2021 diharapkan menjadi solusi dari kekurangan yang ada dalam peraturan perundang-undangan ketenaganukliran pascaberlakunya UU 11/2020.

Sementara itu, salah satu surat edaran lainnya yang dikeluarkan BAPETEN belum lama ini adalah Surat Edaran Kepala BAPETEN Nomor 0058/K/I/2022 (SE Kepala BAPETEN 58/2022). Jelas keberadaan SE Kepala BAPETEN 58/2022 merupakan salah satu jawaban atas sejumlah permasalahan yang dihadapi sebagai efek dari berlakunya UU 11/2020 dan PP 5/2021. BAPETEN merupakan salah satu dari sejumlah instansi pemerintah yang turut berperan dalam pelaksanaan peraturan perundang-undangan yang disusun untuk mempermudah kegiatan berusaha itu.

SE Kepala BAPETEN 58/2022 merupakan surat edaran yang mencabut Surat Edaran Kepala BAPETEN Nomor 0842/K/IV/2020. Oleh karena pada saat ini pun Indonesia masih dalam masa pandemi COVID-19, maka kebijakan yang tertera dalam SE Kepala BAPETEN 58/2022 masih berkaitan erat dengan kesulitan yang dihadapi oleh para pemangku kepentingan dalam masa pandemi ini. Salah satu kemudahan bagi kegiatan berusaha yang dilakukan oleh pelaku usaha sesuai dengan kebijakan pemerintah dalam konteks BAPETEN adalah dengan adanya kebijakan perizinan terkait lisensi bagi pekerja pada instalasi pemanfaat sumber radiasi pengion. Kebijakan ini terdapat dalam SE Kepala BAPETEN 58/2022.

Petugas Proteksi Radiasi (PPR) menjadi salah satu sasaran kebijakan dalam konteks ini. SE Kepala BAPETEN 58/2022 menentukan kebijakan bagi PPR yang memiliki surat izin bekerja dengan masa kedaluwarsa maksimal 24 bulan dapat mengajukan permohonan perpanjangan masa berlaku surat izin bekerjanya selama lulus ujian surat izin bekerja PPR. Kemudahan terhadap PPR dengan surat izin bekerjanya tersebut merupakan pengejawantahan dari *beleidsregel* yakni kebijakan pemerintah dalam merespons kesulitan yang dihadapi pemangku kepentingan dalam masa pandemi COVID-19 dan efek dari perubahan peraturan perundang-undangan pascaberlakunya UU 11/2020 dan turunannya.

Meskipun demikian, BAPETEN selaku badan pengawas tidak mengeluarkan kebijakan tanpa mengabaikan aspek utama dalam pengawasannya. Aspek keselamatan dan keamanan dalam pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia tetap dikedepankan dengan salah satu contohnya adalah meskipun terdapat kemudahan bagi PPR dalam memiliki surat izin bekerja akan tetapi tetap terdapat persyaratan untuk lulus ujian surat izin bekerja PPR.

Dengan tetap diberlakukannya persyaratan untuk lulus ujian surat izin bekerja PPR, pemerintah melalui BAPETEN tetap menjamin keselamatan dan keamanan dalam pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia dengan mengeluarkan kebijakan yang seimbang dengan kesulitan di lapangan yang dihadapi pemangku kepentingan dalam masa pandemi COVID-19 dan efek dari perubahan peraturan perundang-undangan pascaberlakunya UU 11/2020 dan turunannya.

KEMAMPUTERAPAN DAN DAYA IKAT SURAT EDARAN

Karena surat edaran adalah kebijakan pemerintah sebagai respons atas permasalahan faktual di lapangan, maka keberadaan surat edaran begitu krusial bagi para pemangku kepentingan yang terdampak. Terlebih dengan adanya pembedaan antara pelaku usaha dengan nonpelaku usaha pascaberlakunya UU 11/2020 dan turunannya, surat edaran yang mempermudah pelaku usaha untuk menjalankan kegiatan usahanya tanpa mengurangi aspek

keselamatan dan keamanan sangat dibutuhkan agar kegiatan usaha tidak menjadi terhambat hanya karena adanya aral yang melintang bukan karena kesalahan dari pemangku kepentingan tersebut.

Pada akhirnya, sesuai dengan tujuan penyusunannya, surat edaran akan menjadi semacam jalan keluar atau solusi dari permasalahan yang secara faktual dihadapi dalam pelaksanaan di lapangan. Lantas, bagaimana dengan daya ikat dari surat edaran itu sendiri? Sesuai dengan tata urutan atau hierarki peraturan perundang-undangan sebagaimana diatur dalam UU 12/2011, surat edaran bukanlah suatu peraturan perundang-undangan. Oleh karena itu, surat edaran tidaklah memiliki daya ikat seperti halnya peraturan perundang-undangan. Surat edaran tidak memiliki kemampuan untuk mengenakan sanksi kepada pihak yang tidak melaksanakan surat edaran tersebut [13].

Meskipun demikian, peraturan perundang-undangan bukanlah kitab suci. Faktanya, masih terdapat berbagai permasalahan meskipun hal-hal yang menjadi objek pengaturan telah diatur di dalam peraturan perundang-undangan. Dengan hanya mendasarkan pada peraturan perundang-undangan sementara terdapat permasalahan faktual di lapangan yang tidak dapat diselesaikan hanya dengan peraturan-perundang-undangan maka kebijakan dari pemerintah berupa diskresi, hadir untuk merespons permasalahan tersebut.

Surat edaran adalah diskresi ketika dihadirkan untuk merespons permasalahan yang ada menjadi solusi efektif dalam jangka waktu tertentu. Idealnya, terdapat perubahan peraturan perundang-undangan sebagai jalan keluar dari permasalahan faktual di lapangan. Akan tetapi, mengingat proses pembentukan peraturan perundang-undangan memerlukan waktu yang lama, surat edaran menjadi alternatif solusi.

Selama surat edaran termasuk dalam diskresi yang disusun sesuai dengan UU 30/2014 maka surat edaran berlaku efektif sejak ditentukan dalam surat edaran tersebut. Pemangku kepentingan bisa jadi tidak langsung terdampak oleh suatu surat edaran akan tetapi ketika suatu surat edaran berdampak pada salah satu pemangku kepentingan sementara di lain pihak pemangku kepentingan tersebut memiliki kepentingan dengan pemangku kepentingan lainnya maka pemangku kepentingan tersebut bisa jadi tidak akan mendapatkan kemudahan jika tidak mengikuti surat edaran tersebut.

Dalam konteks BAPETEN baik sebagai lembaga pemerintah maupun badan pengawas, surat edaran yang merupakan salah satu bentuk diskresi senantiasa menjadi salah satu opsi dalam menghadapi permasalahan faktual di lapangan. Tidak ada peraturan perundang-undangan yang sempurna. Suatu ketika, bisa jadi peraturan perundang-undangan tersebut mengalami kesulitan dalam pelaksanaannya di lapangan, mengingat pelaksanaan di lapangan senantiasa volatil mengikuti perkembangan kebutuhan dan zaman.

Dengan demikian, penyusunan peraturan perundang-undangan semestinya menjawab tantangan zaman yang senantiasa berubah dari waktu ke waktu. Diskresi, salah satunya melalui surat edaran, merupakan salah satu alternatif solusi untuk menjawab tantangan di lapangan yang tidak terjawab pada saat itu juga oleh peraturan perundang-undangan.

KESIMPULAN

Surat edaran bukan merupakan peraturan perundang-undangan berdasarkan UU 12/2011. Meskipun demikian, surat edaran memiliki peran penting dalam hukum administrasi negara dengan mengacu pada ketentuan mengenai diskresi dalam UU 30/2014. Surat edaran adalah diskresi berupa kebijakan pemerintah sebagai respons atas permasalahan riil di lapangan.

Dalam konteks BAPETEN selaku badan pengawas yang dalam melaksanakan tugas pokok dan fungsinya terdampak pascaberlakunya UU 11/2020 dan turunannya, BAPETEN telah mengeluarkan beberapa surat edaran sebagai bentuk diskresi dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan dan keamanan nuklir.

Surat edaran yang dikeluarkan BAPETEN sebagai respons atas permasalahan riil di lapangan pascaberlakunya UU 11/2020 dan turunannya terlebih ditambah kondisi serbasulit di masyarakat dalam kondisi pandemi COVID-19, dalam proses pembentukannya telah sesuai dengan ketentuan mengenai diskresi dalam UU 30/2014.

Pada akhirnya, setiap instansi pemerintah termasuk BAPETEN senantiasa mematuhi seluruh peraturan perundang-undangan. Ketika peraturan perundang-undangan tidak mampu mengakomodasi permasalahan nyata di lapangan, langkah kebijakan berupa diskresi dengan salah satunya melalui surat edaran diharapkan dapat menjadi solusi tepat dan cepat yang diputuskan pemerintah untuk menghadapi permasalahan konkret yang menghadang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hanum, C., *Analisis Yuridis Kedudukan Surat Edaran dalam Sistem Hukum Indonesia*. Humani (Hukum dan Masyarakat Madani) 2020. Vol. 10 No. 2 (Semarang: Universitas Semarang).
- [2] Hadjon, P.M., *Pengantar Hukum Administrasi Indonesia*. 2005, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [3] www.merriam-webster.com, *Having the form of a circle*. n.d.
- [4] Inggiz, R.T. et al, *Kedudukan Surat Edaran Dikaitkan dengan Undang-Undang Nomor 15 Tahun 2019 juncto Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*. Jurnal Dialektika Hukum 2019 Vol. 1 No. 1 (Cimahi: Universitas Jenderal Achmad Yani).
- [5] Nazriyah, N.m.H.R., *Teori dan Pengujian Peraturan Perundang-undangan*. 2011, Bandung: Nusamedia.

- [6] Asshiddiqie, J., *Pengantar Ilmu Hukum Tata Negara*. 2006, Jakarta: Sekretariat Jenderal dan Kepaniteraan Mahkamah Konstitusi Republik Indonesia.
- [7] Kreveld, J.H.v., *Beleidsregel in het Recht*. 1983.
- [8] Indroharto, *Usaha Memahami Undang-Undang tentang Peradilan Tata Usaha Negara*. 2003, Jakarta: Pustaka Sinar Harapan.
- [9] Muhlizi, A.F., *Reformulasi Diskresi dalam penataan Hukum Administrasi*. Jurnal Rechtsvinding BPHN 2012 Vol. 1 No. 1 (Jakarta: Kementerian Hukum dan HAM).
- [10] Slemet, P.A., *Hukum Administrasi Negara*. 1994, Jakarta: Ghalia Indonesia.
- [11] Mulyani, T. et al, *Kajian Normatif mengenai Penggunaan Discretionary Power bagi Pejabat Pemerintah dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Penyelenggaraan Pemerintahan*. Humani (Hukum dan Masyarakat Madani) 2017. Vol. 7 No. 1 (Semarang: Universitas Semarang).
- [12] Kurniawan, E. et al, *Penggunaan Diskresi oleh Pejabat Publik menurut Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2014 tentang Administrasi Pemerintahan*. Jurnal Hukum Media Bhakti 2019 (Pontianak: Universitas Panca Bhakti).
- [13] Pratama, A.J. et al, *Kedudukan Surat Edaran Menteri Ketenagakerjaan sebagai Perlindungan Hukum bagi Pekerja yang Dirumahkan Akibat Pandemi COVID-19*. Jurnal Hukum Novum 2022 (Surabaya: Universitas Negeri Surabaya).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



DUALISME POLITIK HUKUM KETENAGANUKLIRAN PASCA BERLAKUNYA UU CIPTA KERJA: TANTANGAN PENGAWASAN KETENAGANUKLIRAN DAN PARADIGMA KEMUDAHAN BERUSAHA

Donni Taufiq, Anri Amaldi Ridwan

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir
Badan Pengawas Tenaga Nuklir*

d.taufiq@bapeten.go.id
a.ridwan@bapeten.go.id

Abstrak. Pemerintahan Presiden Joko Widodo dalam periode keduanya memiliki *political will* untuk melakukan tindakan korektif dalam menata regulasi, yang selama ini dianggap sudah berlebihan, terlalu banyak, dan saling tumpang tindih. Salah satu upaya yang diambil dengan menerapkan omnibuslaw melalui Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja. UU Cipta Kerja secara materi menghadirkan pandangan deregulasi sehingga memberikan kemudahan dalam berusaha. Diharapkan paradigma ini dapat mendorong perubahan fundamental ekonomi melalui investasi, untuk kemudian diharapkan akan berimplikasi pada peningkatan ekonomi Indonesia. Namun, UU Cipta Kerja hanya melakukan perubahan parsial kepada Undang-Undang organik masing-masing sektor, termasuk perubahan terhadap Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Sehingga, dualisme politik hukum di berbagai sektor yang diubah melalui UU Cipta Kerja, termasuk sektor ketenaganukliran tidak dapat dihindarkan. Kondisi ini terjadi karena tujuan pengaturan yang berbeda antara UU Cipta Kerja dengan UU Ketenaganukliran, yang disebabkan toleransi risiko dan suasana kebatinan yang berbeda pada saat penyusunannya. Hal inilah yang menjadikan tantangan pengawasan ketenaganukliran bagi Badan Pengawas Tenaga Nuklir saat ini.

Kata Kunci: Politik Hukum, Dualisme, Cipta Kerja

Abstract. President Joko Widodo's administration in his second term has the political will to take corrective action in arranging regulations, which had been considered redundant, too numerous, and overlapping. One of the efforts taken is to implement omnibus law through the Act Number 11 Year 2020 on Job Creation. The Job Creation Act materially presents a deregulation view so as to provide convenience in doing business. It is hoped that this paradigm can encourage changes in economic fundamentals through investment, which is then expected to have implications for improving the Indonesian economy. However, the Job Creation Act only made partial changes to the organic law of each sector, including amendments to the Act Number 10 Year 1997 on Nuclear Energy. Thus, the dualism of legal politics in various sectors which is amended through the Job Creation Act, including the nuclear sector, cannot be avoided. This condition occurs because of the different regulatory objectives between the Job Creation Act and the Nuclear Energy Act, which is due to different risk tolerance and mystical atmosphere at the time of its preparation. This is what makes nuclear control a challenge for the current Nuclear Energy Regulatory Agency.

Keywords: Politics of Law, Dualism, Job Creation

PENDAHULUAN

Indonesia telah lama dianggap oleh banyak investor, baik investor yang berasal dari luar negeri maupun investor dari dalam negeri, sebagai belantara regulasi, dimana peraturan perundang-undangan dalam tataran implementasi sudah terlalu banyak bahkan menjadi tumpang tindih antara Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Peraturan Presiden, hingga Peraturan Pemerintah Daerah. Kondisi tumpang tindih tersebut mengakibatkan investor yang berkeinginan untuk menanamkan modalnya di Indonesia seperti masuk ke dalam rimba belantara regulasi. [1] Pemerintahan Presiden Joko Widodo dalam periode keduanya merasa perlu dan

mendesak untuk membangun lingkungan investasi yang mudah, cepat, dan nyaman dengan memberikan fasilitas yang memadai untuk mendorong tingkat investasi di Indonesia. Tentunya instrumen untuk membangun iklim yang kondusif tersebut dinormakan dalam sebuah instrumen hukum. Dalam rangka mewujudkan iklim usaha yang kondusif tersebut diperlukan hukum, dalam hal ini peraturan perundang-undangan, yang dapat mengakomodir kehendak para penanam modal, namun tidak mengenyampingkan kepentingan dan cita-cita nasional. Hal inilah yang kemudian mendorong lahirnya Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja (UU Cipta Kerja). [2]

UU Cipta Kerja mengubah ketentuan terhadap 79 Undang-Undang, dengan disusun dalam 15 bab dan 186 pasal, yang isinya mencakup berbagai macam isu, mulai dari investasi, perindustrian, lingkungan, tenaga kerja, termasuk juga ketenaganukliran, dengan total pasal yang diubah secara keseluruhan lebih dari 1.200 pasal. Dalam Naskah Akademik UU Cipta Kerja dan tujuan sebagaimana dijabarkan dalam batang tubuh pasal 3 UU Cipta Kerja tersebut, secara eksplisit dalam Naskah Akademiknya, UU Cipta Kerja disusun dengan tujuan utama adalah untuk dapat memajukan ekosistem ekonomi. [3] Memajukan ekosistem ekonomi tersebut terutama dilakukan dengan memberikan insentif perizinan berusaha berupa kemudahan-kemudahan kepada pelaku usaha dalam perizinan berusaha, dan kemudahan-kemudahan atas kewajiban-kewajiban yang melekat kepada perizinan berusaha tersebut.

UU Cipta Kerja mengadopsi pengawasan dengan pendekatan berbasis risiko dalam proses perizinan dan penjatuhannya sanksi atas pelanggarannya. Adapun perizinan berusaha berbasis risiko secara mendasar menggeser konsep perizinan yang punya sifat *ex-ante* (pemenuhan persyaratan dahulu di awal) menjadi konsep perizinan *ex-post* (proses verifikasi sesudahnya). Konsep itu utamanya bisa diaplikasikan dalam jenis aktivitas bisnis dengan risiko minim atau aktivitas bisnis yang standarnya telah ditentukan. Setelah pengusaha menjalankan aktivitas usahanya mengacu standar, pemerintah selaku otoritas nantinya memverifikasi proses pemenuhan standar itu. [4]

Pengadopsian konsep pendekatan berfondasi risiko pada agenda simplifikasi perizinan karena dihipotesiskan bahwa implementasi pendekatan berfondasi risiko tersebut diprediksi bisa mereduksi banyaknya izin yang dikeluarkan. Ditambah lagi, aktivitas pengawasan diharapkan bisa semakin efektif dan efisien, sebab sumber daya pengawasan hanya akan didayakan untuk aktivitas risiko besar. Selain itu, dengan format *omnibus* yang diharapkan bisa menangani persoalan regulasi berlebih.

Definisi “risiko” dalam konsep pengawasan berbasis risiko menyerahkan penetapan batas risiko kepada masing-masing regulator (kementerian/lembaga) terkait, sesuai dengan tujuan pengawasan dari regulator tersebut. Maka, tahap pertama dalam konsep pengawasan berbasis risiko adalah melakukan identifikasi dan pemetaan tujuan pengaturan dari pengawasan tersebut. Karena ketiadaan tujuan pengaturan yang jelas, identifikasi risiko tak bisa dikerjakan, sebab identifikasi risiko menjadi turunan daripada tujuan pengaturan. Perihal ketenaganukliran, maka regulatornya adalah Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), dengan tujuan pengawasan sebagaimana dimaktub pada Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU Ketenaganukliran).[5] UU Cipta Kerja yang dibentuk lewat metode omnibus law tak mencabut undang-undang organik masing-masing sektor, termasuk UU Ketenaganukliran. Hal ini berpotensi menimbulkan kegamangan dan kebingungan dalam implementasi pelaksanaannya, mengingat politik hukum dari UU Cipta Kerja dan UU Ketenaganukliran sudah tentu berbeda.

PERMASALAHAN

Sejatinya, hukum merupakan deklarasi politis oleh pemerintah yang diwujudkan dan diimplementasikan dalam bentuk norma-norma hukum. UU Cipta Kerja diterbitkan dalam rangka penguatan ekonomi, yang dilakukan secara garis besar melalui pemberian insentif-insentif berupa kemudahan perizinan berusaha dan investasi. Dan politik hukum dari UU Cipta Kerja ini, berbeda dengan politik hukum UU Ketenaganukliran.

Yang menjadi permasalahan dalam penelitian makalah ini adalah tujuan pengaturan mana yang hendak dicapai dalam peraturan perundang-undangan ketenaganukliran. Dalam konteks UU Cipta Kerja, tujuan pengaturan menjadi kabur maknanya. Dalam implementasi UU Cipta Kerja, “risiko” bisa diinterpretasikan beraneka ragam. Apabila tujuannya adalah investasi, maka yang menjadi risiko dari tujuan itu misalnya adalah potensi rendahnya perlindungan bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup. Sebaliknya, apabila yang menjadi tujuan pengaturan adalah perlindungan kepada pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup, maka yang menjadi risiko adalah potensi terlampau ketatnya pengaturan, pengawasan, dan perizinan yang mengakibatkan kepercayaan investor berkurang, birokrasi yang rumit, dan sebagainya.

METODE PENULISAN

Tulisan ini merupakan sebuah kajian hukum (*legal assessment*) yang bersifat kualitatif, dengan memerhatikan pengaturan dan implementasi dari pelaksanaan pengawasan ketenaganukliran pascaberlakunya UU Cipta Kerja. Penelitian kualitatif adalah penelitian untuk mencari jawaban dari suatu pertanyaan dengan menggunakan seperangkat prosedur yang sistematis, mengumpulkan bukti, guna memahami sebuah fenomena secara mendalam. Penelitian ini mendasarkan pada dua hal: “pengamatan” dan “interpretasi”, yang berusaha untuk memperoleh informasi mengenai nilai-nilai, pendapat, dan tata perilaku dari kondisi dualisme politik hukum dari UU Cipta Kerja dan UU Ketenaganukliran.

PEMBAHASAN

Politik Hukum

Istilah politik hukum secara etimologis adalah pemaknaan bahasa Indonesia dari frasa hukum Belanda “*rechts-politiek*”, yang bermula daripada dua kata, yakni “*recht*” dan “*politiek*”. Kata “*recht*” bermakna “hukum” dalam bahasa Indonesia. Kata “*hukum*” sendiri berakar dari bahasa Arab “*hukm*” (kata jamaknya “*ahkam*”), yang bermakna ketetapan, putusan, hukuman, perintah, kekuasaan, dan lainnya.[6] Perihal istilah tersebut, kebulatan opini belum terbentuk di kalangan ahli-ahli hukum mengenai apa batas dan pengertian hukum yang sejati. Berbedanya opini itu dikarenakan sifat hukum yang *intangibile* serta lingkupnya yang lebar dan berbedanya perspektif ahli-ahli saat melihat dan memahami yang dinamakan hukum tersebut.

Penjelasan etimologis tersebut tentunya tak memberi kepuasan secara akademis sebab masih terlalu sederhana dan tidak ilmiah. Kondisi tersebut tentunya menghadirkan kebingungan dan menimbulkan kerancuan pemahaman mengenai yang sebenarnya disebut politik hukum itu. Untuk mengisi paparan tadi, penulis menyodorkan sejumlah definisi politik hukum yang dirumuskan oleh beberapa ahli hukum yang belakangan relatif fokus mengobservasi proses disiplin ilmu ini berkembang, antara lain:

1. Padmo Wahjono menuturkan, politik hukum merupakan kebijakan pelaksana penyelenggaraan negara yang bersifat basis untuk menentukan riantasi, wujud ataupun muatan yuridis yang kelak dibuat dan mengenai yang akan menjadi standar dalam menjatuhkan sebuah hukuman. Begitulah, politik hukum bagi Padmo Wahjono bertaut kepada hukum yang ada pada waktu mendatang (*ius constituendum*). [7]
2. Menurut Soedarto, politik hukum merupakan kebijakan negara lewat lembaga-lembaganya yang punya wewenang guna menetapkan aturan-aturan yang diinginkan, yang diprediksi nantinya dipakai guna mengekspresikan apa yang termuat pada masyarakat dan guna memperoleh tujuan yang didamba-dambakan. Ihwal itu memuat definisi yang amat lebar bahwa pernyataan “mengekspresikan apa yang termuat pada masyarakat” dapat diinterpretasikan amat lebar dan bisa menginklusikan definisi selain hukum seperti sosial, politik, budaya, ekonomi, keamanan, dan pertahanan. Sementara itu, pernyataan “guna menggapai yang didamba-dambakan” mendefinisikan, politik hukum bersalingkaitan kepada hukum yang didamba-dambakan (*ius constituendum*). Begitulah, politik hukum tak cuma berurusan soal rentang masa penerapan hukum, tapi telah turut bersinggungan dengan jenis desain berpikir yang mesti dipakai kala menciptakan suatu produk hukum. [8]
3. Bagi Moh. Mahfud MD, politik hukum yang kemudian diimplementasikan dalam bentuk *legal policy* ataupun garis kebijakan resmi suatu negara mengenai hukum yang kelak berlaku baik dengan hukum baru maupun dengan penggeseran hukum lama dengan yang baru, dalam rangka mencapai tujuan dan cita-cita bernegara. Politik hukum itu melingkupi pembentukan hukum yang bersubstansi atas penciptaan serta pembaruan kepada material-material hukum supaya bisa sesuai terhadap keperluan, pun penyelenggaraan ketetapan hukum yang telah berlaku, tergolong tegaknya peranan badan serta pembinaan pihak-pihak penegak hukum.[9]
4. Adapun Satjipto Rahardjo memberi definisi kepada politik hukum laksana kegiatan menunjuk dan upaya yang ingin digunakan dalam meraih sebuah tujuan kehidupan sosial dari kondisi hukum yang hidup pada masyarakat. Bagi Satjipto Rahardjo, ada sejumlah persoalan fundamental yang timbul pada kajian politik hukum, seperti: (1) tujuan apa yang hendak dicapai oleh suatu negara lewat sistem hukum yang berlaku; (2) upaya-upaya apa dan seperti apa, yang dianggap terbaik untuk dapat digunakan meraih tujuan bernegara; (3) kapan saatnya hukum itu butuh diganti serta lewat upaya-upaya terjadinya pergantian tersebut seharusnya dikerjakan; dan (4) bisakah diformulasikan sebuah pola yang pakem dan maju, yang dapat menjadi penentu bagaimana pemilihan tujuan serta cara-cara dalam meraih cita-cita itu secara optimal. [10]
5. Abdul Hakim Garuda Nusantara memberikan penjelasan bahwa politik hukum merupakan kebijakan hukum (*legal policy*) yang ingin diaplikasikan serta dilakukan oleh sebuah pemerintah negara. Garuda Nusantara menuturkan juga lingkup kerja politik hukum bisa mencakup penerapan ketetapan hukum yang sudah berlaku secara ajeg, proses pembaharuan serta penciptaan hukum, yang berorientasikan kritisisme kepada hukum yang memiliki dimensi hukum positif (*ius contitutum*) serta membuat hukum yang punya dimensi *ius constituendum*, dan krusial tegasnya fungsi lembaga serta pembinaan pihak-pihak penegak hukum. [11]

Pengawasan dengan Pendekatan Berbasis Risiko

Konsep pendekatan berbasis risiko memanglah acap dilakukan di sejumlah negara maju, macam Amerika Serikat dan beberapa negara Uni Eropa, utamanya Inggris, serta secara global melalui standardisasi layaknya yang termuat pada Basel Framework. Meski begitu, implementasi analisis risiko guna menyeleksi izin menjadi suatu yang terbilang baru serta beda dengan implementasi pendekatan berbasis risiko di beberapa negara lainnya. Implementasi pendekatan berbasis risiko harus berfokus sejumlah kritik yang acap disampaikan pada literatur. Kritik itu belum terakomodasi lewat UU Cipta Kerja serta tak termasuk pada pembicaraan dalam Naskah Akademik UU Cipta Kerja.

Contohnya tentang klasifikasi atau penggolongan perizinan berusaha yang dilaksanakan lewat penggolongan yang mengacu kepada Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI). Sesudah melakukan penapisan, sejumlah KBLI yang mulanya membutuhkan izin menjelma tak diperlukan. Untuk sektor ketenaganukliran, Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berbasis Risiko sudah mengaplikasikan semua kegiatan usaha sektor ketenaganukliran diklasifikasikan sebagai bidang usaha dengan risiko tinggi, sehingga memerlukan izin berusaha dari Pemerintah, dalam hal ini BAPETEN.[12]

Pengawasan dengan pendekatan berbasis risiko, seperti yang dijelaskan pula oleh banyak teori pengawasan lain, melihat regulasi laiknya beban. Maka, regulasi wajib menghadirkan efisiensi bagi para pihak yang terdampak atas regulasi tersebut. Bagi Julia Black dan Robert Baldwin, “...*the essence of risk-based regulation, as commonly understood, is the prioritizing of regulatory actions in accordance with an assessment of the risks that parties will present to the regulatory body’s achieving its objectives.*” Sedangkan Black mendefinisikan pendekatan berbasis risiko sebagai “...*the use of systematised frameworks of inspection or supervision which are primarily designed to manage regulatory or institutional risk: risks to the agency itself that it will not achieve its objectives*”.

Pengertian yang disodorkan Black dan Baldwin yang menitiktekan kepada tindakan pengawasan (*regulatory action*) mempunyai lingkup lebih umum ketimbang pengertian Black yang mengedepankan pengawasan melalui inspeksi (*inspection or supervision*). Meski begitu, harus digaribawahi bila secara umum, aktivitas pengawasan dari regulator lewat pendekatan berbasis risiko yang diterapkan dalam bentuk tindakan inspeksi dan pelaksanaan supervisi. Persamaan dari definisi dan makna yang diberikan keduanya, secara harifiah dapat diartikan bahwa dalam penentuan risiko oleh badan regulator bergantung kepada terhadap tujuan yang ditetapkan oleh badan regulator.

Menurut Black dan Baldwin, Ada 5 (lima) tahapan dalam rangka implementasi dan penerapan sistem pengawasan dengan pendekatan berbasis risiko, yaitu: **Pertama**, pengidentifikasian target regulasi secara tepat dan jelas. Harus diperhitungkan bahwa yang dikenal dengan “risiko” pada pengawasan dengan pendekatan berbasis risiko berpotensi menimbulkan kerentanan atau kegamangan dari lembaga yang menjadi regulator dalam rangka mencapai tujuan pengawasan. Maka, harus diidentifikasi dan dipetakan lebih dulu yang menjadi tujuan pengawasan dari lembaga regulator tersebut.

Kedua, lembaga regulator harus lebih dahulu menentukan batasan toleransi risiko (*risk tolerance*). Adapun toleransi risiko merupakan penentuan sejauh mana kerentanan risiko yang bisa ditoleransi. Bilamana toleransi risiko dari regulator tidak sama atau tidak sejalan dengan keinginan publik, maka lembaga regulator tersebut memiliki risiko potensi ditolak secara politis. Dengan demikian, penetapan risiko yang dapat ditoleransi menjadi amat subjektif, lembaga regulator dapat memberikan toleransi kepada sebuah risiko, meski kehendak publik serta suasana politik tidak memiliki persepsi yang sama.

Ketiga, lembaga regulator dapat melakukan upaya-upaya dalam rangka pengembangan sistem pengawasan yang efektif guna mengidentifikasi risiko yang mungkin muncul. Baldwin dkk membagi dua jenis risiko, yakni risiko inheren dan risiko manajerial. Risiko inheren merupakan risiko yang bertaut lingkungan, bahan kimiawi, konstruksi, dan lain sejenisnya. Sedangkan, risiko manajerial merupakan risiko yang muncul karena kapabilitas dan kompetensi sebuah badan untuk mengendalikan risiko inheren. Perihal UU Cipta Kerja, risiko inheren sudah diadopsi, sedangkan risiko manajerial diadopsikan secara sebagian.

Pada umumnya, ada 2 dimensi risiko, sekalipun secara praktis acap diintroduksikan pula dimensi ataupun unsur lainnya. Kedua dimensi itu, yang disebut pula yang diadopsi pada UU Cipta Kerja, yaitu bahaya dan peluang bahaya terjadi. Naskah Akademik UU Cipta Kerja menulis, “tingkat risiko = besarnya kerusakan x probabilitas”. Perhitungan peluang bahaya terjadi kerap membutuhkan data statistik tentang sisi historis sebuah insiden terjadi dan peluang terjadi lagi pada masa mendatang. Dalam hal tersebut, maka peran data dalam penentuan risiko menjadi sangat krusial.

Keempat, lembaga regulator menentukan level kerentanan atas kedua (atau melampaui dua) dimensi risiko tersebut di atas. Dalam hal ini, perangkaian level kerentanan dapat dikerjakan baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Anggapan risiko secara kualitatif, bagi Black dan Baldwin, kelak amat subjektif serta akibatnya bergantung pada pengalaman serta kompetensi dari sumber daya manusia yang dimiliki lembaga regulator.

Kelima, pengawasan dengan pendekatan berbasis risiko dipakai untuk menautkan antara institusi regulator dan sumber daya untuk mengawasi dan menegakkan. Lebih lanjut, pengawasan yang dilaksanakan dengan pendekatan berbasis risiko digunakan layaknya justifikasi tindakan inspeksi dan penegakan hukum, sekalipun secara kritis, tak berpeluang dapat dijalankan secara absolut. Dalam kalimat lain, lembaga regulator dapat dimintai pertanggung jawabannya adakah sumber daya yang telah dialokasikan guna mengontrol tingkat risiko yang sepadan. Regulator bisa ditagih dan dimintakan pertanggung jawabannya jika sumber daya habis sia-sia guna mengontrol aktivitas dengan tingkat risiko sedikit.[13]

Kelima sistem tahapan penilaian dalam rangka implementasi dan penerapan sistem pengawasan dengan pendekatan berbasis risiko yang diutarakan Black dan Baldwin tersebut diadopsi oleh UU Cipta Kerja, yaitu mengelompokkan klasifikasi usaha pada risiko rendah, menengah, serta tinggi, yang dalam Naskah Akademiknya disebut pula dengan sistem “lampu merah”.

Dualisme Politik Hukum UU Cipta Kerja dan UU Ketenaganukliran

Untuk mengetahui politik hukum UU Cipta Kerja, dapat ditinjau lewat tujuan pembentukannya sebagaimana ditetapkan dalam pasal 3 UU Cipta Kerja. Sementara itu, untuk mengetahui politik hukum khususnya dalam pengawasan ketenaganukliran dapat dilihat dari tujuan pengawasan sebagaimana ditetapkan dalam pasal 15 UU Ketenaganukliran. Pasal 3 UU Cipta Kerja menetapkan tujuan pembentukannya adalah murni untuk meningkatkan ekonomi dan investasi yang dilakukan melalui penyesuaian terhadap berbagai aspek pengaturan. Aspek pengaturan dalam hal ini bertujuan untuk memberikan kemudahan investasi dalam bentuk penanaman modal yang pada akhirnya diharapkan dapat berimplikasi langsung terhadap peningkatan dan akselerasi ekonomi serta menciptakan lapangan kerja seluas-luasnya. Sementara itu pasal 14 UU Ketenaganukliran menyebutkan bahwa tujuan pengawasan dengan dibentuknya UU Ketenaganukliran adalah untuk terjaminnya kesejahteraan, keselamatan, dan keamanan dalam pemanfaatan tenaga nuklir serta perlindungan terhadap lingkungan hidup.

Dari tujuan pembentukan UU Cipta Kerja dan tujuan pengawasan ketenaganukliran dalam UU Ketenaganukliran, jelas sangat jauh berbeda. UU Cipta Kerja dari tujuannya sudah sangat jelas, mendahulukan kepentingan pelaku usaha. Sedangkan UU Ketenaganukliran, dari tujuan pengawasannya sudah sangat jelas juga mendahulukan terjaminnya kesejahteraan, keselamatan, dan keamanan dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Hal inilah yang menjadi tantangan dalam pengawasan ketenaganukliran pasca berlakunya UU Cipta Kerja.

Politik hukum adalah cerminan dari suasana kebatinan atas apa yang dipikirkan dan dicita-citakan oleh pembentuk undang-undang pada masa itu. Suasana kebatinan atas apa yang dipikirkan dan dicita-citakan oleh pembentuk UU Ketenaganukliran pada masa pembentukannya dahulu, tentunya berbeda dengan apa yang dipikirkan dan dicita-citakan oleh pembentuk UU Cipta Kerja. Karena kondisi alamiah demikian (waktu dulu dan saat ini), dualisme politik hukum dalam semua sektor yang diatur perubahannya melalui UU Cipta Kerja, termasuk sektor ketenaganukliran adalah sesuatu yang tidak dapat dinafikan.

Harus diakui bahwa pengaturan-pengaturan mengenai perizinan berusaha dalam bentuk peraturan perundang-undangan di Indonesia terlalu banyak dan acapkali tumpang tindih antara satu peraturan perundang-undangan dengan peraturan perundang-undangan yang lain. Hal ini tentunya tidak dapat memberi kepastian dan keadilan hukum bagi pengusaha dan penanaman modal, yang bila hanya didiamkan akan merugikan bagi perkembangan ekonomi Indonesia. Meskipun demikian, perlu diingat dan dikedepankan, bahwa memberi kemudahan bagi pelaku usaha harus tetap mengutamakan perlindungan yang maksimal bagi kepentingan masyarakat yang berpotensi terdampak atas kegiatan pelaku usaha.

Lantas, bagaimana jika dualisme politik hukum ini mengakibatkan BAPETEN selaku regulator ketenaganukliran dalam posisi dilematis? Bagaimana jika kemudahan berusaha bagi pelaku usaha ketenaganukliran, kemudian menabrak kepentingan masyarakat? Apa yang harus BAPETEN lakukan, ketika kepentingan "si kaya" dan "berkuasa" bertabrakan dengan kepentingan masyarakat "cilik"? Kepentingan siapakah yang harus didahulukan oleh BAPETEN?

Untuk mengatasi pertentangan kepentingan karena adanya dualisme politik hukum ini, menarik untuk mendalami Teori Keadilan yang digagas oleh John Rawls, dan dikenal sebagai teori "*justice as fairness*". Rawls berpendapat, *liberty* serta *equality* bisa dikombinasikan dalam sebuah prinsip keadilan, yakni: "tiap orang mempunyai hak sama kepada kebebasan asasi, dan jika ketidakadilan terjadi maka kelas sosial rendah yang ditinggal dan dimarginalkanlah yang mesti diuntungkan olehnya". Itulah prinsip yang mengakar dalam institusi-institusi sosial jika keadilan sosial ingin benar-benar direalisasikan. Menurut Rawls "*Justice is the first virtue of social institutions, as truth is of systems of thought*"[14]

Rawls mengaku bahwa pandangannya atas keadilan tersebut sejalan dengan tradisi kontrak sosial (*social contract*) yang mulanya disokong oleh berbagai penggagas termasyhur, macam John Locke, Jean Jacques Rousseau, serta Immanuel Kant. Meski begitu, ide kontrak sosial yang dicetuskan Rawls terlihat berbeda dengan sejumlah pendahulunya, bahkan terlihat tidak implementatif dengan melakukan revitalisasi ulang terhadap beberapa teori kontrak sosial klasik yang sifat-nya utilitarianistik dan intuisionistik. Rawls berpendapat, keadilan merupakan kebajikan utama dari kehadiran beberapa institusi sosial (*social institutions*). Namun, baginya, kebaikan kepada semua lapisan sosial tersebut hendaknya tidak menyampingkan atau mengusik rasa keadilan tiap-tiap pihak yang sudah mendapatkan rasa keadilan, terkhusus kaum kecil. Maka, sejumlah khalayak menganggap cara pandang Rawls sebagaimana perspektif "*liberal-egalitarian of social justice*". [15] Dengan demikian jika berpegang teguh pada teori keadilan John Rawls, yang harus dikedepankan dan diutamakan oleh BAPETEN adalah kepentingan masyarakat kecil.

Urgensi Arahkan Infrastruktur Hukum Pengawasan Ketenaganukliran

Situasi kelembagaan dan tata kelola pemerintahan di Indonesia banyak mengalami perubahan sejak UU Ketenaganukliran diberlakukan 25 tahun yang lalu. Semenjak era reformasi yang kemudian berlanjut ke era stabilisasi dan konsolidasi 1 (satu) dekade terakhir, ada banyak perubahan drastis yang berpengaruh terhadap struktur pengawasan dan pengaturan ketenaganukliran. Perubahan tersebut antara lain adalah menguatnya peran pemerintah daerah, berkembangnya format baru lembaga negara independen dan lembaga negara bantu (*state auxiliary agencies*), dan semakin terfragmentasinya praktek kewenangan lembaga kementerian dan lembaga pemerintah nonkementerian. Hal inilah yang mengakibatkan BAPETEN tidak bisa berdiri sendiri dalam melaksanakan tugas pengawasan ketenaganukliran.[16]

UU Cipta Kerja bertujuan mengharmonisasi jumlah peraturan perundang-undangan atau regulasi di Indonesia mencapai puluhan ribu, dalam rangka memberikan kemudahan berusaha. Kondisi hiperregulasi terbukti telah membuat instansi pemerintah tidak bisa leluasa menjalankan tugas dan fungsinya karena banyaknya irisan antara peraturan perundang-undangan yang satu dengan peraturan perundang-undangan lainnya. Dalam bidang pengawasan ketenaganukliran, selain harus memperhatikan peraturan perundang-undangan di sektor ketenaganukliran juga harus diperhatikan dan dipertimbangkan peraturan undang-undang di bidang lain, antara lain bidang kesehatan, bidang lingkungan hidup dan kehutanan, bidang energi dan sumber daya mineral, bidang mutu dan kelembagaan, bidang kesiapsiagaan dan penanggulangan bencana, bidang perdagangan dan transportasi, bidang pangan dan pertanian, dan bidang sumber daya manusia.

Merupakan suatu keharusan dalam teori hukum modern bahwa perumusan sebuah peraturan perundang-undangan akan selalu berfokus dan mengutamakan aspek kepentingan nasional. Dengan prinsip kepentingan nasional pemerintah berikutnya memutuskan tahap strategis dalam usaha memperoleh manfaat ekonomi daripada objek pengaturan itu yang hasilnya bisa dialami oleh segenap bangsa Indonesia. Sejak berlakunya UU Ketenaganukliran, dari segi keselamatan dalam pemanfaatan tenaga nuklir bisa dikatakan cukup berhasil. Hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya kecelakaan nuklir yang terjadi di Indonesia. Namun potensi besar dari pemanfaatan tenaga nuklir belum berhasil dioptimalkan. UU Cipta Kerja menjadi kesempatan besar bagi pelaku ketenaganukliran untuk dapat mengembangkan kemanfaatan ketenaganukliran semaksimal mungkin bagi sebesar-besar kemakmuran rakyat.

Untuk itulah dengan memperhatikan suasana kebatinan dan paradigma politik hukum yang berbeda dari UU Cipta Kerja dan UU Ketenaganukliran, diperlukan suatu arahan infrastruktur hukum pengawasan ketenaganukliran. Dengan dileburnya Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) ke dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), maka BAPETEN adalah satu-satunya lembaga pemerintah yang khusus bergerak di sektor ketenaganukliran. Untuk itu BAPETEN harus berani mengambil peran lebih besar sebagai “Panglima” ketenaganukliran di Indonesia.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat Penulis sampaikan, dari paparan tersebut di atas, adalah sebagai berikut:

1. UU Cipta Kerja disusun dalam rangka mengakomodir keinginan pelaku usaha dan investor, untuk dapat diberi kemudahan berusaha dan berinvestasi demi meningkatkan ekonomi Indonesia. Namun seyogyanya, tujuan tersebut jangan sampai mengabaikan kepentingan nasional, dimana kepentingan nasional dalam hal ini adalah kepentingan masyarakat, yang diartikan luas sebagai orang-orang yang hidup di Indonesia, keadilan antar generasi, serta termasuk perlindungan lingkungan hidup. Dalam hal ini, tujuan kepentingan nasional tersebut adalah tujuan dari pengawasan ketenaganukliran.
2. Kompleksitas permasalahan berusaha di Indonesia terletak pada begitu banyak faktor terkait yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan bahkan sejak belum dimulainya kegiatan usaha. Di antara faktor-faktor tersebut seringkali ditemukan dalam pelaksanaannya terdapat perbedaan yang sangat tajam, antara satu peraturan perundang-undangan dengan peraturan perundang-undangan yang lain. Hal ini memberikan kesan terjadinya kondisi tumpang tindih dan tidak harmonisnya regulasi di Indonesia. Kompleksitas tersebut di antaranya berhubungan dengan perbedaan pemahaman atas nilai dan norma yang dianut oleh regulator masing-masing sektor terkait. Perbedaan nilai dan norma mempengaruhi penilaian terhadap ketentuan-ketentuan dan persyaratan untuk kegiatan yang sejenis. Untuk itu diperlukan suatu terobosan hukum oleh BAPETEN sebagai “Panglima” ketenaganukliran, dalam memberikan arahan infrastruktur hukum pengawasan ketenaganukliran
3. Dualisme politik hukum pasca berlakunya UU Cipta Kerja adalah tantangan bagi BAPETEN untuk tetap melakukan pengawasan ketenaganukliran yang optimal, dengan juga mengedepankan paradigma kemudahan berusaha yang digaungkan dalam UU Cipta Kerja. Diadopsinya konsep penyederhanaan perizinan dalam UU Cipta Kerja, harus dapat diadopsi oleh BAPETEN, sehingga kegiatan pengawasan juga diharapkan dapat lebih efisien.

REFERENSI

- [1] Aturan di RI Ribet, Investor Bak Masuk Hutan Belantara <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190926115917-4-102381/aturan-di-ri-ribet-investor-bak-masuk-hutan-belantara> diakses pada 31 Mei 2022.
- [2] Republik Indonesia, Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja, Lembaran Negara Tahun 2020 Nomor 245, Tambahan Lembaran Negara Nomor 6573.
- [3] Agus Suntoro, Implementasi Pencapaian Secara Progresif Dalam Omnibus Law Cipta Kerja, Jurnal HAM, Vol. 12, No.1 (2021).
- [4] Mohamad Mova Al Afghani dan Bisariyadi, Konsep Regulasi Berbasis Risiko: Telaah Kritis dalam Penerapannya pada Undang-Undang Cipta Kerja, Jurnal Konstitusi, Vol. 18, No. 1 (2021), hlm. 66-90.
- [5] Republik Indonesia, Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Lembaran Negara Tahun 1997 Nomor 23, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3676.

- [6] Imam Syaukani dan A. Ahsin Thohari, *Dasar-dasar Politik Hukum*, (Jakarta: Raja Grafindo Persada, 1999), hlm. 19.
- [7] Padmo Wahyono, *Indonesia Negara Berdasarkan atas Hukum*, Cetakan Kedua, (Jakarta:Ghalia Indonesia, 1986), hlm. 160.
- [8] Soedarto, *Hukum dan Hukum Pidana*, (Bandung: Alumni, 1986), hlm. 151.
- [9] Moh. Mahfud MD, *Politik Hukum di Indonesia*, (Jakara: Raja Grafindo Persada, 2009), hlm. 2.
- [10] Satjipto Rahardjo, *Ilmu Hukum*, Cetakan Ketiga, (Bandung: Citra Aditya Bakti, 1991), hlm. 352.
- [11] Abdul Hakim Garuda Nusantara, *Politik Hukum Nasional*, Makalah pada Karya Latihan Bantuan Hukum YLBHI dan LBH Surabaya (September, 1985).
- [12] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko*, Lembaran Negara Tahun 2021 Nomor 15, Tambahan Lembaran Negara Nomor 6617.
- [13] Julia Black dan Robert Baldwin, *Really Responsive Risk-Based Regulation*, *Law & Policy Journal*, Vol. 32, (2010), hlm.181.
- [14] John Rawls, *A Theory of Justice*, Revised Edition, (Massachussets: The Belknap Press of Harvard University Press Cambridge: 1999), hlm. 3.
- [15] Pan Mohamad Faiz, *Teori Keadilan John Rawls (John Rawl's Theory of Justice)*, *Jurnal Konstitusi*, Vol. 6, No. 15 (2009).
- [16] Donni Taufiq, *Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir Dan Radiasi*, *Seminar Keselamatan Nuklir* (2017).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



URGENSI PENYUSUNAN RENCANA INDUK PENGEMBANGAN STANDAR KOMPETENSI KERJA NASIONAL INDONESIA SEKTOR KETENAGANUKLIRAN

I Made Ardana^{1, a)}, Aris Sanyoto¹, Vatimah Zahrawati¹, Daniel Rawinala Meiga¹

¹Badan Pengawas Tenaga Nuklir

^{a)}i.madeardana@bapeten.go.id

Abstrak. Setiap petugas yang bekerja pada bidang pemanfaatan tenaga nuklir disyaratkan memiliki sikap, pengetahuan, dan keahlian yang disebut dengan kompetensi. Petugas tertentu yang kompeten ditunjukkan dengan adanya sertifikat kompetensi. Sertifikat kompetensi tersebut dapat diperoleh setelah seseorang mengikuti pelatihan dan lulus ujian berdasarkan standar kompetensi tertentu, salah satunya adalah Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI). Saat ini, dalam bidang ketenaganukliran belum terdapat SKKNI untuk menstandarisasi kompetensi personil yang bekerja dalam bidang ketenaganukliran. Untuk itu diperlukan adanya penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran. Mengingat luasnya bidang usaha pada sektor ketenaganukliran, maka penyusunan SKKNI sektor ini hendaknya diawali dengan penyusunan Rencana Induk Pengembangan (RIP) SKKNI. RIP SKKNI sektor ketenaganukliran merupakan rumusan perencanaan dan pengembangan SKKNI sektor ketenaganukliran yang dapat digunakan sebagai panduan dalam pengembangan SDM ketenaganukliran. RIP SKKNI sektor ketenaganukliran memuat tentang identifikasi bidang usaha sektor ketenaganukliran, pemetaan kompetensi, dan peta jalan penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran.

Kata Kunci: Standar Kompetensi, SKKNI, Rencana Induk Pengembangan SKKNI, Peta Jalan

Abstract. Every officer who operates a nuclear reactor and certain officers in other nuclear installations are required to have knowledge, skills, abilities, and behaviors called competencies. Certain competent officers are indicated by the existence of a competency certificate. The competency certificate can be obtained after a person has attended training and passed an exam based on certain competency standards, one of which is the Indonesian National Work Competency Standard (SKKNI). Currently, in the nuclear area, there is no SKKNI to standardize the competence of personnel working in the nuclear area. For this reason, it is necessary to prepare the SKKNI for the nuclear sector. Given the breadth of business in the nuclear sector, the preparation of the SKKNI for this sector should begin with the preparation of the master plan for development (RIP) of the SKKNI. The RIP SKKNI is a document for the SKKNI development plan that can be used as a basis and reference for competency-based human resources development. The RIP SKKNI contains the identification of business fields in the nuclear sector, competency mapping, and a roadmap for the preparation of the SKKNI for the nuclear sector.

Keywords: Competency Standards, SKKNI, Master Plan for SKKNI Development, Road Map

PENDAHULUAN

Penggunaan tenaga nuklir di Indonesia semakin tahun jumlahnya semakin meningkat baik dibidang industri, penelitian maupun kesehatan. Selain memiliki manfaat yang cukup besar, pemanfaatan tenaga nuklir juga berpotensi menimbulkan risiko radiasi apabila tidak ditangani oleh petugas yang berkompeten. Untuk memastikan seluruh pemanfaatan tenaga nuklir tetap aman dan selamat, maka dibutuhkan personel pemanfaatan yang kompeten. Seluruh personel yang mengoperasikan peralatan yang memanfaatkan tenaga nuklir baik untuk reaktor nuklir maupun fasilitas pemanfaatan lainnya wajib memiliki izin. Hal tersebut tertuang dalam Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU 10 tahun 1997) khususnya pada pasal 19 ayat (1). Pada pasal tersebut juga diamanatkan terkait persyaratan untuk memperoleh izin bagi personil ketenaganukliran diatur oleh Badan Pengawas (Pemerintah Indonesia, 1997). Merujuk pada kedua ayat tersebut, saat ini izin untuk petugas sebagaimana dimaksud diberikan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) berdasarkan kompetensinya masing-masing.

Setiap petugas atau personel yang bekerja pada suatu fasilitas diharapkan memiliki pengetahuan, keahlian dan sikap kerja yang sesuai dengan kebutuhan fasilitas, termasuk petugas pada bidang ketenaganukliran (IRPA, 2016). Setiap petugas tertentu disyaratkan memiliki keterampilan dan keahlian khusus yang disebut dengan kompetensi. Petugas tertentu yang kompeten ditunjukkan dengan adanya sertifikat kompetensi. Sertifikat kompetensi tersebut dapat diperoleh setelah seseorang mengikuti pelatihan dan lulus ujian berdasarkan standar kompetensi tertentu, salah satunya adalah Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI). Saat ini, dalam bidang ketenaganukliran belum terdapat SKKNI untuk menstandarisasi kompetensi personil yang bekerja dalam bidang Ketenaganukliran. Kompetensi masing-masing petugas mengacu pada standar kompetensi yang tercantum dalam lampiran peraturan Kepala BAPETEN yang mengatur tentang surat izin bekerja atau standar kompetensi terkait yang tertelusur (Bapeten, 2016). Untuk itu, diperlukan adanya penyusunan SKKNI bagi petugas yang bekerja di bidang ketenaganukliran, baik itu petugas tertentu sebagai petugas proteksi radiasi maupun sebagai petugas keahlian.

SKKNI adalah suatu dokumen yang mendefinisikan sikap kerja, pengetahuan, dan keterampilan yang dibutuhkan oleh seorang personel untuk dapat menyelesaikan pekerjaannya sesuai dengan perannya masing-masing. Pengetahuan, pelatihan, dan pengalaman serta sikap kerja diakui sebagai hal utama untuk mencapai kompetensi di bidang pekerjaan apa pun (European Commission, 2010). Pengembangan SKKNI untuk suatu bidang usaha dapat berasal dari asosiasi profesi, masyarakat, lembaga pelatihan, lembaga sertifikasi profesi (LSP), pemerintah dan/atau pihak terkait lainnya (Kemenaker, 2016). Inisiasi pengembangan SKKNI tersebut disampaikan kepada instansi teknis sebagai pembina suatu bidang usaha sesuai dengan sektor atau lapangan usaha terkait. Untuk dapat memastikan SKKNI yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan di dunia kerja, penyusunannya dilakukan melalui konsultasi dengan dunia industri dan pihak-pihak terkait. SKKNI pada dasarnya digunakan dalam penyusunan kurikulum atau silabus pelatihan oleh lembaga pelatihan serta panduan dalam melakukan sertifikasi kompetensi oleh LSP. Pengembangan dan tata cara penyusunan SKKNI diamanatkan dalam peraturan perundang-undangan (PUU) terkait dengan ketenagakerjaan.

BAPETEN, sebagai lembaga teknis dibidang ketenaganukliran dapat menginisiasi usulan penyusunan SKKNI bidang ketenaganukliran. SKKNI sektor ketenaganukliran diharapkan dapat dijadikan acuan dalam penyiapan, pengembangan serta pembinaan Sumber Daya Manusia (SDM) sektor ketenaganukliran yang memiliki kompetensi yang sesuai dan berdaya saing melalui skema sertifikasi kompetensi yang seragam oleh seluruh pihak terkait. Mengingat luasnya bidang usaha pada sektor ketenaganukliran, maka penyusunan SKKNI sektor ini hendaknya diawali dengan penyusunan Rencana Induk Pengembangan (RIP) SKKNI. RIP SKKNI merupakan rumusan perencanaan dan pengembangan SKKNI yang dapat digunakan sebagai panduan dalam pengembangan SDM yang berkompeten (Kemendag, 2020). Selain untuk memastikan keseragaman kompetensi personel pada bidang usaha tertentu secara nasional, SKKNI juga merupakan salah satu sarana menstandarisasi kualitas kompetensi pekerja antar negara seperti antara Indonesia dengan negara lain melalui suatu kesepakatan yang dikenal sebagai *Mutual Recognition Agreement*.

POKOK BAHASAN

RIP SKKNI merupakan suatu dokumen yang berisi tentang perencanaan pengembangan SKKNI dalam periode waktu tertentu berdasarkan hasil pemetaan bidang usaha yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk dapat menyusun SKKNI, Kementerian/Lembaga (K/L) terkait membentuk Komite Standar SKKNI dengan masa kerja paling lama lima (5) tahun. Salah satu tugas Komite Standar adalah menyusun RIP SKKNI yang disusun berdasarkan rambu-rambu penyusunan RIP, yaitu (Kemenaker, 2016):

1. Disusun melingkupi seluruh bidang usaha yang menjadi tanggung jawab K/L pengusul.
2. Disusun berdasarkan hasil pemetaan kompetensi seluruh bidang usaha terkait;
3. Disusun menurut skala prioritas kebutuhan penyusunan SKKNI.
4. Disusun dalam periode waktu tiga sampai lima tahun.

Masa kerja Komite Standar SKKNI yang telah berakhir dapat dibentuk dan ditetapkan kembali sesuai dengan kebutuhannya.

RIP mengacu pada peta kompetensi yang disusun berdasarkan hasil dari identifikasi unit-unit kompetensi yang terdapat pada masing-masing bidang usaha. Pemetaan kompetensi dilakukan sesuai dengan hasil analisis fungsi produktif suatu bidang usaha tertentu. Mengingat luasnya lingkup bidang usaha pada suatu sektor, ketenaganukliran misalnya, maka pemetaan kompetensi oleh instansi teknis biasanya diawali dengan penyamaan persepsi yang kemudian dilanjutkan dengan penyusunan peta kompetensi.

Penyusunan peta kompetensi suatu bidang usaha selalu diawali dengan melakukan identifikasi fungsi-fungsi produktif pada bidang usaha tersebut. Identifikasi fungsi-fungsi produktif diawali dengan melakukan analisis *main purpose* atau tujuan utama, selanjutnya dilakukan analisis untuk masing-masing *key function* atau fungsi kunci, *main function* atau fungsi utama dan *basic function* atau dikenal juga sebagai fungsi dasarnya. Tahapan identifikasi fungsi-fungsi produktif memiliki tujuan untuk melakukan analisis terhadap masing-masing variable yang menjadi tujuan utama, fungsi kunci, fungsi utama dan fungsi dasar dari suatu bidang usaha tertentu.

Tujuan utama merupakan situasi dan kondisi yang menjadi target utama yang diharapkan dapat dicapai dari pembentukan suatu bidang usaha. Pada umumnya tujuan utama ini akan dijawabantahkan kedalam visi dan misi milik bidang usaha yang bersangkutan. Sedangkan fungsi kunci merupakan suatu fungsi produktif yang diturunkan untuk mencapai tujuan utama dibentuknya suatu sektor atau bidang usaha. Seluruh fungsi kunci yang

saling terkait dan saling mendukung apabila diterapkan dipastikan akan dapat mendukung tercapainya tujuan utama.

Fungsi utama merupakan fungsi produktif yang merupakan turunan-turunan atau penjabaran dari masing-masing fungsi kunci. Masing-masing fungsi kunci tersusun atas beberapa fungsi utama yang satu sama lain saling terhubung untuk memastikan terselenggaranya fungsi-fungsi kunci. Sedangkan fungsi dasar merupakan fungsi-fungsi turunan atau penjabaran dari masing-masing fungsi fungsi utama. Sebuah fungsi utama minimal tersusun atas dua buah fungsi dasar yang satu sama lain saling terhubung. Fungsi-fungsi dasar ini kemudian akan diidentifikasi sebagai unit-unit kompetensi yang didalamnya akan memuat aspek-aspek kompetensi seperti sikap kerja, pengetahuan, dan keterampilan (Kemenaker, 2016).

BAPETEN melalui Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif telah membentuk kelompok kerja untuk melakukan pemetaan kompetensi. Pemetaan kompetensi diawali dengan identifikasi bidang usaha pada sektor ketenaganukliran mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 5 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko khususnya yang terkait dengan sektor ketenaganukliran. Kelompok kerja pemetaan kompetensi ini diharapkan memiliki peran masing-masing sesuai dengan kompetensinya dalam melakukan penyusunan peta kompetensi SKKNI sektor ketenaganukliran. Hasil pemetaan kompetensi yang dilakukan akan digunakan dalam penyusunan RIP SKKNI sektor ketenaganukliran.

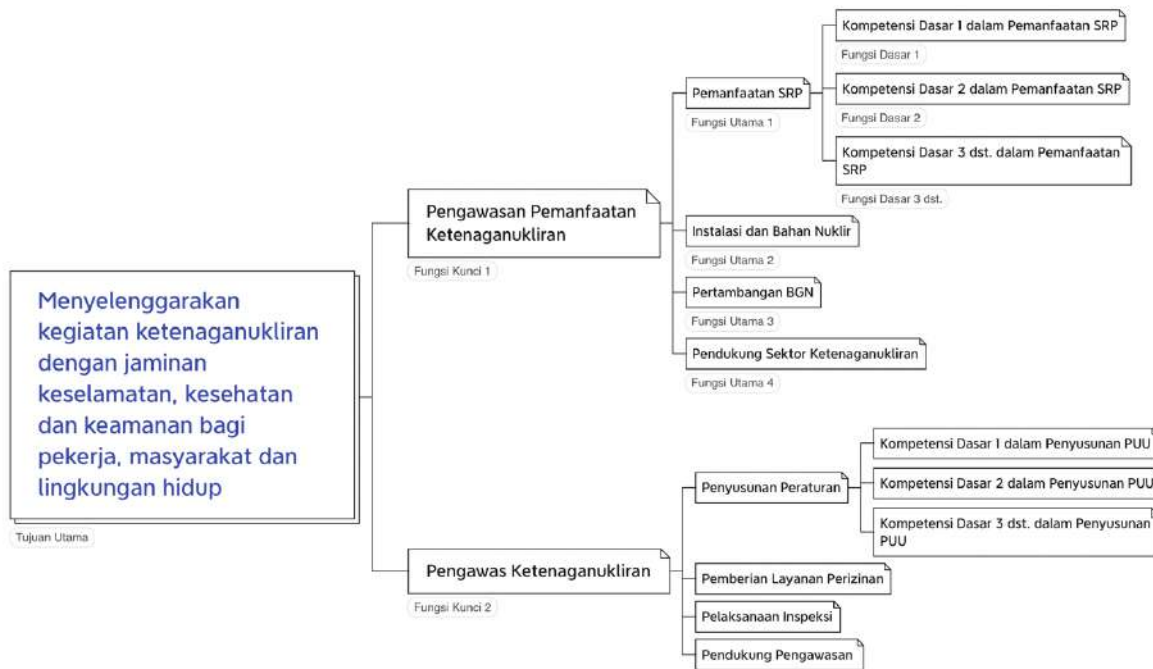
HASIL DAN PEMBAHASAN

RIP-SKKNI sektor ketenaganukliran direncanakan disusun melalui tahapan kegiatan review terhadap peta kompetensi untuk memastikan komprehensifitas lingkup bidang usaha serta ketepatan dalam pengkategorisasiannya. Selain itu, tahapan review ini juga bertujuan untuk menentukan skala prioritas masing-masing bidang usaha serta unit-unit kompetensi serta melakukan penyusunan tahapan dan peta jalan (*road map*) penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran untuk periode waktu lima tahun. Peta jalan penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran akan disusun berdasarkan skala prioritas bidang usaha yang telah diperoleh dari hasil pemetaan bidang usaha

Hal-hal yang telah dilakukan oleh kelompok kerja pemetaan kompetensi SKKNI sektor ketenaganukliran adalah menyusun peta kompetensi secara menyeluruh untuk masing-masing bidang usaha terkait sektor ketenaganukliran sebagaimana tercantum dalam PP 5 tahun 2021. Pemetaan kompetensi yang dilakukan telah disertai dengan tahapan identifikasi fungsi-fungsi produktif bidang usaha pada sektor ketenaganukliran. Identifikasi fungsi-fungsi produktif yang telah dilakukan dimulai dari identifikasi tujuan utama, analisis fungsi kunci, serta penjabaran fungsi utama dan fungsi dasar. Hasil identifikasi tujuan utama untuk sektor ketenaganukliran disesuaikan dengan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 103 tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Departemen khususnya pada Bagian Kesepuluh tentang Badan Pengawas Tenaga Nuklir, pada Pasal 28 yang menyebutkan bahwa BAPETEN dibentuk untuk melaksanakan tugas pemerintahan di bidang pengawasan tenaga nuklir. Pengawasan sebagaimana dimaksud dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam PUU yang berlaku. Tujuan utama dibentuknya BAPETEN adalah untuk memastikan pemanfaatan tenaga nuklir dapat berlangsung secara aman dan selamat baik bagi pekerja maupun masyarakat serta memberikan perlindungan terhadap lingkungan hidup.

Tujuan utama tersebut kemudian diturunkan ke dalam dua fungsi kunci. Masing-masing fungsi kunci yang disusun dipastikan saling terkait dan tersaling mendukung untuk dapat memenuhi tercapainya fungsi utama. Dua fungsi kunci yang disusun adalah melaksanakan pemanfaatan ketenaganukliran dengan jaminan keselamatan, kesehatan dan keamanan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup dan melaksanakan pengawasan pemanfaatan ketenaganukliran yang efektif untuk memastikan tercapainya keamanan dan keselamatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup.

Masing-masing fungsi kunci kemudian dijabarkan menjadi beberapa fungsi utama. Masing-masing fungsi utama saling terkait antara satu fungsi utama dengan fungsi-fungsi utama lainnya. Untuk fungsi kunci pemanfaatan tenaga nuklir diturunkan menjadi empat fungsi utama sesuai dengan subbidang pemanfaatan pada PP 5 tahun 2021 yaitu subbidang pemanfaatan sumber radiasi pengion, subbidang instalasi nuklir dan bahan nuklir, subbidang pertambangan galian nuklir dan subbidang pendukung sektor ketenaganukliran. Sedangkan untuk fungsi kunci melaksanakan pengawasan pemanfaatan dibedakan menjadi empat fungsi utama yaitu fungsi penyusunan peraturan, fungsi perizinan, fungsi inspeksi, dan fungsi pendukung pengawasan.



GAMBAR 1. Hierarki fungsi produktif bidang usaha sektor ketenaganukliran.

Masing-masing fungsi utama tersebut kemudian diturunkan menjadi beberapa fungsi dasar. Fungsi dasar yang merupakan jabaran lebih lanjut dari masing-masing fungsi utama disusun saling terkait satu sama lain dan dipastikan dapat menunjang tercapainya fungsi utama yang telah ditetapkan. Setiap fungsi utama paling kurang terdiri atas dua fungsi dasar yang saling mendukung satu sama lainnya. Fungsi-fungsi dasar ini selanjutnya diidentifikasi sebagai unit-unit kompetensi yang menjadi bagian utama dalam SKKNI. Unit-unit kompetensi ini selanjutnya dapat dijabarkan kedalam beberapa elemen kompetensi dengan masing-masing kriteria unjuk kerjanya. Unit-unit kompetensi disusun berdasarkan hasil identifikasi terhadap kebutuhan kompetensi masing-masing personel di tempat kerja. Selain itu, unit-unit kompetensi juga merupakan rumusan dari kebutuhan di tempat kerja yang meliputi aspek pengetahuan dan keterampilan serta sikap kerja dalam melakukan suatu pekerjaan, termasuk yang terkait dengan kemampuan komunikasi dan koordinasi, aspek manajerial, kemampuan literasi dan matematika dasar serta aspek keselamatan kerja. Gambar 1 menyajikan hasil identifikasi awal fungsi produktif bidang usaha sektor ketenaganukliran.

Pemetaan kompetensi sektor ketenaganukliran telah disusun mengacu pada Klasifikasi Baku Lapangan usaha Indonesia atau KBLI yang ditetapkan oleh Badan Pusat Statistik. Penyusunan dan pengembangan unit-unit kompetensi dalam peta kompetensi SKKNI sektor ketenaganukliran sedang disusun mengikuti tata cara penyusunan SKKNI yang telah ditetapkan oleh kementerian terkait. Hasil identifikasi awal menunjukkan luasnya lingkup bidang usaha yang terdapat pada sektor ketenaganukliran. Berdasarkan analisis yang dilakukan telah teridentifikasi lebih dari 40 jenis bidang usaha pemanfaatan pada sektor ketenaganukliran, belum termasuk bidang pengawasan ketenaganukliran yang perlu disusun SKKNI-nya.

Tahapan kegiatan yang direncanakan untuk dilakukan selanjutnya adalah menentukan bidang-bidang usaha prioritas yang akan disusun SKKNI serta unit-unit kompetensi. Pada dasarnya bidang-bidang usaha yang telah diidentifikasi penting untuk disusun standar kompetensinya dalam format SKKNI (Permendag, 2020). Akan tetapi, berdasarkan pertimbangan urgensi dan sumber daya, maka penyusunan SKKNI di sektor ketenaganukliran ini perlu dilakukan berdasarkan skala prioritasnya. Dalam menentukan skala prioritas penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran, akan mempertimbangkan beberapa hal, antara lain:

1. Bidang usaha yang berpotensi tinggi dapat menimbulkan bahaya keamanan dan keselamatan radiasi.
2. Bidang usaha yang tugasnya dipersyaratkan memiliki SIB dari BAPETEN.
3. Bidang usaha strategis yang diminati pemegang izin.

Selain menentukan bidang-bidang usaha prioritas sektor ketenaganukliran, sebelum melakukan penyusunan SKKNI juga perlu ditentukan tahapan penyusunan dan peta jalannya (*road map*). Peta jalan penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran dapat disusun untuk periode waktu lima tahun dengan mempertimbangkan skala prioritas penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran yang telah ditetapkan sebelumnya. Peta jalan penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran tersebut memuat tentang tujuan dan tahapan penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran yang hendaknya dapat dilakukan setiap tahun dalam periode lima tahun. Peta jalan yang akan disusun masih memungkinkan untuk disesuaikan dengan kebutuhan SKKNI pada tahun-tahun berjalan.

Untuk memastikan terwujudnya penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran, maka seluruh rencana penyusunannya dituliskan dalam suatu program penyusunan yang paling kurang memuat tentang pelaksana kegiatan seperti Unit Kerja atau Satuan Kerja pelaksana masing-masing kegiatan penyusunan SKKNI serta sumber pembiayaan setiap kegiatannya. Selain itu, program penyusunan ini juga disertai dengan target output

kegiatan dan ukuran realisasinya. Seluruh tahapan kegiatan dalam rencana penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran ini penting untuk disusun dan dilaksanakan. Untuk itu diperlukan adanya suatu dokumen RIP SKKNI sektor ketenaganukliran yang memuat seluruh tahapan kegiatan tersebut baik dari penyusunan peta kompetensi, penentuan bidang usaha prioritas, peta jalan penyusunan, dan penentuan pelaksana kegiatan serta sumber pembiayaannya. RIP SKKNI sektor ketenaganukliran ini urgen untuk disusun sebagai pedoman penting dalam penyusunan dan pengembangan SKKNI sektor ketenaganukliran guna mewujudkan SDM ketenaganukliran yang andal dan kompeten.

KESIMPULAN

Telah dilakukan identifikasi bidang usaha pada sektor ketenaganukliran. Hasil identifikasi awal menunjukkan bahwa lingkup bidang usaha pemanfaatan ketenaganukliran sangat luas mencapai lebih dari 40 jenis bidang usaha. Masing-masing bidang usaha tersebut membutuhkan SKKNI masing-masing untuk memastikan setiap personel yang bekerja pada masing-masing bidang usaha tersebut memiliki acuan dalam pemenuhan kompetensinya termasuk SKKNI untuk bidang pengawasan pemanfaatan ketenaganukliran. Penyusunan SKKNI pada sektor ketenaganukliran penting untuk dilakukan sebagai panduan dalam penyiapan, pembinaan, dan pengembangan SDM sektor ketenaganukliran yang memiliki kompetensi yang sesuai dan berdaya saing melalui skema sertifikasi kompetensi yang seragam oleh seluruh pihak terkait baik itu lembaga pelatihan maupun LSP.

Mengingat luasnya bidang usaha pemanfaatan pada sektor ketenaganukliran, termasuk didalamnya adalah kebutuhan SKKNI pada bidang pengawasan, maka diperlukan adanya RIP SKKNI sektor ketenaganukliran sebagai dasar dan acuan dalam penyiapan dan pengembangan SDM berbasis kompetensi pada sektor ketenaganukliran. RIP SKKNI sektor ketenaganukliran yang akan disusun juga diharapkan akan dapat memberikan arah kebijakan dan pedoman pengembangan SKKNI sektor ketenaganukliran pada periode waktu lima tahun sesuai dengan skala prioritasnya. Dengan tersedianya RIP maka penyusunan SKKNI sektor ketenaganukliran akan dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang terkait dalam penyusunan tulisan ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada Plt. Direktur Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN atas kesempatannya bagi penulis untuk berpartisipasi dalam Seminar Keselamatan Nuklir Tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Pasal 19.
- [2] International Radiation Protection Association, Guidance on Certification of a Radiation Protection Expert, 2016.
- [3] BAPETEN, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 16 tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu yang Bekerja di Instalasi yang Memanfaatkan Sumber radiasi Pengion.
- [4] European Commission, Report on Requirements for RPO Competencies, 2010.
- [5] Kemenaker, Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 2 Tahun 2016 tentang Sistem Standarisasi Kompetensi Kerja Nasional.
- [6] Kemenaker, Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 3 Tahun 2016 tentang Tata Cara Penetapan SKKNI.
- [7] Kemendag, Peraturan Menteri Perdagangan Republik Indonesia Nomor 52 Tahun 2020 tentang Rencana Induk Pengembangan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Sektor Perdagangan.

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

1. Untuk kompetensi jalur SKKNI banyak terbatas kerjanya hanya di indonesia, kalau kerja di luar negeri harus ada kerjasama dulu. Bisakah kedepan kompetensi kerja bisa bersaing dengan luar negeri?
2. Perlu adanya sinkronisasi dengan lembaga sertifikasi person dari KAN yang juga mengeluarkan sertifikat keahlian yang bisa bekerja di dalam dan luar negeri tanpa MOU ke negara tersebut,
3. Alur membuat SKKNI cukup panjang dan perlu keterlibatan banyak orang serta butuh anggaran cukup besar, bagaimana cara mengatasi hal tersebut?

Jawaban

1. Saat ini memang salah satu cara untuk memastikan kompetensi kerja dapat diterima di negara lain adalah melalui kerjasama saling pengakuan dengan negara lain melalui mekanisme Multilateral Recognition Agreements atau Mutual Recognition Arrangements .

2. KAN melakukan akreditasi terhadap LSP yang telah berlisensi BNSP. Dengan mendapatkan akreditasi oleh KAN, LSP juga mendapatkan pengakuan dunia bahwa proses sertifikasi profesi yang dilakukannya telah sesuai dengan standar ISO/IEC 17024 dan kompetensi personnya diakui oleh negara-negara peserta MLA atau MRA.
3. Penyusunan SKKNI dilakukan secara bertahap. Bidang usaha yang diprioritaskan adalah bidang usaha yang beberapa petugasnya (selain PPR) membutuhkan izin bekerja dari BAPETEN.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



TINJAUAN KESELAMATAN RADIASI PADA PEMANFAATAN FLUOROSKOPI BAGASI DI PELABUHAN

Sri Mulyati¹, Rini Indrati², Rasyid³, Jeffri Ardiyanto⁴, Luthfi Rusyadi⁵

^{1,2,3,4,5}Poltekkes Kemenkes Semarang

e-mail: srimulyati@poltekkes-smg.ac.id

ABSTRAK. Pelabuhan adalah salah satu fasilitas umum yang memanfaatkan pelayanan menggunakan fluoroskopi bagasi. Salah satu rangkaian untuk memastikan jaminan keamanan dan keselamatan kerja (K-3) bagi petugas dan masyarakat umum (penumpang) yaitu adanya pemanfaatan fluoroskopi bagasi yang dimanfaatkan pada terminal penumpang yang menggunakan radiasi pengion. Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui keamanan dari penggunaan radiasi pengion pada penggunaan fluoroskopi bagasi baik bagi petugas maupun masyarakat umum (penumpang) yang memenuhi standar dari nasional dan internasional. Metode Penelitian dalam penelitian ini adalah survey observasional dengan melakukan prosedur pengukuran paparan radiasi pada fluoroskopi bagasi yang dimiliki oleh Pelabuhan. Pengukuran paparan radiasi menggunakan prosedur yang berlaku yaitu dengan menggunakan alat ukur radiasi yang terkalibrasi. Dalam pengukuran radiasi sekunder menggunakan surveymeter Babyline yang terdeteksi baik bagi penumpang maupun pekerja radiasi di sekitar fluoroskopi bagasi dinyatakan aman karena laju paparan radiasi yang terdeteksi adalah dibawah 1 $\mu\text{Sv/h}$ berdasar standar alat Rapiscan 628 XR Single View (FDA internasional) dan 10 $\mu\text{Sv/h}$ berdasar PP No 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup, Keamanan Sumber Radioaktif, dan inspeksi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir (nasional)

Kata Kunci : Keselamatan Radiasi, fluoroskopi bagasi, Surveymeter, Pelabuhan

ABSTRACT. The Port is one of the general facility used services with fluoroscopy baggage. Whole of ensure occupational health and safety for officers and the general public (passengers) on the utilization of baggage fluoroscopy that is utilized at the Port passenger terminal due to using ionizing radiation. The goal to be achieved is to determine the safety of the use of ionizing radiation on the use of baggage fluoroscopy for both officers and the general public (passengers) that meet the standards of Bapeten (national) and international. The research method in this study was an observational survey by performing radiation exposure measurement procedures at the baggage fluoroscopy owned by the Port. Radiation exposure measurements use the applicable procedure, namely by using a calibrated radiation measuring device (Surveymeter Ram Ion and Babyline). In the measurement of secondary radiation using the Babyline survey, which was detected both for passengers and radiation workers around the baggage fluoroscopy, it was declared safe because the radiation exposure rate detected was below 1 $\mu\text{Sv/h}$ (international standards FDA) and 10 $\mu\text{Sv/h}$ conducted by PP No.33 Tahun 2007 (national standards).

Keywords: Radiation Safety Standards, Baggage Fluoroscopy, Surveymeter, Port

PENDAHULUAN

Kesehatan dan Keselamatan Kerja di tempat kerja merupakan salah satu aspek penting yang perlu mendapatkan perhatian serius, karena apabila hal tersebut diabaikan maka kecelakaan yang dialami oleh para pekerja akan berakibat pada turunnya kualitas kerja yang dilakukan oleh para pekerja itu sendiri, sehingga segala bentuk kegiatan yang dilakukan akan mengalami gangguan seperti tenaga kerja yang diperlukan berkurang. Dengan berkurangnya tenaga kerja, maka akan mempengaruhi kualitas pelayanan. Pelayanan transportasi di pelabuhan laut menggunakan alat yang disebut fluoroskopi bagasi. Hal ini bertujuan untuk mendeteksi barang-barang bawaan calon penumpang di pelabuhan dari hal-hal yang membahayakan.

Belum ada sosialisasi di pelabuhan terkait penggunaan fluoroskopi bagasi, terutama terkait pekerja radiasi yang mengoperasikan fluoroskopi bagasi dan bahaya radiasi yang ditimbulkan serta regulasi yang mengatur keamanan fluoroskopi bagasi di pelabuhan. Penggunaan fluoroskopi bagasi ini melibatkan manajemen

pengelola pelabuhan, operator fluoroskopi bagasi, penumpang dan masyarakat umum yang ada di sekitar alat. Pemanfaatannya di pelabuhan juga harus memenuhi standar pemanfaatan radiasi pengion bagi pekerja maupun penumpang serta masyarakat umum yang berada di sekitar alat fluoroskopi bagasi. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat semua pihak dapat bekerja secara aman sesuai regulasi yang berlaku dalam pelayanan fluoroskopi bagasi di pelabuhan.

LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

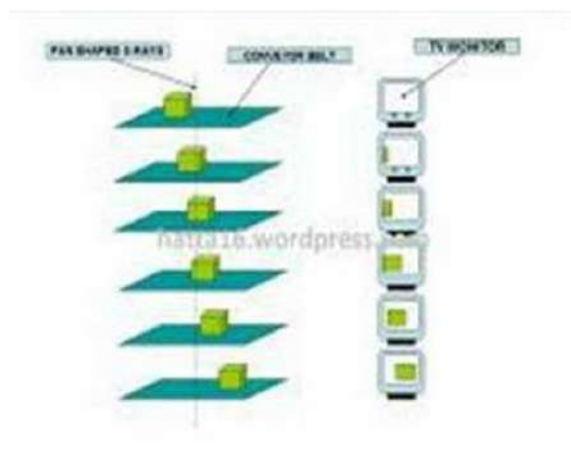
Fluoroskopi bagasi menurut BAPETEN 2017 adalah alat yang memanfaatkan radiasi pengion, banyak digunakan untuk pengembangan (LPNK terkait (BATAN, LIPI, BPPT) dan Perguruan Tinggi), produksi (industri/perusahaan dalam negeri), pengguna hotel/ bandara/ gedung/ pelabuhan/ istana negara, gedung pemerintahan, dan fasilitas penting lainnya (untuk scanner). Berdasarkan analisis kebutuhan : jumlah pelabuhan laut (Permenhub 9/2008): 172 (utama), jumlah pelabuhan udara (Permenhub 69/2013) : 237, kebutuhan fluoroskopi bagasi 288 buah (untuk kendaraan) + 149 buah (pedestrian), telah terpasang 6 buah (Tanjung Priok, Tanjung Perak, Batu Ampar, Belawan, Bitung, Makassar, dan rencana Tanjung Emas pada tahun 2017. Pemanfaatan sumber radiasi seharusnya dalam pengawasan

BAPETEN. UU No 10 tahun 1997 : BAPETEN bertugas untuk melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan nuklir. Tiga pilar pengawasan meliputi : penyusunan regulasi, penerbitan izin (lisensi), dan pelaksanaan inspeksi. Didukung oleh fungsi : pengkajian keselamatan nuklir, serta fungsi tambahan (kesiap siagaan nuklir, pendidikan dan pelatihan, dan pengembangan TIK). Hal itu sejalan dengan Visi, Misi dan tujuan BAPETEN. Tujuan BAPETEN adalah untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup dari potensi bahaya nuklir/radiasi. Roadmap revisi UU No 10/1997 melibatkan berbagai komponen antara lain Kementerian, LPNK, Perguruan Tinggi, dan stakeholder terkait revisi UU No. 10 tahun 1997. Tahun 2017 masih dibahas dengan DPR.

Peralatan fluoroskopi bagasi merupakan peralatan detektor yang digunakan untuk mendeteksi secara visual semua barang bawaan calon penumpang pesawat udara yang dapat membahayakan keselamatan penerbangan dengan cepat tanpa membuka kemasan barang tersebut.

Prinsip dasar pada peralatan fluoroskopi bagasi:

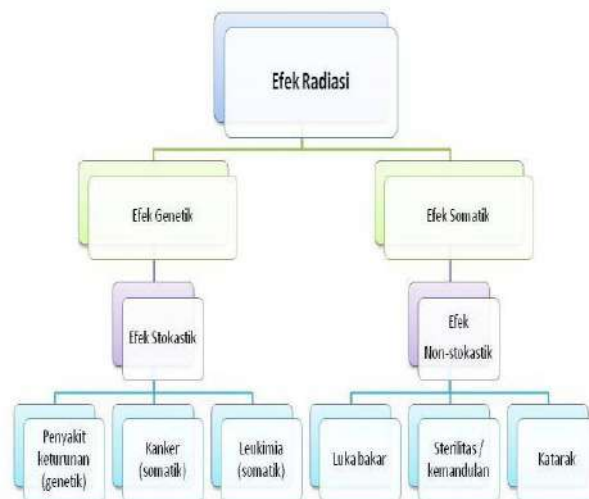
- Barang yang akan diperiksa masuk ke dalam terowongan (tunnel) sistem pemeriksaan melalui ban berjalan (conveyor belt).
- Barang-barang yang akan diperiksa akan dideteksi oleh sejumlah light barrier pada saat barang tersebut masuk ke dalam terowongan.
- Sensor mendeteksi adanya barang masuk, kemudian sensor akan mengirim signal ke unit pengontrol untuk mengaktifkan Sinar-X.
- Sinar-X akan menembus barang yang berada di ban berjalan (conveyor belt) sebagai bagian dari proses pemeriksaan.
- Barang yang akan diperiksa akan menyerap sinar yang dipancarkan oleh pembangkit (X-Ray generator).
- Sinar yang dipancarkan akan mengenai detektor-detektor yang ada pada dua sisi terowongan.
- Sinar yang berbentuk kipas akan menembus objek yang berada di atas ban berjalan (conveyor belt) sepotong demi sepotong dan signal gambar yang diterima oleh detektor-detektor kemudian akan dikumpulkan bagian per bagian dan akan membentuk sebuah pixel pada layar monitor.



GAMBAR 1. Proses Monitoring Fluoroskopi Bagasi (Troy, 2007)

Dalam pemanfaatan radiasi dapat menimbulkan efek radiasi bagi penumpang, pekerja radiasi dan masyarakat umum disekitarnya. Efek radiasi dalam hal ini yang memanfaatkan radiasi pengion dapat

menimbulkan efek genetik dan efek somatik. Atau juga dikenal dengan nama efek stokastik dan efek non stokastik. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



GAMBAR 2. Skema Efek Radiasi terhadap Manusia (Akhadi, 1997)

METODE

Metode riset ini dilakukan secara observasional (Qualitative research) dengan pengukuran paparan radiasi di sekitar sumber. Analisa data kualitatif dilakukan dari hasil pengukuran paparan radiasi di sekitar sumber dengan grafik isodosis (Kurva isodosis) yang memiliki paparan yang sama selanjutnya dilakukan analisis secara deskriptif berdasarkan regulasi yang berlaku.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fluoroskopi bagasi (fluoroskopi bagasi) yang dimiliki oleh pelabuhan adalah *X ray luggage scanner Rapiscan 628 XR single view* berjumlah 2 buah (1 dalam kondisi baik dan 1 rusak) yang di terminal domestik. Sedangkan pada terminal internasional ada 1 buah *X ray luggage scanner double view L3 ACX 6.3 MV* yang dimiliki oleh pihak bea cukai dan dioperasikan oleh staf bea cukai. Dalam penelitian ini yang dilakukan monitoring adalah fluoroskopi bagasi yang terpasang di terminal domestik yang bisa beroperasi.

Dari hasil observasi dan wawancara didapatkan data dan informasi bahwa penggunaan alat fluoroskopi bagasi sudah sejak 2017, namun belum memiliki izin operasional alat sehingga belum sesuai regulasi PP No 29 Tahun 2008 tentang perizinan pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir yang didalamnya termasuk penggunaan fluoroskopi bagasi. Pengoperasian fluoroskopi bagasi oleh operator yang dilatih dalam beberapa waktu oleh manajemen internal pelabuhan. Dalam pengoperasian alat fluoroskopi bagasi harus ada prosedur pengoperasian alat fluoroskopi bagasi belum ada. Belum ada monitoring dan pencatatan dosis bagi pekerja radiasi yang mengoperasikan fluoroskopi bagasi. Hal ini tidak sesuai dengan regulasi dengan PP No 33 Tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif.

Adapun hasil monitoring dan evaluasi dari alat fluoroskopi bagasi tersebut adalah sebagai berikut :

a. Pengukuran Radiasi Primer

Pengukuran paparan radiasi primer diukur dengan menggunakan alat ukur Ram Ion DIGX yang terkalibrasi. Prosedur Pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Alat ukur di ON-kan untuk laju paparan
2. Pengukuran dilakukan pada tiga daerah(dari sisi yang jauh generator (Kiri), Tengah, dan
3. Kanan dekat generator)
4. Masing-masing daerah dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali, selanjutnya dirata-rata
5. Dilakukan pengukuran radiasi latar
6. Selanjutnya untuk mendapatkan paparan nett : Radiasi terukur-radiasi latar
7. Selanjutnya hasil ukur dicatat hasilnya seperti tabel 1.

Tabel 1. Pengukuran Radiasi Primer dengan Ram Ion

No	Daerah yang diukur	Rerata(mSv/h)	Paparan Latar(mSv/h)	Paparan Radiasi Nett mSv/h
1	Kiri	4.87	0.00153	4.868
2	Tengah	7.63	0.00153	7.628
3	Kanan	8.90	0.00153	8.898

Pada paparan radiasi primer tersebut adalah kondisi fluoroskopi bagasi dengan 150 kV, 1 mA dan s yang diperoleh dari kecepatan *conveyor belt* 0.2m/s dibagi dengan panjang lintasan *conveyor belt* 2 m maka waktunya adalah 10 sekon. Dengan demikian, kondisi operasional pesawat adalah 150 kV, 1 mA, dan 10 s. Dalam paparan radiasi primer didapatkan paparan terbesar adalah yang paling kanan dari sisi *entrance* penumpang daerah dekat dengan generator yang diasumsikan sebagai sisi anoda. Sedangkan bagian tengah menempati urutan kedua, dan ketiga adalah sisi kiri yang jauh (sisi katoda).

Selain itu komponen internal ketika dibuka dari generator didalamnya ada semacam *shielding* bentuk dari tube konus menyerupai segitiga siku-siku. Sisi terbesar paparan radiasi mendapatkan paparan besar, yang tengah berkurang karena pengaruh jarak *shielding* pada pertengahan sisi miring, dan paling rendah *shielding* pada akhir sisi miring (katoda).

b. Pengukuran Radiasi Sekunder

Pengukuran radiasi sekunder pada awalnya dilakukan dengan Ram Ion, tetapi tidak terdeteksi sehingga menunjukkan hasil 0. Selanjutnya, diukur dengan alat ukur lain yaitu surveymeter Babyline 81 Canberra yang terkalibrasi.

Pada pengujian radiasi sekunder ini harus diamati dengan seksama, karena hasil akan muncul dan segera hilang. Dilakukan pengukuran sesuai prosedur operasional alat, dan teknik pengukurannya dilakukan dengan teknik sebaran distribusi paparan yang berbentuk lingkaran dari sudut 0° sampai dengan 360° dari sumber (source) dengan jarak 1 m. Rentang sudut adalah kelipatan 30°, sehingga ada 12 titik yang diukur masing-masing dilakukan tiga kali pengukuran.

Selanjutnya diukur radiasi latar (background) yang terukur dalam skala $\times 10 \mu\text{Sv/h}$ (aktual measure) tanpa ada faktor koreksi. Fk dimulai dari skala $\times 100 \mu\text{Sv/h}$ (fk 1,05) dan skala $\times 1000 \mu\text{Sv/h}$ (fk 0,95). Hasil pengukuran yang diperoleh dirata-rata dan selanjutnya dikurangi dengan radiasi latar seperti tabel 2.

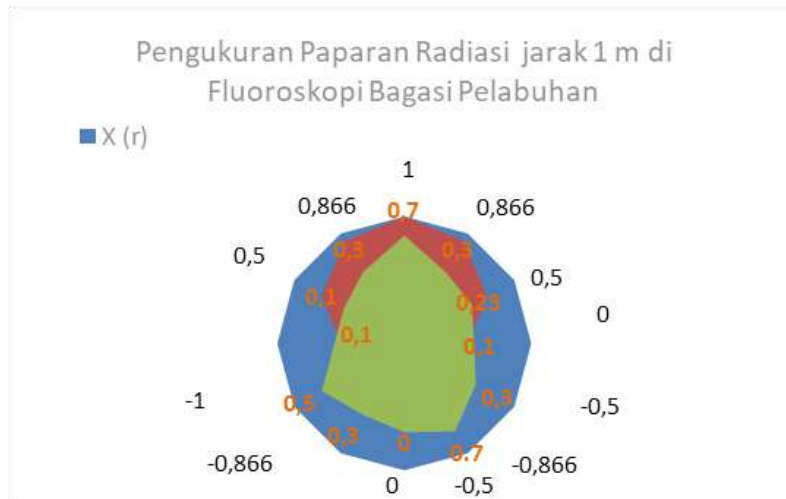
Tabel 2. Pengukuran paparan radiasi pada fluoroskopi bagasi dengan jarak 1 m

No	θ	$\text{Cos } \theta$	X (r)	Y (rcos θ)	Z ($\mu\text{Sv/h}$)
1	0	1	1	1	0.7
2	30	0.866	1	0.866	0.3
3	60	0.5	1	0.5	0.23
4	90	0	1	0	0.1
5	120	-0.5	1	-0.5	0.1
6	150	-0.866	1	-0.866	0.3
7	180	-1	1	-1	0.1
8	210	-0.866	1	-0.866	0.03
9	240	-0.5	1	-0.5	0
10	270	0	1	0	0.1
11	300	0.5	1	0.5	0.1
12	330	0.866	1	0.866	0.3

Sebaran distribusi dosis dari fluoroskopi bagasi di Pelabuhan dari titik 0° dengan kelipatan 30° mengalami variasi paparan dari 0-90° cenderung mengalami penurunan hal ini dikarenakan konstruksi konus dari generator sumber sinar-X. Dari sudut 90°-180° cenderung naik dari 0.1; 0.3; dan 0.6 dan pada titik 180° sebesar 0.1.

Penurunan 0.1 ini dikarenakan pada jarak yang sama yaitu 1 m yang merupakan jarak sumber mengalami penurunan dikarenakan ada *shielding* yang berbentuk konus yang ada pada konstruksi fluoroskopi bagasi bagian *internal*. Jadi besarnya paparan radiasi pada fluoroskopi bagasi di terminal penumpang Pelabuhan ini selain dipengaruhi oleh konstruksi *internal* fluoroskopi bagasi dan model dari *shielding* kolimasi yang berbentuk seperti segitiga siku-siku.

Sedangkan titik *source* kami ambil dari penampakan generator fluoroskopi bagasi yang ada. Sedangkan yang kami tetapkan di titik 0° merupakan paparan terbesar sebesar 0.7 dikarenakan bagian tersebut berbatasan langsung dengan lapisan fluoroskopi bagasi dan udara luar jadi hanya logam pembungkus fluoroskopi bagasi yang tidak terkolimasi seperti bagian sisi titik 180°. Bagian 0° ke arah titik 180° adalah titik terkolimasi begitu pula dari titik 180° sampai dengan 330°. Baru kembali ke titik 0° ato 360° yang konstruksinya sedikit berbeda karena bukan *double shielding*. Selain itu, dapat kita lihat dari kurva isodosis gambar 3 dibawah ini.



GAMBAR 3. Kurva Isodosis pada Paparan Radiasi Jarak 1m fluoroskopi bagasi di Pelabuhan

Kurva isodosis yang pada gambar daerah hijau adalah paparan radiasi dari rentang 0.1-0.7μSv/h. Distribusi paparannya di beberapa titik dengan metode pengukuran berbentuk lingkaran pada titik 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300°, dan 330° dari 12 titik tersebut mengalami fluktuasi besarnya paparan radiasi dikarenakan bentuk dari kolimasi konus cenderung berbentuk segitiga siku-siku.

Yang diatur dari generator yang terlihat dengan pengukuran pada jarak 1m ke segala arah. Bagian terbesar paparannya adalah pada titik 0° sebesar 0.7 μSv/h dan titik terkecil pada titik 0 μSv/h pada titik 240° diasumsikan titik tersebut adalah titik *shielding* paling tebal karena selain dipengaruhi jarak pengukuran 1 m sama ke semua titik namun konstruksi dari *shielding* kolimasi berkontribusi pada ketebalan dan nomor atom *shielding* sehingga memiliki paparan radiasi yang paling kecil.

Dari grafik isodosis tergambar daerah hijau dari 0.1 -0.7 μSv/h. Sedangkan pada grafik merah adalah daerah koordinat polar sesuai tabel 1 yang memiliki 12 titik sesuai dengan jarak dan besarnya cosinus masing-masing titik pengukuran. Sedangkan pada daerah biru adalah daerah lingkaran yang dilakukan pengukuran paparan radiasi dari 0-330°.

Pada tabel 3 seperti dibawah ini pengukuran distribusi paparan radiasi pada jarak 2 m semakin kecil jika dibandingkan pada pengukuran paparan radiasi jarak 1 m. Seperti yang terlihat pada tabel 3. Pada tabel 3 terlihat distribusi dosis sebesar 0μSv/h pada titik 0°,30°, 60°,90°,120°, 270°, 300° dan 330°. Sedangkan pada titik 150° dan 180°, 240° sebesar 01μSv/h dan titik 210° sebesar 0.03μSv/h. Titik 150°, 180°, 210°, dan 240 °merupakan daerah transisi penurunan *cut off* bentuk segitiga dari konus kolimasi internal fluoroskopi bagasi yang diukur pada metode lingkaran ini.

Tabel 3. Pengukuran paparan radiasi pada fluoroskopi bagasi dengan jarak 2 m

No	θ	Cos θ	X (r)	Y (rcosθ)	Z (μSv/h)
1	0	1	2	2	0
2	30	0.866	2	1.732	0
3	60	0.5	2	1	0
4	90	0	2	0	0
5	120	-0.5	2	-1	0
6	150	-0.866	2	-1.732	0.1
7	180	-1	2	-2	0.1
8	210	-0.866	2	-1.732	0.03
9	240	-0.5	2	-1	0.1
10	270	0	2	0	0
11	300	0.5	2	1	0
12	330	0.866	2	1.732	0

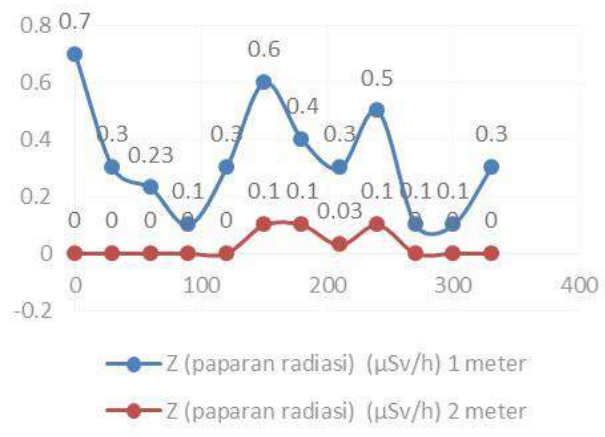
Jika dilihat pada gambar 4 pengukuran paparan radiasi pada fluoroskopi bagasi di Terminal penumpang pelabuhan pada jarak 2 m diperoleh kurva isodosis seperti yang terlihat pada warna hijau. Sedangkan pola dari koordinat polar membentuk lingkaran penuh seperti pola titik sudut yang diukur. Pola distribusi paparan pada jarak 2 m ini menghasilkan paparan radiasi sebesar 0-0.01 μSv/h.



GAMBAR 4. Kurva Isodosis pada pengukuran Paparan Radiasi Jarak 2 m fluoroskopi bagasi di Pelabuhan

Sedangkan pengukuran paparan radiasi setinggi organ sensitif yang diukur saat pekerja atau penumpang yang melintasi fluoroskopi bagasi di bagian central atau titik tengah arah *source*. Ada beberapa daerah yang diukur yaitu pada mata, thyroid, dan gonad. Pada masing-masing organ diperoleh besarnya paparan radiasi pada mata sebesar $0.3\mu\text{Sv/h}$, pada thyroid sebesar $0.53\mu\text{Sv/h}$ dan pada gonad sebesar $0.44\mu\text{Sv/h}$.

Sedangkan dari pengukuran distribusi paparan yang diukur pada titik-titik petugas pelabuhan berada atau bekerja yaitu pada meja operator fluoroskopi bagasi didapatkan besaran paparan radiasi sebesar $0.31\mu\text{Sv/h}$. Sedangkan pada titik pekerja *stand by* didapatkan paparan radiasi sebesar $0.07\mu\text{Sv/h}$. Dan pada daerah pekerja yang cek tiket didapatkan paparan radiasi sebesar $0.01\mu\text{Sv/h}$.



GAMBAR 5. Grafik distribusi paparan radiasi fluoroskopi bagasi di Pelabuhan pada jarak 1 dan 2 m

Pada gambar 5 diatas didapatkan distribusi paparan radiasi pada fluoroskopi bagasi di Pelabuhan seperti yang terlihat pada grafik. Pada jarak 1m didapatkan rentang paparan radiasi dari 0.1 sampai dengan $0.7\mu\text{Sv/h}$. Sedangkan pada jarak 2 meter didapatkan distribusi paparan radiasi sebesar 0 sampai dengan $0.1\mu\text{Sv/h}$. Paparan radiasi latar (background adalah sebesar $0.1\mu\text{Sv/h}$). Jadi, pada jarak 2 m didapatkan besar paparan radiasi yang sudah sama dengan radiasi latar (background). Semakin besar jarak, semakin kecil paparan radiasinya.

Dari gambar 5 menunjukkan grafik persebaran paparan radiasi sekunder di sekitar fluoroskopi bagasi yang beroperasi sudah aman berdasarkan regulasi nasional yaitu Perka Bapeten No 01/Ka- Bapeten/99. Sedangkan menurut tabel 3 jika teknik pengukuran sebarannya berbentuk lingkaran yang kita ukur searah jarum jam yang dimulai dari 0° sampai 330° . Secara umum jarak mempengaruhi besarnya paparan radiasi. Pada jarak 2 m didapatkan besarnya distribusi paparan radiasi yang lebih kecil dibandingkan pada distribusi paparan radiasi pada jarak 1m. Baik distribusi paparan radiasi jarak 1 dan 2 m dibawah standar internasional (FDA USA yang diacu oleh alat Rapiscan 628XR) sebesar $1\mu\text{Sv/h}$. Sedangkan jika dibandingkan dengan standar nasional bagi pekerja dari Perka Bapeten No 01/Ka- Bapeten/-99 sebesar 20mSv/th dan beban kerja menurut menaker 2000jam/th maka diperoleh besarnya paparan maksimum $10\mu\text{Sv/h}$. Hal itu bisa dilihat pada kurva isodosis seperti gambar 3 dan 4.

Hasil monitoring dan evaluasi pada saat pengoperasian alat fluoroskopi bagasi di Pelabuhan ini masih *safety* berdasarkan standar internasional bawaan alat yaitu masih dibawah $1\mu\text{Sv/h}$. Sedangkan menurut standar nasional $10\mu\text{Sv/h}$. Hal ini berdasarkan pengukuran fluoroskopi bagasi dengan metode lingkaran dan dari kurva isodosis yang diukur pada daerah A memiliki rentang distribusi dosis sebesar $0-0.7\mu\text{Sv/h}$ pada jarak 1m. Sedangkan pada jarak 2 m distribusinya semakin kecil yaitu $0-0.1\mu\text{Sv/h}$. Jadi masih dibawah gold

standar alat fluoroskopi bagasi tersebut berdasar FDA USA sebesar $1\mu\text{Sv/h}$ dan berdasarkan gold standar nasional PP No. 33 tahun 2007 sebesar $10\mu\text{Sv/h}$.

Sedangkan berdasarkan organ sensitif yang dimiliki oleh manusia terutama pada pengukuran paparan radiasi pada daerah mata, thyroid dan gonad. Pada masing-masing organ diperoleh besarnya paparan radiasi pada mata sebesar $0.3\mu\text{Sv/h}$, pada thyroid sebesar $0.53\mu\text{Sv/h}$ dan pada gonad sebesar $0.44\mu\text{Sv/h}$. Hal ini masih dibawah standar yang berlaku baik nasional maupun internasional diatas. Yang menjadi penekanan adalah NBD dalam 1 tahun tidak melebihi 50 mSv/th . Ini belum bisa dilakukan karena disana belum dilakukan monitoring dan pencatatan dosis.

Menurut BAPETEN, 1997 pemanfaatan radiasi dapat menimbulkan efek negatif baik efek genetik (efek yang timbul pada keturunan) maupun efek somatik (yang mengenai pekerja/orang yang berada di medan radiasi). Efek radiasi yang timbul pada manusia secara umum dibagi menjadi dua yaitu : efek stokastik dan efek non stokastik. Efek stokastik adalah akibat yang kemungkinan terjadinya efek tersebut pada keturunannya jadi tergantung dosis yang diterima oleh seseorang tanpa suatu nilai ambang. Sedangkan non stokastik contohnya adalah kanker kulit, leukemia, dan kemandulan. Untuk menghindari terjadinya efek non stokastik ini perlu pembatasan nilai dosis yang diterima oleh seluruh jaringan tubuh (BAPETEN, 2005).

Sementara di terminal penumpang petugas bekerja dalam *shift* dan tidak setiap hari ada kapal yang berangkat. Jadi, otomatis paparan radiasi yang diterima oleh para pekerja radiasi (operator Sinar- X) di Pelabuhan sangat kecil. Karena jadwal keberangkatan kapal bisa seminggu 2-3 kali dan terbagi dalam shift dengan 10 orang petugas. Jikalau pihak manajemen pelabuhan memang menginginkan terminal penumpang berstandar internasional berdasarkan hasil kajian ini perlu penataan manajemen pengelolaan terkait pemanfaatan Sinar-X pada fluoroskopi bagasi di terminal penumpang.

Penataan ini terkait dengan regulasi yang berlaku, SDM, proteksi radiasi dan dampak yang dapat ditimbulkan oleh karena pemanfaatan radiasi terutama bagi pekerja radiasi. Efek sekecil apapun, akan berdampak yang tidak terlihat sekarang namun akan tampak beberapa waktu lamanya efek stokastik baik kanker, maupun kelainan genetik. Oleh karena efek ini, perubahan secara radiobiologi dapat mempengaruhi dari tingkat sel, jaringan, organ, sistem organ dan seluruh tubuh. Perubahan seluler yang terjadi dapat ditanggulangi dengan pemberian makanan yang mengandung protein tinggi dan cek kesehatan secara berkala bagi pekerja radiasi.

Alternatif yang dapat dilakukan adalah pemberian makanan tambahan tinggi protein bagi pekerja radiasi. Untuk akibat/ bahaya dari kemungkinan pemanfaatan radiasi pada pekerja dapat disesuaikan oleh manajemen mengenai tunjangan bahaya radiasi yang dapat diberikan kepada pekerja radiasi sebagai tunjangan resiko dan pemeriksaan kesehatan secara berkala.

Selain itu, operator fluoroskopi bagasi ini sebaiknya diberikan pelatihan khusus yang terstandar dan tersertifikasi dan diberikan juga pengetahuan selain mengenai teknis penggunaan alat juga wawasan tentang radiobiologi (efek radiasi terhadap biologis manusia) serta manajemen proteksi radiasi. Sehingga, dengan bekal tersebut para pekerja radiasi yang mengoperasikan fluoroskopi bagasi dapat bekerja secara baik, aman dan nyaman.

Jikalau ditinjau dari masyarakat umum, terkait dengan regulasi adalah 0,1 dari NBD dari pekerja radiasi. Menurut Akhadi, 2000 NBD Pekerja radiasi adalah 20 mSv/th , jadi paparan radiasi yang diterima oleh masyarakat umum adalah sebesar 2 mSv/th . Sedangkan pada penelitian ini paparan radiasi di sekitar fluoroskopi bagasi yang tertinggi adalah $0.7\mu\text{Sv/h}$., jika dikonversi ke mSv 0.0007 mSv/h . Sementara penumpang hanya mendapatkan paparan saat berada di sekitar fluoroskopi bagasi hanya dalam hitungan detik. Jadi, untuk masyarakat umum yang berada disekitar fluoroskopi bagasi masih aman karena sudah sesuai dengan regulasi internasional $< 1\mu\text{Sv/h}$ pada jarak 1m.

KESIMPULAN

1. Implementasi fluoroskopi bagasi di Terminal Penumpang Pelabuhan sudah sejak 2017, namun belum memiliki izin dan belum sesuai UU No. 10 tahun 1997 tentang tupoksi BAPETEN dalam regulasi, lisensi dan inspeksi belum dijalankan.
2. SDM yang mengoperasikan fluoroskopi bagasi belum mendapatkan pelatihan yang terlisensi oleh BAPETEN sebagai pekerja radiasi X ray industri tk 1. Tidak dilakukan monitoring dosis pekerja dan pencatatan dosis sesuai regulasi PP No 33 Tahun 2007
3. SPO dalam operasional fluoroskopi bagasi Rapiscan 628 XR di terminal penumpang pelabuhan belum ada. Perlu dibuat segera berdasarkan fluoroskopi bagasi yang tersedia di terminal penumpang pelabuhan untuk memenuhi regulasi yang berlaku PP No 33 Tahun 2007
4. Berdasarkan hasil monitoring dan evaluasi fluoroskopi bagasi yang beroperasi di terminal penumpang domestik pelabuhan menghasilkan paparan radiasi yang masih aman berdasarkan regulasi nasional PP No 33 tahun 2007 dan regulasi internasional FDA USA..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhadi, M. 1997. Pengantar Teknologi Nuklir . PT.Rineka Cipta Jakarta.
- [2] Anderson, Troy, 2007, Monitors Being Tested at LA Ports Chert off Tours Facilities Defends his Terror Budget, Daily News
- [3] Anonim, 2017, Standar Operasional Prosedur (SOP) Pengoperasian Fluoroscopi Bagasi di Pelabuhan Soekarno Hatta, Makassar
- [4] Bapeten. 1997. Pendidikan dan Pelatihan Petugas Proteksi Radiasi. Jakarta
- [5] Bapeten. 2005. Petugas Proteksi Radiasi. Jakarta
- [6] Batan. 2007. Buku Panduan Pusat Pendidikan dan Penelitian Dosimetri. Jakarta
- [7] <https://bisniskini.com/2018/01/12/menaker-berikan-penghargaan-bulan-k3-di-surabaya/>
- [8] Nafee, dkk, 2008, A Theoretical Approach to Calibrate Baggage Fluoroscopy systems. Applied Radiation and Isotopes Vol 64 issue 10 oct 2008, Elsevier
- [9] PP No 33 Tahun 2007 Suryanto, Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [10] PP No 29 tahun 2008 Tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir yang didalamnya Termasuk Penggunaan Fluoroscopi Bagasi
- [11] Perka Bapeten No 7 tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri
- [12] The Free Library, 2006, Radiation Detection at US ports and Borders, Strategic Radiation International Inc (SDI) 2000



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PEMANFAATAN TEKNOLOGI NUKLIR UNTUK PENGAWETAN PANGAN: ANTARA REGULASI DAN STANDAR PANGAN IRADIASI

Ika Wahyu Setya Andani^{1, a)}, Anggraini Ratih Kumaraningrum², Jepri Sutanto¹

¹Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir, Puspiptek, Tangerang Selatan, BANTEN

²Biro Komunikasi Publik, Umum, dan Kesekretariatan, Jakarta Pusat

^{a)} Corresponding author: ikaismori@gmail.com

Abstract. Peningkatan keamanan dan kualitas pangan diperlukan dalam hal pengawetan pangan, iradiasi merupakan salah satu teknik yang mapan dan dikembangkan untuk pemanfaatan yang maksimal. Beberapa penelitian menyatakan dan membuktikan bahwa iradiasi pangan merupakan pemanfaatan teknologi nuklir yang aman. Teknologi pengawetan pangan sudah banyak diterapkan di banyak negara, baik negara maju maupun negara berkembang karena potensinya yang besar. Namun demikian, aplikasinya selalu dihadapkan dengan berbagai tantangan yang menghambat optimalisasi pemanfaatannya, sehingga diperlukan adanya pengaturan regulasi atau standar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji perbandingan antara regulasi yang dikeluarkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) terhadap Standar Nasional Indonesia (SNI) khususnya tentang iradiasi pangan siap saji dosis tinggi. Kajian perbandingan dilakukan menggunakan metode studi literatur dengan membandingkan Peraturan BPOM Nomor 3 Tahun 2018, PERMENKES Nomor 701/MENKES/PER/VIII/2009 dan SNI 8352:2017. Berdasarkan hasil kajian, terdapat perbedaan yang cukup signifikan yaitu terkait sumber radiasi, dosis radiasi, dan cara penyimpanan pasca iradiasi. Beberapa perbedaan tersebut akan menjadi bahan kajian perlunya dilakukan harmonisasi antara regulasi dan SNI sehingga dapat dijadikan masukan untuk menghasilkan suatu standar yang mampu terap, mengikuti perkembangan terkini yang menjadi acuan dalam iradiasi pangan di Indonesia. Standar pada dasarnya hanya bersifat sukarela dan mengatur batas minimal untuk penerapannya. Peraturan ataupun regulasi lebih bersifat mandatori dan/atau mengikat yang perlu diterapkan. Komunikasi dan kerjasama antara pengambil kebijakan regulasi dan anggota komite teknis perumus standar perlu diintensifkan untuk menghasilkan peraturan yang selaras dan tidak tumpang tindih.

Kata kunci: teknologi nuklir, pangan iradiasi, regulasi, standar

PENDAHULUAN

Proses pengawetan pangan dengan radiasi dapat digunakan untuk tujuan pangan siap saji, makanan rumah sakit dan lainnya sehingga banyak digunakan dalam proses pengolahan pangan [1]. Penelitian radiasi bahan pangan mulai dikembangkan pada abad 20 dan menjadi hal yang menarik, salah satunya untuk pengawetan bahan pangan [2]. Untuk tujuan pengawetan, bahan pangan dikenai radiasi pengion, inilah yang disebut dengan proses radiasi pangan. Radiasi mampu mengurangi mikroorganisme patogen, menghambat perkecambahan, menghambat pematangan buah dan sayur, mencegah kerusakan, mencegah serangan serangga [3]. Dengan iradiasi pangan ada beberapa keunggulan antara lain mempercepat waktu preparasi pengawetan pangan [4], meminimalisir kontaminasi pangan dan meningkatkan masa simpan tanpa mengubah struktur kimianya [5].

Salah satu teknologi bersih, aman dan sehat yang dapat diaplikasikan pada industri pangan adalah iradiasi [6]. Produk yang diiradiasi dengan ketepatan dosis, aman untuk konsumsi, tidak ada zat atau residu yang berbahaya. Selain itu, nutrisi, kesegaran, tekstur, warna, rasa dan aroma bahan pangan tetap terjaga dengan proses iradiasi. Hal ini disebabkan dalam perlakuan iradiasi tidak diperlukan suhu tinggi, sehingga dapat mempertahankan mutu produk. Pada proses iradiasi bahan pangan, terjadi eksitasi dan ionisasi yang akan menghambat sintesis DNA organisme, sehingga dapat menghambat pula pertumbuhan mikroorganisme patogen maupun pembusuk. Sebagai contoh pada tahun 2014, 5008 ton kentang diradiasi oleh Shihoro Isotope Center, Hokkaido, kemudian memberi label pada kemasannya dan menjualnya, kualitasnya ternyata sangat bagus sehingga memperoleh komentar positif dari konsumen [7].

Terdapat kurang lebih 50 negara maju dan negara berkembang yang telah menyetujui penggunaan iradiasi pangan. Hal ini berdasarkan data dari Irradiated Food Authorization Database. Kebijakan iradiasi pangan

berbeda-beda di beberapa negara, baik dari segi penerapan maupun penggunaan jumlah dosis. Di Brazil bahan pangan apapun bisa diiradiasi dengan berbagai dosis, namun di beberapa negara Eropa menentukan dosis maksimum iradiasi 10 kGy yang hanya dapat digunakan pada sayur kering dan rempah. Konsumen membutuhkan informasi apakah pangan yang mereka konsumsi adalah pangan iradiasi atau bukan, sehingga diperlukan kebijakan pemberian label yang tepat [3].

Teknologi iradiasi dapat dimanfaatkan dan diaplikasikan secara berkelanjutan, sejalan dengan permasalahan peningkatan jumlah penduduk dan kurangnya lahan serta kebutuhan akan keamanan dan ketahanan pangan di era globalisasi dan perdagangan internasional [8]. Teknologi iradiasi pangan merupakan *green technology* karena tidak memakai bahan kimia dan tidak menimbulkan polusi udara.

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, teknologi iradiasi saat ini belum menjadi pengolahan pangan yang komersial dan utama [9]. Teknologi iradiasi masih kurang berkembang dengan cepat dikarenakan ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan diantaranya: investasi untuk teknologi iradiasi bisa dibilang harus memiliki biaya besar, masyarakat masih takut dan khawatir akan residu zat radioaktif pada bahan pangan yang diiradiasi [10]. Oleh karena itu diperlukan suatu regulasi atau standar yang seiring sejalan mengatur tentang iradiasi pangan. Dalam makalah ini dilakukan kajian perbandingan antara regulasi dan standar tentang iradiasi pangan dosis tinggi yang berlaku di Indonesia.

METODE

Metode penelaahan dokumen digunakan dalam penelitian ini. Penelaahan dokumen atau studi literatur merupakan metode penelitian yang dilakukan dengan mengumpulkan acuan sebagai landasan teori. Dokumen atau literatur yang relevan, dikumpulkan dan ditinjau untuk mendapatkan jawaban atas masalah yang dibahas dalam penelitian. Acuan tersebut bisa didapatkan dari buku, jurnal, artikel laporan penelitian, dan situs-situs online di internet. Dari studi literatur menghasilkan output yaitu terkumpulnya referensi untuk menyelesaikan rumusan masalah. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan literatur antara regulasi dan standar tentang iradiasi pangan dosis tinggi yang berlaku di Indonesia, yaitu membandingkan Peraturan BPOM Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi, PERMENKES Nomor 701/MENKES/PER/VIII/2009 tentang Pangan Iradiasi dan SNI 8352:2017 tentang proses radiasi pangan siap saji dosis tinggi. Referensi dari sumber lain yang terkait dengan iradiasi pangan juga dikaji untuk mendukung pernyataan dan menambah informasi.

Aspek yang dikaji dari regulasi dan standar tersebut adalah tentang ketentuan – ketentuan pada pelaksanaan iradiasi pangan dosis tinggi yang diatur di dalamnya. Ketentuan ini meliputi: sumber iradiasi; persyaratan peralatan; dosis serap; proses iradiasi; kemasan; penandaan; dan penyimpanan. Apabila terdapat perbedaan di antara regulasi dan standar, perlu dijabarkan dampaknya dan bagaimana cara penanganannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan perdagangan maupun ekspor dan impor pangan iradiasi harus diatur oleh negara. Regulasi dan standar terkait pangan iradiasi di masing-masing negara berbeda, oleh sebab itu jumlah dan jenis bahan pangan iradiasi yang dapat diperdagangkan juga terbatas. Standardisasi secara internasional terutama kaitan terhadap regulasi pangan iradiasi sangat diperlukan untuk mempermudah perdagangan bahan pangan di setiap negara. Regulasi maupun standar yang berkembang dapat dilaksanakan melalui pelatihan untuk tenaga ahli yang mengatur regulasi pangan iradiasi maupun melalui pertukaran informasi.

Di Indonesia, otoritas yang mengatur pangan iradiasi berada pada Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). Indonesia mengatur standar untuk dosis iradiasi yang diatur dalam Peraturan BPOM Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi [11]. Selain peraturan dari badan regulasi, Indonesia juga memiliki Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait pangan iradiasi. SNI ini disusun oleh suatu Komite Teknis dan disahkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Peraturan BPOM Nomor 3 Tahun 2018 terdiri atas 9 Bab yang mencakup:

- a. Bab I Ketentuan Umum;
- b. Bab II Persyaratan;
- c. Bab III Tanggung Jawab Fasilitas Iradiasi;
- d. Bab IV Keterangan Iradiasi;
- e. Bab V Pelabelan Pangan Iradiasi;
- f. Bab VI Pengawasan;
- g. Bab VII Sanksi Administrasi;
- h. Bab VIII Ketentuan Peralihan; dan
- i. Bab IX Ketentuan Penutup

Selain itu, terdapat 5 lampiran yang mengatur mengenai jenis pangan, tujuan iradiasi, dan dosis serap maksimum (d_{maks}) (Lampiran I), bahan kontak pangan yang diizinkan (Lampiran II), format laporan iradiasi pangan (Lampiran III), format permohonan keterangan iradiasi (Lampiran IV), dan format surat keterangan iradiasi (Lampiran V).

BSN telah menetapkan beberapa SNI terkait pangan radiasi. Namun, pada kajian ini diambil SNI 8352:2017 sebagai bahan kajian pembanding terhadap peraturan BPOM Nomor 3 Tahun 2018. SNI 8352:2017 merupakan standar yang mengatur proses radiasi pada pangan siap saji dengan dosis tinggi [12]. SNI yang dirumuskan oleh

Komite Teknis 67-05 (Pangan Iradiasi) ini terdiri atas 11 Bab, yaitu terdiri atas: Ruang lingkup; Acuan normatif; Istilah dan definisi; Pangan siap saji; Persyaratan Peralatan; Penanganan; Pengemasan; Proses iradiasi; Penandaan; Penyimpanan; dan Diagram alir proses. Hasil perbandingan antara Peraturan BPOM Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi dan SNI 8352:2017 tentang Proses Radiasi Pangan Siap Saji Dosis Tinggi disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil perbandingan antara Peraturan BPOM No. 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi dan SNI 8352:2017 yang tertuang pada Tabel 1, terdapat beberapa perbedaan ketentuan di dalamnya. Pada SNI 8352:2017 tidak menjelaskan sumber iradiasi yang dapat digunakan untuk melakukan iradiasi pada pangan olahan siap saji. Sedangkan pada Peraturan BPOM No.3 Tahun 2018 menyebutkan bahwa sumber radiasi: iradiator gamma dengan zat radioaktif Co-60 atau Cs-137, pesawat sinar-X dengan energi $\leq 7,5$ MeV, atau MBE dengan energi ≤ 10 MeV wajib digunakan pada iradiasi pangan.

Menurut *Codex Alimentarius Commission*, sebuah komisi yang didirikan oleh *Food and Agriculture Organization* (FAO) dan *World Health Organization* (WHO), sumber radiasi pengion yang dapat digunakan pada makanan yang diproses dengan radiasi pengion adalah: sinar gamma dari radionuklida Co-60 atau Cs-137, sinar-x yang dihasilkan dari suatu mesin yang beroperasi pada energi ≤ 5 MeV, atau berkas elektron yang dihasilkan dari mesin penghasil berkas elektron yang dioperasikan pada ≤ 10 MeV [13]. Komisi ini juga mensyaratkan bahwa iradiasi pangan dibenarkan hanya jika memenuhi persyaratan teknologi dan/atau bermanfaat bagi perlindungan kesehatan konsumen. Serta, bukan untuk menggantikan praktik manufaktur yang higienis dan praktik manufaktur yang baik, atau praktik pertanian yang baik. Berdasarkan dari persyaratan standar internasional ini, persyaratan teknologi sebaiknya disebutkan dalam regulasi maupun standar yang berlaku. Dengan adanya persyaratan teknologi yang jelas dinyatakan pada regulasi maupun standar, tidak terjadi kesimpang-siuran pengguna dalam menerapkan praktik pangan iradiasi, sehingga dapat memastikan tingkat keamanan dan kualitas pangan iradiasi yang lebih tinggi.

Perbedaan lain yang diperoleh adalah adanya perbedaan dosis serap maksimum yang diizinkan. Dosis serap merupakan rerata energi yang diberikan radiasi pengion ke massa bahan atau jumlah energi pengion yang diserap oleh pangan. Dalam Peraturan BPOM disebutkan bahwa d_{maks} harus sesuai dengan d_{maks} jenis pangan yang diiradiasi. Untuk pangan olahan siap saji, seperti rendang, bandeng presto, pepes ikan, dan semur daging, BPOM mengizinkan dosis serap maksimum adalah sebesar 60 kGy. Sedangkan dalam SNI 8352:2017, dosis serap maksimum dapat mencapai 65 kGy. Dosis serap yang dimaksud disini adalah dosis iradiasi yang digunakan untuk mencapai tujuan sterilisasi komersial dan membasmi mikroorganisme patogen termasuk mikroorganisme berspora serta memperpanjang umur simpan.

Penentuan dosis iradiasi merupakan hal dasar yang harus diperhatikan dalam regulasi pangan iradiasi. Efektivitas iradiasi untuk pemusnahan mikroorganisme dan patogen lainnya dalam produk pangan dapat dicapai dengan melakukan iradiasi dosis tinggi. PERMENKES Nomor 701/MENKES/PER/VIII/2009 mengatur d_{maks} sesuai dengan jenis pangan dan tujuan iradiasi, seperti pada Tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan Peraturan BPOM dan SNI 8352:2017

	SNI 8352:2017	Peraturan BPOM No. 3 Tahun 2018
Sumber iradiasi	Tidak dijelaskan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Iradiator Gamma dengan Co-60 atau Cs-137; 2. Mesin pembangkit sinar-X dengan energi $\leq 7,5$ MeV; 3. Mesin berkas electron dengan energi ≤ 10 MeV
Persyaratan peralatan	Peralatan yang digunakan dalam proses pengolahan pangan siap saji harus memenuhi kriteria keselamatan dan potensi bahaya. Selain itu peralatan juga harus memenuhi kriteria higienis dan sanitasi.	Wajib memenuhi persyaratan keamanan pangan.
Dosis serap (pangan olahan siap saji)	$10 \text{ kGy} < \text{dosis} \leq 65 \text{ kGy}$	Dosis serap maksimum 60 kGy
Proses iradiasi	Proses iradiasi produk pangan siap saji harus sesuai dengan SNI ISO 14470: 2014 (Iradiasi pangan - Persyaratan untuk pengembangan, validasi dan pengendalian rutin proses radiasi menggunakan radiasi pengion untuk perlakuan pangan)	<ul style="list-style-type: none"> - Proses iradiasi telah memiliki izin pemanfaatan tenaga nuklir dari BAPETEN. - Wajib memenuhi Cara Iradiasi Pangan yang Baik (Peraturan BPOM No. 18 Tahun 2019)
Kemasan	Bahan kemasan harus tidak mencemari produk yang dikemas, baik sebelum maupun pasca iradiasi, terbuat dari bahan laminasi yang terdiri dari polyester, aluminum foil dan Linier Low Density Polyethelene (LLDPE) atau yang setara.	Terdapat daftar jenis bahan kontak pangan yang sesuai dengan dosis serap maksimum pangan yang diiradiasi. Untuk dosis serap maksimum 60 kGy, jenis bahan kontak pangan yang diijinkan berupa nilon 6 (nylon 6), kopolimer vinil klorida-vinil asetat (vinyl chloride-vinyl acetate copolymer), kopolimer akrilonitril (acrylonitrile copolymers), dan Polietilena (PE).
Penandaan	Penandaan produk pangan siap saji iradiasi harus memuat: <ol style="list-style-type: none"> a. Nama produk b. Daftar bahan yang digunakan c. Berat bersih d. Tulisan "PANGAN IRADIASI" e. Logo "RADURA" f. Tanggal, bulan dan tahun iradiasi g. Tanggal, bulan, dan tahun kedaluwarsa h. Nama dan alamat pihak yang memproduksi 	<p>Pemberian keterangan iradiasi untuk peredaran pangan iradiasi yang dihasilkan di wilayah Indonesia.</p> <p>Wajib mencantumkan informasi mengenai iradiasi pada label:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Tulisan IRADIASI yang dicantumkan setelah nama jenis pangan; b. Tulisan TIDAK BOLEH DIIRADIASI ULANG apabila tidak boleh diiradiasi ulang; c. Tanggal, bulan, dan tahun iradiasi; d. Nama negara tempat iradiasi dilakukan; e. Logo pangan iradiasi.
Penyimpanan	Produk pangan siap saji pasca iradiasi sebaiknya disimpan di dalam ruangan dengan suhu ruang ($26^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$). Penataan produk dalam ruangan harus diatur dalam kotak atau rak tertutup sedemikian rupa sehingga terhindar dari binatang pengerat dan memungkinkan meratanya sirkulasi udara dan memudahkan penataan dan/atau pembongkaran.	Tidak dijelaskan.

Tabel 2. Rentang Dosis Serap yang Diizinkan Berdasarkan Jenis Pangan

Jenis Pangan	Tujuan	d_{maks} (kGy)
Umbi lapis dan akar	Menghambat pertumbuhan tunas saat penyimpanan.	0,15
Sayur dan buah segar	- Menunda pematangan	1,0
	- Membunuh serangga	1,0
	- Menambah waktu simpan	2,5
	- Perlakuan karantina	1,0
Produk olahan sayur dan buah	- Menambah waktu simpan	7,0
	- Menambah waktu simpan	0,75
Mangga Manggis	- Membunuh serangga	1,0
	- Perlakuan karantina	5,0
Serelia dan produk hasil gilingannya, kacang, biji-bijian penghasil minyak, polong, buah kering	- Membunuh serangga	1,0
	- Mengurangi jumlah mikroorganisme	5,0
Ikan, pangan laut (seafood segar maupun beku)	- Mengurangi jumlah patogen tertentu	5,0
	- Menambah waktu simpan	3,0
	- Mengontrol infeksi parasit	2,0
Produk olahan ikan dan pangan laut	- Mengurangi jumlah mikroorganisme patogen tertentu	8,0
	- Memperpanjang masa simpan	10,0
Daging dan unggas serta hasil olahannya (segar maupun beku)	- Mengurangi jumlah patogen tertentu	7,0
	- Menambah waktu simpan	3,0
	- Mengontrol infeksi parasite	2,0
	- Menghilangkan bakteri salmonella	7,0
Sayuran kering, bumbu, rempah, herbal	- Mengurangi jumlah mikroorganisme pathogen	10,0
	- Memasmi serangga	1,0
Pangan dari hewan yang dikeringkan	- Membunuh serangga	1,0
	- Membunuh mikroba, kapang, khamir	5,0
Pangan olahan siap saji hewani	Mensterilkan dan membunuh patogen termasuk mikroba berspora serta memperpanjang umur simpan	65

Berdasarkan Tabel 2 di atas, dosis serap maksimum yang diizinkan adalah mencapai 65 kGy. Hal ini selaras dengan SNI 8352:2017, karena dalam perumusan SNI selain berdasarkan hasil penelitian dari Kelompok Pangan Iradiasi juga mengacu ke PERMENKES Nomor 701/MENKES/PER/VIII/2009. Sedangkan dosis yang diizinkan oleh BPOM sebesar 60 kGy juga berdasarkan atas kesepakatan bersama regulator dan para stakeholder.

Selain masalah dosis serap iradiasi yang diizinkan, cara penyimpanan produk pangan iradiasi juga akan mempengaruhi mutu produk itu sendiri [14]. Terkait ketentuan dalam penyimpanan produk, SNI 8352:2017 menyarankan produk pangan siap saji paska iradiasi sebaiknya disimpan di dalam ruangan dengan suhu ruang (26°C – 30°C), penataan produk dalam ruangan harus diatur dalam kotak atau rak tertutup, sehingga terhindar dari binatang pengerat dan memungkinkan sirkulasi udara merata dan memudahkan penataan dan/atau pembongkaran. Sedangkan pada Peraturan BPOM No.3 Tahun 2018 belum mengatur ketentuan tentang pengemasan. Namun, BPOM telah menetapkan suatu peraturan turunan sebagai panduan pelaksanaan ketentuan Pasal 9 ayat (3) Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi, yaitu Peraturan BPOM No. 18 Tahun 2019 tentang Cara Iradiasi Pangan yang Baik [15]. Ketentuan penyimpanan produk dijelaskan lebih rinci pada peraturan ini.

Terdapat perbedaan dalam sifat penerapan peraturan dan standar pangan iradiasi di Indonesia. Peraturan atau regulasi bersifat *mandatory*, artinya pihak produsen pangan siap saji hasil iradiasi wajib mengikuti dan taat terhadap ketentuan – ketentuan yang diatur dalam regulasi untuk melakukan proses iradiasinya. Sedangkan standar bersifat *voluntary* atau sukarela. Standar mengatur batas minimal yang perlu diterapkan.

Walaupun terdapat perbedaan sifat pada penerapannya, adanya beberapa perbedaan dalam ketentuan pangan iradiasi mengisyaratkan perlunya harmonisasi antara regulasi dan standar yang berlaku di Indonesia. Komite Teknis perumusan SNI, dalam hal ini Komite Teknis 67-05 bidang pangan iradiasi, hendaknya dapat duduk

bersama dengan badan regulator yaitu BPOM dan BSN. Komunikasi dan kerjasama antara pengambil kebijakan regulasi dan anggota komite teknis perumus standar perlu diintensifkan untuk menghasilkan peraturan yang selaras dan tidak tumpang tindih. Fasilitas iradiasi yang melakukan iradiasi pangan perlu mendapatkan lisensi dari otoritas pangan yang terkait [16]. Kewenangan untuk memberikan lisensi atas fasilitas iradiasi pangan perlu ditetapkan. Tren ke arah keamanan pangan dan sistem kontrol yang lebih spesifik juga perlu untuk dikembangkan, terutama pada teknologi iradiasi agar dapat menyediakan cara yang efektif untuk memastikan kualitas pangan, dan meminimalkan kerugian serta meminimalkan limbah, sekaligus mengatasi kekhawatiran konsumen terkait dengan penggunaan radiasi pangan pada makanan. Dengan dilakukannya harmonisasi ini, peraturan dan standar bidang pangan iradiasi dapat berjalan seiring dan diharapkan dapat meningkatkan mutu produk pangan iradiasi, serta meningkatkan kepercayaan masyarakat dalam mengkonsumsi produk pangan olahan siap saji hasil iradiasi.

KESIMPULAN

Standar pada dasarnya hanya bersifat sukarela dan mengatur batas minimal untuk penerapannya. Peraturan ataupun regulasi lebih bersifat mandatori dan/atau mengikat yang perlu diterapkan. Komunikasi dan kerjasama antara pengambil kebijakan regulasi dan anggota komite teknis perumus standar perlu diintensifkan untuk menghasilkan peraturan yang selaras dan tidak tumpang tindih.

Telah terdapat peraturan BPOM terkait pangan iradiasi yang menjelaskan persyaratan keamanan pangan, sumber radiasi, proses iradiasi, dosis serap, kemasan dan penandaan. Dalam penerapannya, Peraturan BPOM No.3 Tahun 2018 berjalan bersamaan dengan PERMENKES Nomor 701/MENKES/PER/VIII/2009, serta SNI 8352:2017 yang mengatur iradiasi pada pangan dengan dosis tinggi dalam rangka memperpanjang masa simpan. Beberapa perbedaan yang ada akan menjadi bahan kajian perlunya dilakukan harmonisasi antara regulasi dan SNI sehingga dapat dijadikan masukan untuk menghasilkan suatu standar yang mampu terap, mengikuti perkembangan terkini yang menjadi acuan dalam iradiasi pangan di Indonesia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Kepala Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir (PRTKMMN), Kelompok Riset Pengembangan Standar Teknologi Radiasi Nuklir dan Berkas Partikel (TRNBP) dan Tim Mutu PRTKMMN yang telah mendukung penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Feliciano. "High Dose Irradiated Food : Current Progress, Applications, and Prospects," Radiation Physics and Chemistry., vol. 144, pp. 34-36, 2018.
- [2] Z. Lakner, S. Soos, Z. Vida and C. Farkas. "European Research and the Hungarian School of Food Irradiation", Radiation Physics and Chemistry., vol 129, pp. 13-23, 2016.
- [3] E. Zanardi, A. Caligiani, and E. Novelli, "New Insights to Detect Irradiated Food:an Overview," Food Anal. Methods, 2017.
- [4] J. Mittendorfer, "Food Irradiation Facilities: Requirements and Technical Aspects," Radiation Physics and Chemistry, vol. 129, pp. 61–63, 2016.
- [5] Bearth and M. Siegrist, "As Long as It is not Irradiated - Influencing Factors of US Consumers Acceptance of Food Irradiation," Food Quality and Preference., vol. 71, pp. 141-148, 2019.
- [6] D. A. E. Ehlermann, "Safety of Irradiated Foods," Encyclopedia of Food Safety, vol. 3, 2014.
- [7] Prakash, "Particular Applications of Food Irradiation Fresh Produce," Radiation Physics and Chemistry., vol. 129, pp. 50–52, 2016.
- [8] C. H. Sommers, "Microbial Decontamination of Food by Irradiation," Published by Woodhead Publishing Limited, 2012.
- [9] P. B. Roberts, "Food Irradiation is Safe: Half A Century of Studies," Radiation Physics and Chemistry., vol. 105, pp. 78-82, 2014.
- [10] G. Kebede, A. Simachew, H. Disassa, T. Kabeta and T. Zanebe. " Review on Radiation as a Means of Food Preservation and its Challenge. Academic Journal of Nutrition., vol 4, no. 2, pp. 77-83, 2015.
- [11] BPOM, "Peraturan Badan Pengawas Obat Dan Makanan Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi", 2018.
- [12] BSN, SNI 8352:2017 "Proses radiasi-Pangan siap saji dosis tinggi (10 kGy< dosis≤ 65 kGy)", 2017.
- [13] Food and Agricultural Organization of The United Nations, World Health Organization, General Standard for Irradiated Foods, CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003, FAO/WHO, Rome, 2003.
- [14] Santosa, S., et al., Konsep Penerapan SNI 8352: 2017 Proses Radiasi-Pangan Siap Saji Dosis Tinggi (10 kGy< Dosis≤ 65 kGy) untuk Produk Pangan Olahan Siap Saji Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM). In Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi (Vol. 2020, pp. 105-114). Badan Standardisasi Nasional, 2021.

- [15] BPOM, “Peraturan Badan Pengawas Obat Dan Makanan Nomor 18 Tahun 2019 tentang Cara Iradiasi Pangan yang Baik”, 2018.
- [16] International Atomic Energy Agency, Manual of Good Practice in Food Irradiation, Technical Reports Series No. 481, IAEA, Vienna, 2015.

PERTANYAAN SEMINAR

Pertanyaan

1. Bagaimana prosedur untuk iradiasi pangan? Jenis pangan apa saja yang bisa diiradiasi? Daya tahannya bagaimana? Melalui uji apakah terkait keamanan pangan? Biasanya diaplikasikan untuk ekspor/imporkah?
2. Mengapa pihak swasta kurang minat terkait penggunaan iradiasi bahan pangan?
3. Dalam peraturan BPOM dan Permenkes apakah dijelaskan peraturan larangan iradiasi untuk barang yang mengandung air (misal ikan, susu). Di banyak negara Eropa dan Jepang, iradiasi seperti itu dilarang karena dapat meninggalkan hasil ionisasi yang berbahaya bagi manusia. Jika larangan tersebut ada mohon ditunjukkan pasal/ayatnya.
4. Sebagai informasi, PP 86 Tahun 2019 tentang Keamanan Pangan telah mengamanahkan BPOM untuk menyusun ketentuan tentang pemenuhan persyaratan iradiasi pangan. Berdasarkan amanah tersebut, BPOM menerbitkan Peraturan BPOM No. 3 Tahun 2018 tentang Pangan Iradiasi. Ketentuan Peraturan BPOM ini mengatur ketentuan pangan iradiasi yang beredar di wilayah Indonesia wajib memenuhi persyaratan keamanan, mutu, gizi, label, dan iklan pangan serta ketentuan iradiasi pangan meliputi jenis pangan yang diizinkan untuk diiradiasi, tujuan iradiasi, dosis serap maksimum, kemasan pangan untuk pangan yang akan diiradiasi, pelabelan pangan iradiasi pada pangan olahan, termasuk pelaporan pencatatan dari penanggung jawab fasilitas iradiasi kepada BPOM. Peraturan BPOM No.3 Tahun 2018 ini bersifat mandatory sejak peraturan diundangkan tanggal 14 Mei 2018. Adapun pelaksanaan iradiasi pangan, produsen dan penanggung jawab Fasilitas Iradiasi wajib memenuhi cara iradiasi pangan yang baik sesuai Peraturan BPOM Nomor 18 Tahun 2019 Tentang Cara Iradiasi Pangan Yang Baik.

Jawaban

1. Prosedur iradiasi pangan secara umum adalah pangan yang akan diiradiasi dilewatkan pada suatu sumber radiasi (Iradiator Gamma/MBE) dengan kecepatan dan dosis yang terkontrol. Pangan tersebut tidak pernah kontak langsung dengan sumber radiasi. Ketika perlakuan iradiasi dihentikan, tidak ada energi ataupun residu apapun yang tersisa dalam pangan. Jenis pangan yang dapat diiradiasi:
 - Pangan berbahan hewani: ikan, daging, unggas, dan berbagai olahannya
 - Pangan berbahan nabati: sayuran, bebuahan, kacang-kacangan, dan berbagai olahannya.
 - Rempah-rempah, herbal, sayuran kering
 Daya tahan pangan yang diawetkan dengan radiasi akan lebih lama dibandingkan dengan pangan yang diawetkan dengan metode lain.
 Uji yang dilakukan terkait keamanan pangan antara lain:
 - Uji Mikrobiologi: uji yang dilakukan untuk mendeteksi adanya mikroorganisme yang terdapat pada suatu produk pangan, dalam hal ini khususnya pangan yang telah diiradiasi.
 - Uji toksisitas: uji yang dilakukan untuk mendeteksi efek toksik pada pangan yang telah diiradiasi dan untuk memperoleh data dosis-respon yang khas dari sediaan uji.
 - Uji organoleptik: disebut juga uji sensori yaitu cara uji dengan memakai indera manusia sebagai alat utama untuk pengukuran daya penerimaan terhadap produk.
 Pangan yang diiradiasi tidak hanya ditujukan untuk ekspor namun juga untuk konsumsi di dalam negeri.
2. Saat ini belum banyak industri yang mengaplikasikan teknologi iradiasi ataupun menggunakan bahan baku yang diiradiasi dikarenakan konsumen masih menganggap bahwa produk pangan hasil iradiasi memiliki kualitas yang rendah dan risiko bahaya yang lebih besar. Selain itu masih ada kesalahpahaman di tingkat konsumen yang beranggapan bahwa produk pangan hasil iradiasi adalah pangan radioaktif.
3. Peraturan BPOM dan Kemenkes tidak menjelaskan mengenai bahan yang kandungan airnya tinggi, sedangkan ikan dalam pangan iradiasi tidak dilarang, karena tujuan iradiasi dapat bermacam-macam penggunaan yaitu mengurangi mikroba, memperpanjang umur simpan, dan sterilisasi, yang dilarang adalah produk yang diiradiasi ulang. Jika paparan langsung ke komoditas dengan kadar air tinggi diatas 60%, bahan pangan harus dibekukan, sehingga terbentuk pendinginan lambat. Cara ini baik untuk menahan peluang terjadinya proses ionisasi pada bahan pangan tersebut.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



EVALUASI KECUKUPAN REGULASI DI INDONESIA TENTANG KRITERIA KLIERENS DAN PEMBEBASAN TAPAK UNTUK MEMFASILITASI DEKOMISIONING

Anggoro Septilarso^{1, a)}, Reno Alamsyah¹

¹Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, Indonesia

^{a)}Corresponding author: a.septilarso@BAPETEN.go.id

Abstrak. Telah dilakukan kajian regulasi terhadap ketersediaan dan kecukupan peraturan perundang-undangan (PUU) terkait kriteria pembebasan atau tingkat klierens dalam memfasilitasi permohonan izin dekomisioning dan pernyataan pembebasan. Kajian ini menjadi penting karena seluruh fasilitas nuklir yang ada di Indonesia telah menua, dengan usia pengoperasian lebih dari 30 tahun. Kajian juga sangat diperlukan untuk memastikan keadaan akhir yang dituju oleh pemegang izin dapat dicapai sehingga kegiatan dekomisioning bisa berjalan dengan lancar dan selesai sesuai perencanaan. Metodologi yang diterapkan dalam penyusunan paper ini bersifat kualitatif, analitik dan deskriptif dengan menggunakan data sekunder dari berbagai terbitan nasional dan internasional yang dapat dinilai teruji atau kredibel. Kajian dilakukan dalam dua tahap, dengan memeriksa kelengkapan PUU dan membandingkannya dengan standar dan praktik internasional. Kajian ini menyimpulkan bahwa PUU yang ada, khususnya tentang kriteria pembebasan, belum cukup memadai dalam memfasilitasi pelaksanaan dekomisioning instalasi nuklir untuk berbagai skenario keadaan akhir. PUU tersebut juga belum setara dengan berbagai standar dan praktik internasional. PUU nasional sudah mengatur kriteria klierens untuk material, sehingga perlu ditambahkan untuk mengatur juga tentang kriteria pembebasan bangunan dan tapak dengan mengadaptasi berbagai standar dan praktik internasional yang relevan.

Keywords: Dekomisioning, kriteria pembebasan, klierens.

Abstract. A regulatory review has been carried out on the availability and adequacy of regulations related to release criteria or clearance levels in facilitating the application for decommissioning license and release statements. This study is important because all nuclear facilities in Indonesia are ageing with more than 30 years old of operating experience. The study is also necessary to ensure that the end-state intended by the license holder can be achieved, so that the decommissioning activities can run well and be completed as planned. The methodology applied in the preparation of this paper is qualitative, analytic, and descriptive using secondary data from various national and international publications that can be considered as proven or credible. The study was carried out in two stages, examining the completeness of the regulations, and comparing them with international standards and practices. This study concludes that the existing regulations, particularly regarding the release criteria, are not sufficient to facilitate the implementation of nuclear installation decommissioning for various end-state scenarios. The regulations are also not commensurate with various international standards and practices. The national regulation already stipulates the release criteria for materials, so it needs to be improved to also regulate the criteria for building and site release by adapting various relevant international standards and practices.

Keywords: Decommissioning, release criteria, clearance

PENDAHULUAN

Pada saat ini Indonesia memiliki tiga unit reaktor nondaya, yaitu RSG GAS di Serpong, TRIGA-2000 di Bandung, dan Reaktor Kartini di Yogyakarta, serta tujuh instalasi nuklir nonreaktor (INNRR) yang seluruhnya berada di kawasan nuklir Serpong. Dari sepuluh instalasi nuklir ini, hanya dua INNRR yang dioperasikan oleh PT. INUKI, dan selebihnya dioperasikan oleh BRIN. Semua instalasi ini mulai beroperasi pada rentang tahun 1964 hingga 1989, atau telah berusia antara 33 – 58 tahun [1]. Sehingga, setiap instalasi tersebut sudah semakin dekat dengan masa akhir pengoperasiannya.

Penghentian pengoperasian seperti itu tentu dengan berbagai pertimbangan seperti kondisi penuaan fasilitas, perhitungan keekonomian, melalui analisis biaya-manfaat atau risiko-manfaat, serta perkembangan arah kebijakan nasional dalam pembangunan. Pada akhir tahun 2021 Kepala BRIN dalam beberapa acara memaparkan rencana untuk mendekomisioning instalasi nuklir tertua di Indonesia, yaitu reaktor TRIGA-2000 [2, 3]. Oleh karena itu, Indonesia perlu menyiapkan strategi nasional dekomisioning dan pengelolaan limbah radioaktif, termasuk untuk memeriksa kembali kelengkapan dan kandungan infrastruktur peraturan perundang-undangan (PUU) dalam bidang tersebut.

Jika diperhatikan prosesnya, kegiatan pembongkaran dalam dekomisioning akan menghasilkan sejumlah besar material limbah, yang nantinya harus ditetapkan sebagai limbah radioaktif atau limbah nonradioaktif. Beberapa cara untuk pemisahan limbah ini adalah melalui praktik dekontaminasi, penundaan untuk peluruhan, dan pengukuran kandungan radioaktif guna mengetahui apabila limbah telah memenuhi persyaratan klierens. Dalam Peraturan Kepala BAPETEN (Perka) No. 4 Tahun 2009 didefinisikan bahwa tingkat klierens adalah nilai yang ditetapkan BAPETEN yang dinyatakan dalam konsentrasi aktivitas atau tingkat kontaminasi, dan/atau aktivitas tota pada atau di bawah nilai tersebut, sumber radiasi dibebaskan dari pengawasan [4]. Limbah hasil dekomisioning dan tapak yang ditinggalkan dapat dibebaskan dari pengawasan apabila radioaktivitasnya telah sama atau di bawah tingkat klierens. Sehingga, salah satu persoalan yang signifikan dalam hal ini adalah penetapan kriteria pembebasan di dalam PUU nasional untuk memfasilitasi dekomisioning instalasi nuklir saat diperlukan. Kriteria pembebasan tersebut meliputi klierens untuk material dan bangunan, serta kriteria pembebasan tapak.

Dengan demikian, paper ini ditujukan untuk untuk menjawab pertanyaan apakah PUU, khususnya tentang kriteria pembebasan, telah cukup memadai untuk memfasilitasi rencana dekomisioning instalasi nuklir dengan berbagai skenario keadaan akhir (*end-state*) yang mungkin ditetapkan? Artinya, apakah PUU sudah lengkap dan setara dengan standar dan praktik internasional? Pertanyaan-pertanyaan ini menjadi penting untuk dijawab mengingat untuk menyusun suatu skenario dekomisioning dengan baik perlu ditentukan terlebih dahulu keadaan akhir yang akan dicapai, dan kriteria pembebasan adalah perangkat yang diperlukan untuk memastikan keadaan akhir yang dimaksud itu bisa tercapai. Dalam makalah ini istilah 'pembebasan' dan 'klierens' akan sering muncul dengan arti yang setara dan dapat dipertukarkan.

Studi Literatur Peraturan Perundang Undangan

Dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 2 Tahun 2014 disebutkan bahwa yang dimaksud dengan pernyataan pembebasan adalah pernyataan bahwa kegiatan dekomisioning instalasi nuklir telah selesai dan tapak instalasi nuklir bebas dari bahaya paparan radiasi dan kontaminasi zat radioaktif [5]. Senada dengan PP tersebut, dalam PP No. 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko juga dinyatakan bahwa pemegang izin (PI) dapat mengajukan permohonan pernyataan pembebasan setelah kegiatan dekomisioning selesai [6]. Sejalan dengan kedua PP ini, Peraturan BAPETEN (PB) No. 1 Tahun 2022 tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran menyatakan bahwa setelah kegiatan dekomisioning dinyatakan selesai Pemegang Perizinan Berusaha harus mengajukan permohonan Pernyataan Pembebasan kepada Kepala BAPETEN [7].

Berdasarkan PUU tersebut di atas, untuk mendapatkan pernyataan pembebasan dari BAPETEN, pemohon izin harus melampirkan beberapa dokumen kelengkapan teknis, yaitu laporan: hasil pelaksanaan dekomisioning, hasil pelaksanaan penanganan limbah radioaktif, pelaksanaan izin lingkungan sesuai dengan ketentuan PUU di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, dan hasil pengukuran paparan radiasi dan kontaminasi radioaktif di dalam dan di luar tapak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suatu tapak instalasi nuklir baru akan dibebaskan dari pengawasan BAPETEN apabila telah dibuktikan bahwa semua sumber radioaktif yang sebelumnya berada di dalam tapak telah dikeluarkan dari tapak. Kemudian, harus dipastikan juga bahwa seluruh limbah radioaktif yang dihasilkan dalam proses dekomisioning telah dikelola sesuai dengan PUU mengenai keselamatan limbah radioaktif.

Dari uraian PUU di atas, maka terlihat jelas bahwa diperlukan suatu kriteria pembebasan yang dapat digunakan sebagai dasar penerbitan pernyataan pembebasan dari BAPETEN. Pada saat ini, satu-satunya PUU yang mengatur kriteria pembebasan adalah Perka BAPETEN No. 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens yang mengatur tentang tingkat klierens dan tatacara penetapan klierens untuk zat radioaktif terbuka, limbah radioaktif, dan material terkontaminasi atau teraktivasi [8]. Telaah lebih lanjut atas Perka ini perlu dilakukan.

Studi Literatur Standar Internasional

Beberapa standar dan pedoman terkait kriteria pembebasan telah diterbitkan oleh IAEA, yang diawali di tahun 1996 dengan dokumen teknis TECDOC-855 *Clearance Levels for Radionuclides in Solid Materials*. Ini adalah pertama kalinya IAEA mengajukan skema tingkat klierens tanpa syarat yang ditujukan untuk limbah dan material daur ulang dalam jumlah besar yang dihasilkan dari pengoperasian reaktor [9]. Usaha IAEA ini dilanjutkan pada tahun 1998 dengan menerbitkan TECDOC 1000 *Clearance of Materials Resulting From The Use of Radionuclides in Medicine, Industry, and Research* [10]. Kemudian, pada tahun 2004 IAEA mempublikasi standar pedoman keselamatan RS-G-1.7 *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption, and Clearance* yang berisi nilai konsentrasi aktivitas radionuklida yang berasal dari alam dan artifisial yang dapat digunakan sebagai rujukan internasional untuk tujuan pengecualian dari izin dan bahkan sebagai tingkat

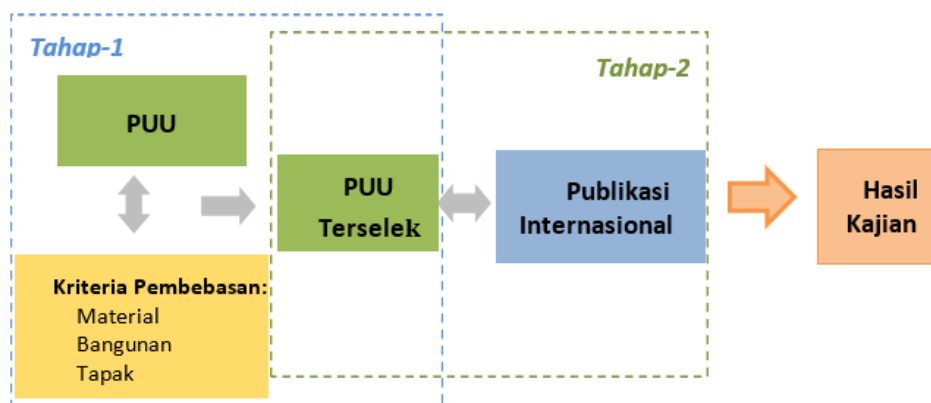
klierens. [11]. Pada akhirnya di tahun 2014 di dalam standar persyaratan GSR Part 3 *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, IAEA mengajukan seperangkat tingkat klierens tanpa syarat untuk radionuklida dalam wujud padat [12].

Selain menyediakan standar dan dokumen teknis mengenai klierens untuk material, IAEA juga menerbitkan standar pedoman tentang pembebasan tapak dari pengawasan dalam WS-G-5.1. *Release of Site from Regulatory Control on Termination of Practices*. Pedoman ini berlaku untuk tapak suatu instalasi nuklir yang sedang diajukan dalam permohonan pernyataan pembebasan sebagai bagian akhir dari proses dekomisioning [13].

Jauh sebelum IAEA menerbitkan pedoman terkait tingkat klierens di atas, *European Commission (EC)* telah terlebih dahulu menyusun pedoman sejenis dengan judul RP 43 *Radiation Protection Criteria for the Recycling of Materials from the Dismantling of Nuclear Installations* pada tahun 1988. Kemudian, pada tahun 1998 pedoman ini diperbaharui dengan RP 89 *Recommended Radiological Protection Criteria for the Recycling of Metals from the Dismantling of Nuclear Installations* [14, 15]. Publikasi lain yang diterbitkan oleh EC adalah RP 113 *Recommended Radiological Protection Criteria for the Clearance of Buildings and Building Rubble from the Dismantling of Nuclear Installations* pada tahun 2000 dan RP 122 *Practical Use of The Concepts of Clearance and Exemption Part 1 dan Part 2* [16, 17, 18].

METODOLOGI

Metodologi yang diterapkan dalam penyusunan paper ini bersifat kualitatif, analitik dan deskriptif dengan menggunakan data sekunder dari berbagai terbitan nasional dan internasional yang dapat dinilai teruji atau kredibel, seperti PUU, standar dan dokumen teknis terkait. Kajian dilakukan dalam dua tahap. Pertama, kelengkapan PUU yang ada dievaluasi dalam memfasilitasi permohonan pernyataan pembebasan sebagai bagian akhir dari kegiatan dekomisioning. Pada tahap kedua kecukupan PUU tersebut ditelaah berdasarkan standar internasional dan yang telah diseleksi sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1. Dengan dua tahapan kajian ini diharapkan PUU yang ada dapat dinilai kelengkapan dan kecukupannya, serta kesetaraannya dengan standar atau praktik terbaik internasional. Keluaran dari kajian ini adalah telaah secara umum mengenai PUU yang mengatur dekomisioning dan klierens, dan secara khusus mengenai kriteria pembebasan material, bangunan, dan tapak



GAMBAR 1. Struktur Metodologi Kajian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam kajian ini diperhatikan bahwa suatu perencanaan program dekomisioning dimulai dengan penetapan keadaan akhir yang akan dicapai: jika tapak instalasi nuklir sebagai obyek dekomisioning tersebut akan digunakan kembali sebagai tapak instalasi nuklir yang baru, sebagai tapak untuk kegiatan tertentu (*brown field*), atau untuk penggunaan tak terbatas (*green field*). Dari sini dan berdasarkan ketentuan dalam PUU yang terkait [5-8] dapat disimpulkan perlunya suatu kriteria pembebasan tapak yang bisa disepakati bersama oleh PI dan BAPETEN dalam rangka persetujuan permohonan pernyataan pembebasan yang diajukan oleh pihak PI. Namun, di dalam PUU tersebut tidak disertakan kriteria pembebasan tapak, termasuk terutama jika PI memutuskan keadaan akhir untuk menggunakan kembali tapak dan bangunan bagi instalasi nuklir yang baru ataupun untuk kegiatan tertentu yang memerlukan kriteria pembebasan atau klierens untuk bangunan.

Selanjutnya, dipertimbangkan bahwa limbah yang dihasilkan dari proses dekomisioning dapat dihasilkan dalam jumlah besar, dan tidak mudah untuk dipastikan sebagai limbah radioaktif atau non-radioaktif. Untuk itu diperlukan suatu tingkat klierens guna menentukan bahwa suatu kelompok material/limbah adalah radioaktif atau nonradioaktif. Dari uraian ini, dapat disimpulkan bahwa ada tiga macam kriteria pembebasan atau klierens yang diperlukan untuk kelancaran dekomisioning, yaitu kriteria pembebasan untuk tapak, bangunan, dan material.

Penerapan klierens didasarkan pada konsep bahwa sejumlah paparan radiasi dapat diabaikan atau bahwa risiko radiasi terhadap manusia dari suatu paparan radiasi adalah cukup rendah, tanpa ada kemungkinan mendapatkan dosis radiasi dengan efek stokastik yang signifikan. IAEA menilai bahwa dosis radiasi tersebut adalah paling besar 10 μSv per tahun [11]. Jika suatu material/limbah melalui skenario apapun diperkirakan akan menghasilkan dosis radiasi di bawah nilai ini, maka bisa dilepaskan dari pengawasan dan diperlakukan sebagai material/limbah non radioaktif, digunakan kembali, didaur ulang maupun dialihkan ke pihak lain untuk berbagai tujuan tanpa dianggap sebagai material radioaktif. Konsep seperti ini dipahami secara luas sebagai klierens tanpa syarat.

Selain konsep klierens tanpa syarat sebagaimana tersebut di atas, praktik internasional mengenal juga konsep klierens bersyarat melalui pernyataan klierens yang akan diberikan setelah pemohon memenuhi beberapa persyaratan. Contoh penerapan klierens bersyarat antara lain: klierens terhadap logam bekas (*scrap*) untuk peleburan, klierens sejumlah limbah untuk penimbunan di pembuangan limbah konvensional, dan klierens beton bangunan untuk didaur-ulang sebagai material jalan raya atau untuk keperluan lainnya. Ada kondisi perlakuan terhadap material target klierens tersebut dan hanya setelah kondisi ini terpenuhi, material tersebut baru layak untuk dibebaskan dari pengawasan lebih lanjut.

Dengan semakin bertambahnya umur instalasi nuklir, berarti semakin bertambah pula jumlah instalasi nuklir yang perlu didekomisioning. Hal ini mengakibatkan semakin besar pula jumlah limbah radioaktif yang dihasilkan, sehingga kebutuhan akan pengajuan/penetapan klierens juga semakin meningkat. Hal ini juga didasari pada masalah utama yang dihadapi oleh seluruh negara yaitu ketiadaan/kurangnya kapasitas tempat penyimpanan limbah, mahalnya biaya pembuangan limbah radioaktif, dan peluang untuk menghemat sumber daya melalui penggunaan kembali maupun daur ulang.

Motivasi penerapan klierens inipun pada hakikatnya sesuai dengan hierarki pengelolaan limbah dengan tindakan pembuangan limbah radioaktif sebisa mungkin adalah menjadi pilihan terakhir dengan secara berturut-turut kita harus terlebih dahulu mengupayakan pencegahan, minimasi, penggunaan kembali, dan daur ulang, sebelum pada akhirnya sebagian kecil harus dibuang (*disposal*) sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2. Pada akhirnya strategi penerapan klierens akan mampu mengurangi jumlah limbah radioaktif yang dihasilkan dari suatu kegiatan dekomisioning instalasi nuklir secara signifikan baik melalui pendekatan penggunaan kembali maupun daur ulang. Oleh karena itu, diperlukan peran BAPETEN untuk menentukan kriteria pembebasan material, bangunan, dan tapak instalasi nuklir di Indonesia.



GAMBAR 2. Hierarki Pengelolaan Limbah [19].

Kriteria Pembebasan Material

Perka BAPETEN No. 16 Tahun 2012 mengatur mengenai tingkat klierens dan tata cara penetapan klierens untuk zat radioaktif terbuka, limbah radioaktif, dan material terkontaminasi atau teraktivasi. Perka ini mendefinisikan bahwa zat radioaktif terbuka adalah "zat radioaktif berbentuk padat, cair, atau gas yang tidak berada dalam suatu struktur perisai radiasi khusus, sehingga berpotensi menimbulkan kontaminasi dan menyebar ke lingkungan hidup". Kemudian, definisi limbah radioaktif adalah "zat radioaktif dan/atau bahan, serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi". Sedangkan material terkontaminasi atau teraktivasi diartikan sebagai "bahan serta peralatan yang terkontaminasi zat radioaktif atau teraktivasi sehingga menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir atau instalasi yang memanfaatkan radiasi pengion" [8]. Pada bagian lampiran disertakan tingkat klierens baik untuk radionuklida buatan maupun alam. Dinyatakan pula bahwa apabila suatu zat radioaktif memiliki konsentrasi aktivitas kurang dari atau sama dengan tingkat klierens yang tercantum dalam lampiran Perka ini maka zat radioaktif tersebut dapat dibebaskan dari pengawasan BAPETEN.

Selanjutnya dalam Perka yang sama juga dinyatakan bahwa limbah radioaktif dan material terkontaminasi dapat dibebaskan dari pengawasan BAPETEN apabila tingkat kontaminasi permukaan kurang dari atau sama

dengan satu Bq/cm². Berdasarkan ketentuan-ketentuan ini dapat dipahami bahwa tingkat klierens yang tercantum dalam bagian lampiran Perka tersebut adalah penerapan klierens tanpa syarat. Kemudian, dalam Perka ini juga dibuka opsi untuk mengajukan penetapan klierens dengan syarat. Dalam hal ini diatur bahwa PI bisa mengajukan penetapan klierens dengan nilai konsentrasi zat radioaktif lebih tinggi dari tingkat klierens yang ditetapkan dalam Lampiran I dan Lampiran II dengan syarat: melakukan analisis skenario paparan radiasi, dan hasil perhitungan dosis efektif terhadap kelompok kritis (*representative person*) tidak melebihi 100 μ Sv dalam satu tahun [8].

Dengan adanya dua opsi penetapan klierens, yaitu bersyarat dan tanpa syarat, maka keberadaan Perka No. 16 Tahun 2012 ini akan menjadi vital dalam proses kategorisasi limbah untuk keperluan dekomisioning. Jika melihat dari tingkat klierens yang tercantum dalam lampiran, maka bisa ditemukan bahwa nilai tersebut adalah identik dengan tingkat klierens yang tercantum dalam dokumen IAEA RS-G-1.7 [11] yang selanjutnya dimutakhirkan dengan GSR Part 3 [12]. Sangatlah mungkin bahwa Perka ini disusun dengan merujuk pada RSG-1.7 dan BSS-115, yaitu dokumen pandahulu GSR Part 3.

Yang perlu diperhatikan dari Perka itu yaitu batasan dosis efektif untuk skema klierens bersyarat yang ditetapkan adalah maksimal 100 μ Sv dalam satu tahun. Nilai ini sedikit berbeda dengan publikasi IAEA yang menetapkan nilai 10 μ Sv per tahun, atau untuk skenario dengan probabilitas kejadian sangat rendah boleh hingga 1 mSv per tahun. Perlu diingat juga bahwa nilai 10 μ Sv per tahun pulalah yang digunakan oleh IAEA sebagai acuan dalam penentuan rekomendasi tingkat klierens tanpa syarat, sehingga ada perbedaan nilai batasan radiologi yang digunakan sebagai acuan penetapan kriteria pembebasan antara pembebasan 'tanpa syarat' dan yang 'bersyarat'.

Satu hal lagi yang perlu diperhatikan adalah bahwa Perka No. 16 Tahun 2012 ini berlaku untuk zat radioaktif dalam bentuk padat, cair dan gas. Lingkup ini sangat berbeda dibandingkan dengan RS-G-1.7 dan GSR Part 3 yang merekomendasikan tingkat klierens berdasarkan perhitungan untuk zat radioaktif dalam bentuk padat. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa diperlukan adanya kaji ulang tingkat klierens untuk dilihat lagi kesesuaiannya dengan kegiatan dekomisioning, apalagi jika mempertimbangkan bahwa usia dari PB ini sudah sepuluh tahun.

Kriteria Pembebasan Bangunan

Konsep klierens untuk bangunan pada dasarnya adalah sama saja dengan konsep dasar klierens untuk material, yaitu bahwa sejumlah paparan radiasi dapat diabaikan atau bahwa risiko radiasi terhadap seseorang dari suatu paparan radiasi adalah cukup rendah tanpa ada kemungkinan mendapatkan dosis radiasi yang berlebih. Namun demikian tetap ada perbedaan mendasar dalam penerapannya di lapangan, yaitu bahwa klierens tanpa syarat untuk material memerlukan adanya tingkat klierens konsentrasi aktivitas radionuklida. Untuk keperluan penggunaan kembali dan daur ulang harus memperhitungkan setiap potensi skenario dan jalur paparan. Kemudian, klierens untuk bangunan cukup memperhitungkan beberapa skenario paparan dalam jumlah yang lebih sedikit disesuaikan dengan keadaan akhir yang telah ditetapkan. Hal ini akan memudahkan dalam menentukan tingkat klierens bangunan yang berupa tingkat paparan/aktivitas permukaan bangunan.

Adanya perbedaan tersebut menunjukkan bahwa skenario radiologi untuk klierens bangunan menjadi lebih masuk akal dan sederhana karena hanya merujuk pada kondisi akhir atau kondisi aktual setelah kegiatan dekomisioning selesai. Dengan pendekatan ini, kebutuhan akan adanya tingkat klierens untuk bangunan menjadi tidak harus selalu ditentukan untuk tiap radionuklida dan ditetapkan dalam PUU sebagaimana tingkat klierens untuk material. Pendekatan kasus per kasus akan lebih sesuai untuk diterapkan, yang terpenting adalah batasan radiologi sebagaimana yang direkomendasikan dalam GSR Part 3 maupun berbagai dokumen OECD-NEA untuk klierens [20] secara umum dapat terpenuhi.

Sebagai upaya untuk memfasilitasi kebutuhan negara anggotanya, Komisi Negara-negara Eropa (EC) menerbitkan publikasi yang berisi rekomendasi tingkat klierens untuk bangunan dan puing bangunan hasil pembongkaran instalasi nuklir di dalam dokumen *Radiation Protection* (RP) 113 [21]. Dalam dokumen ini, untuk penetapan tingkat klierens didasarkan pada potensi dosis paparan maksimal sebesar 10 μ Sv per tahun atau dosis pada kulit sebesar 50 mSv per tahun. Dalam dokumen ini juga terdapat rekomendasi tingkat klierens beberapa radionuklida untuk skenario penggunaan kembali maupun untuk pembongkaran baik untuk klierens tanpa syarat maupun klierens dengan syarat. Di sini, tingkat klierens untuk bangunan disajikan dalam satuan radioaktivitas per luas permukaan, sedangkan untuk puing dalam satuan radioaktivitas per massa. Contoh penerapan pembebasan dengan syarat untuk bangunan adalah apabila bangunan fasilitas akan dijadikan sebagai museum.

Dengan belum tersedianya tingkat klierens untuk bangunan di PUU kita, maka pendekatan klierens bangunan dari EC ini dapat menjadi rujukan dalam merevisi atau menyusun PUU, maupun dalam pelaksanaan dekomisioning di saat PUU belum tersedia. Yang tidak kalah penting untuk disiapkan adalah prosedur teknis dalam penerapan klierens bangunan itu sendiri, mengingat bahwa gedung dan tapak merupakan aset yang mahal sehingga opsi penggunaan kembali baik sebagai *green field* maupun *brown field* akan menjadi sangat menarik karena akan menghemat sumber daya yang cukup besar.

Kriteria Pembebasan Tapak

Pembebasan tapak instalasi nuklir dari pengawasan BAPETEN merupakan tahap akhir dari suatu kegiatan dekomisioning. Tujuan dari pembebasan tapak adalah untuk mengakhiri izin tapak dan segala tanggung jawab yang melekat pada PI dari pengawasan BAPETEN, sehingga tapak tersebut kemudian bisa digunakan untuk tujuan lainnya. Secara umum, tapak instalasi nuklir baru bisa dibebaskan dari pengawasan setelah semua kontaminasi yang ada telah diberi tindakan hingga ke tingkat yang dapat diterima. Agar dapat mencapai titik ini, keadaan akhir harus ditentukan terlebih dahulu, yaitu jika tapak ini akan dikembalikan menjadi *green field* atau akan digunakan untuk tujuan lain, *brown field*, atau bahkan digunakan kembali sebagai tapak instalasi nuklir yang baru.

Sama halnya dengan klierens atau pembebasan untuk material dan bangunan, lingkup pembebasan tapak juga terdiri atas dua macam, yaitu pembebasan tanpa syarat (*green field*) dan pembebasan dengan syarat (*brown field*). Pada pembebasan dengan syarat artinya tapak akan boleh digunakan kembali untuk tujuan apapun tanpa batasan setelah pernyataan pembebasan diterbitkan oleh BAPETEN. Sebaliknya untuk pernyataan pembebasan dengan syarat, meskipun suatu tapak telah memperoleh pernyataan pembebasan, tindakan pengendalian masih diperlukan untuk mencegah adanya dosis paparan berlebih yang diterima oleh individu karena di tapak ini masih terdapat sisa material radioaktif dalam jumlah tertentu. Tindakan pengendalian ini bisa berupa pembatasan akses ke area tertentu atau pembatasan durasi kerja di area tertentu.

Ada sedikit perbedaan mendasar dalam penetapan tingkat klierens untuk tapak dibandingkan untuk material. Material klierens tanpa syarat bisa saja berpindah tempat antar wilayah bahkan lintas batas negara untuk digunakan kembali sehingga akan menambah potensi paparan individu di banyak tempat. Atas dasar itulah ditetapkan nilai 10 μSv per tahun sebagai acuan penetapan tingkat klierens karena dosis sejumlah ini dianggap bisa diabaikan. Namun untuk tapak, yang tentunya tidak bisa berpindah tempat, maka IAEA memberikan acuan penetapan tingkat klierens yang lebih longgar yaitu 300 μSv per tahun [13]. Meskipun demikian, perlu dicatat bahwa IAEA tetap menyarankan bahwa setiap negara anggota untuk menetapkan acuan dosis paparannya sendiri yang lebih kecil atau sama dengan 300 μSv per tahun. Sebagai catatan, di Amerika Serikat yang memiliki pengalaman pembebasan tapak, US NRC menetapkan acuan dosis untuk penetapan klierens tapak sebesar 250 μSv per tahun untuk pembebasan tanpa syarat dan 1 mSv per tahun untuk pembebasan dengan syarat [22].

Berbeda dengan logika di atas, Jerman tetap menggunakan nilai 10 μSv per tahun sebagai acuan penetapan tingkat klierens untuk tapak. Dari nilai acuan dosis paparan tersebut, Jerman telah menetapkan dalam PUU tingkat klierens tapak dari setiap radionuklida dengan pengukuran dilakukan untuk tiap luasan 100 m² [23]. Dengan belum adanya kriteria pembebasan tapak dalam PUU nasional, maka kriteria pembebasan dari beberapa contoh ini bisa digunakan dan diadaptasikan untuk diterapkan di Indonesia. Yang perlu diperhatikan dalam adaptasi ini adalah asumsi perhitungan yang perlu disesuaikan dengan karakteristik di Indonesia yang mungkin tidak sama dengan negara rujukan tersebut.

KESIMPULAN

Telah diperlihatkan bahwa PUU yang ada, khususnya tentang kriteria pembebasan, belum cukup memadai untuk memfasilitasi pelaksanaan dekomisioning instalasi nuklir dengan berbagai skenario keadaan akhir yang mungkin ditetapkan. PUU tersebut juga belum setara dengan berbagai standar dan praktik internasional. Satu-satunya kriteria pembebasan yang ada dalam PUU nasional adalah mengenai kriteria klierens untuk material. Perbedaan nilai batasan radiologi yang digunakan PUU sebagai acuan penetapan kriteria pembebasan antara pembebasan yang 'tanpa syarat' dengan yang 'bersyarat' perlu ditinjau kembali. Selanjutnya dengan mempertimbangkan berbagai skenario keadaan akhir yang akan dicapai oleh PI, maka kandungan PUU yang ada tentunya perlu ditambahkan untuk mengatur juga tentang kriteria pembebasan bangunan dan tapak instalasi nuklir dengan mengadaptasi berbagai standar dan praktik internasional yang relevan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada jajaran Manajemen P2STPIBN BAPETEN yang telah mendukung dan memberikan kesempatan luas kepada penulis untuk melakukan kajian dan penulisan paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Disarikan dari laman BATAN www.batan.go.id dan laman INUKI www.inuki.co.id [20 Mei 2022].
- [2] Zaharias W. Kepala BRIN Ungkap Rencana Tutup Permanen Reaktor Nuklir di Bandung. Jakarta: Tempo. [20 Mei 2022], <https://tekno.tempo.co/read/1512550/kepala-brin-ungkap-rencana-tutup-permanen-reaktor-nuklir-di-bandung/full&view=ok>.
- [3] Simanjuntak M.H. Kepala BRIN sebut perlu persiapan dekomisioning reaktor Triga 2000. Jakarta: Antara News. [20 Mei 2022], <https://www.antaraneews.com/berita/2427225/kepala-brin-sebut-perlu-persiapan-dekomisioning-reaktor-triga-2000>.

- [4] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2029 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir, BAPETEN, Jakarta, 2022.
- [5] Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Sekretariat Negara RI, Jakarta, 2014.
- [6] Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Resiko Sekretariat Negara RI,, Jakarta, 2021.
- [7] Republik Indonesia, Peraturan BAPETEN No. 1 Tahun 2022 tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Resiko Sektor Ketenaganukliran, BAPETEN Jakarta, 2022.
- [8] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens, BAPETEN Jakarta, 2012.
- [9] IAEA, TECDOC-855 Clearance Levels for Radionuclides in Solid Materials, Vienna: IAEA, 1996.
- [10] TECDOC-1000 Clearance of Materials Resulting From The Use of Radionuclides in Medicine, Industry, and Research, Vienna: IAEA, 1998.
- [11] IAEA, RS-G-1.7 Application of the Concepts of Exclusion, Exemption, and Clearance. Vienna: IAEA, 2004
- [12] IAEA, GSR Part 3 Radiation protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, Vienna: IAEA, 2014.
- [13] IAEA, WS-G-5.1. Release of Site from Regulatory Control on Termination of Practices, Vienna: IAEA, 2006.
- [14] European Commission, RP 43 Radiation Protection Criteria for the Recycling of Materials from the Dismantling of Nuclear Installations, Luxembourg, 1988.
- [15] European Commission, RP 89 Recommended Radiological Protection Criteria for the Recycling of Metals from the Dismantling of Nuclear Installations. Luxembourg, 1998
- [16] European Commission, RP113: Recommended Radiological Protection Criteria for the Clearance of Buildings and Building Rubble from the Dismantling of Nuclear Installations, Luxembourg, 2000.
- [17] European Commission, RP 112 Part 1: Practical Use of The Concepts of Clearance and Exemption, Luxembourg, 2000.
- [18] European Commission, RP 112 Part 2: Practical Use of The Concepts of Clearance and Exemption, Luxembourg, 2002.
- [19] Government of United Kingdom, Radioactive Waste Strategy September 2019, <https://www.gov.uk/government/consultations/nda-radioactive-waste-management-strategy/outcome/radioactive-waste-strategy-september-2019>. diakses pada 26 Juni 2022.
- [20] OECD-NEA, Release of Radioactive Materials and Buildings from Regulatory Control; A Status report, 2008 NEA No. 6403 ISBN 978-92-64-99061-6
- [21] European Commission, RP113: Recommended Radiological Protection Criteria for the Clearance of Buildings and Building Rubble from the Dismantling of Nuclear Installations, Luxembourg, 2000.
- [22] US Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR Part 20 Subpart E (Radiological Criteria for License Termination) 20.1402 - 20.1403, 1987.
- [23] Germany, Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036; 2021 I S. 5261), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4645) geändert worden ist.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



ANALISIS KEMAMPUAN TERAPAN PERATURAN BAPETEN NO 3 TAHUN 2022 TERHADAP REAKTOR JENIS GARAM LEBUR

Rahmat Edhi Harianto^{1, a)}, Bintoro Aji¹, M.Rifqi Harahap¹

¹Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN
Jalan Gajah Mada No. 8 Jakarta, Indonesia

^{a)}Korespondensi email: r.harianto@bapeten.go.id; rahmatedhi@gmail.com

Abstrak. Dalam beberapa tahun belakangan rencana industri untuk membangun dan mengoperasikan reaktor daya di Indonesia khususnya reaktor jenis garam lebur (Molten Salt Reactor - MSR) telah meningkat. BAPETEN telah menerbitkan Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2022 mengenai ketentuan keselamatan desain teras reaktor daya, dengan kekhususan berlaku pada reaktor berpendingin air. Desain reaktor MSR sangat berbeda dengan reaktor LWR. Fitur-fitur MSR akan memerlukan pemahaman dan pendalaman di sisi desain, bahan bakar, perilaku reaktor saat operasi normal maupun kecelakaan. Hal ini karena masih sedikit teknologi yang menjadi referensi dan pengalaman operasi MSR yang minim di masa lalu. Oleh karena itu, BAPETEN memandang perlu dilakukan kajian untuk mengidentifikasi kemampuan terapan Perba tersebut pada reaktor jenis ini dengan spektrum termal dan moderator grafit. MSR kelas ini dipilih dengan justifikasi memiliki tingkat kesiapan teknologi yang lebih tinggi dibandingkan kelas MSR lainnya, akibat kesuksesan operasi MSRE dan pada beberapa konsep memiliki kemiripan dengan reaktor temperatur tinggi. Bagian desain teras yang dikaji meliputi aspek bahan bakar, moderator, pendingin, neutronik, dan termohidrolik. Kelima aspek ini dipilih karena memiliki fitur dan desain berbeda dengan reaktor air ringan. Dari hasil kajian diperoleh kesimpulan bahwa kriteria keberterimaan yang terdapat dalam dalam Perba Nomor 3 Tahun 2022, pada kelima aspek tersebut. Parameter neutronik MSR meliputi koefisien reaktivitas temperatur untuk bahan bakar, moderator dan reflektor, margin padam dan reaktivitas lebih pada kondisi teras paling reaktif, laju penyisipan reaktivitas maksimum, reaktivitas batang kendali dan reaktivitas batang kendali bank, faktor puncak daya radial dan aksial, termasuk osilasi daya yang disebabkan xenon, koefisien reaktivitas void bahan bakar, paparan fluence neutron maksimum pada moderator grafit di akhir masa operasi moderator, densitas pembangkitan panas volumetrik akibat radiasi gamma dan neutron pada moderator grafit. Parameter termohidrolik MSR meliputi pembangkitan panas volumetrik maksimum, gas entrainment, temperatur bahan bakar maksimum, termasuk temperatur material bejana reaktor dan perpipaan loop primer sebagai penghalang pertama produk fisi.

Kata kunci: desain teras reaktor daya, kemampuan terapan, reaktor garam lebur

PENDAHULUAN

Rencana Badan Pelaksana, BUMN maupun perusahaan swasta untuk membangun dan mengoperasikan reaktor daya khususnya reaktor jenis MSR belakangan ini cenderung meningkat sejalan dengan upaya memenuhi kebutuhan listrik pada daerah tertentu. Oleh karena itu, BAPETEN perlu mengantisipasi dengan penyiapan infrastruktur pengawasan termasuk regulasi teknis.

Pada tahun 2022, BAPETEN telah menerbitkan Peraturan Badan Nomor 3 Tahun 2022 (Perba No 3 Tahun 2022) mengenai ketentuan keselamatan desain teras reaktor daya. Pada salah satu klausul disebutkan jika Perba ini hanya berlaku pada reaktor berpendingin air. Oleh karena itu, BAPETEN melalui Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir memandang perlu dilakukan kajian untuk mengidentifikasi kemampuan terapan Perba tersebut pada reaktor MSR.[1]

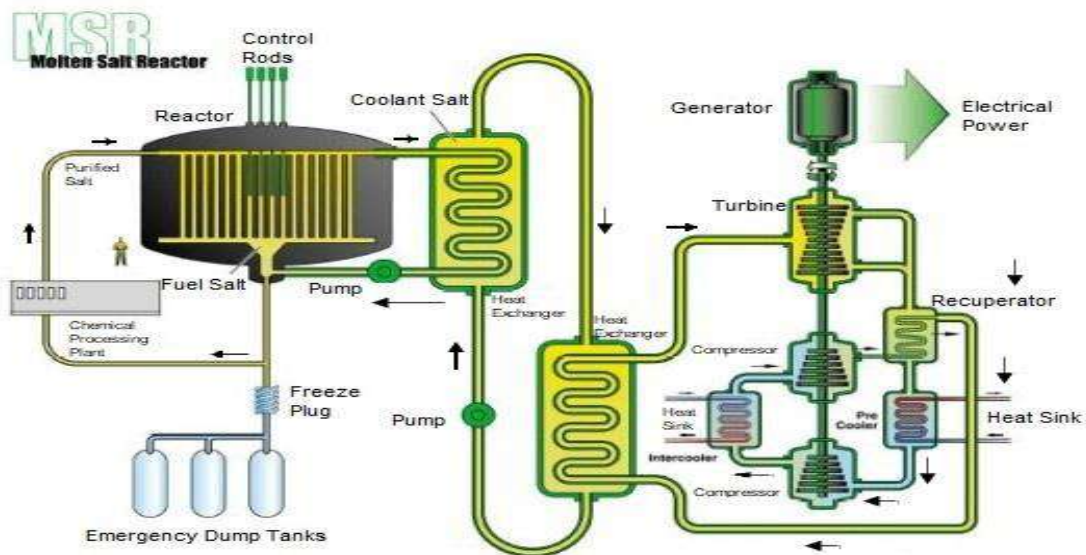
Kajian ini dilakukan dalam upaya merespon lebih dini dan menyiapkan regulasi terkait untuk rencana membangun dan mengoperasikan reaktor jenis MSR sebelum mengajukan izin secara resmi dalam waktu dekat. Faktanya, desain reaktor MSR sangat berbeda dengan jenis reaktor berpendingin air ringan / LWR (*Light Water Reactor*) dan sedikit teknologi yang menjadi referensinya. Di samping itu MSR memiliki pengalaman operasi yang minim, sehingga masih banyak hal yang belum dipahami, baik dari segi desain, bahan bakar, perilaku reaktor saat operasi normal maupun kecelakaan, teknologi keselamatan dan sistem keselamatannya. Kajian penting untuk dilakukan dengan tujuan menganalisis kemampuan terapan Perba tersebut pada reaktor jenis MSR. Metode analisis celah digunakan untuk mereviu setiap klausul / pasal dalam Perba ini dengan kriteria

keberterimaan. Hasil kajian akan memberikan masukan pada Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir BAPETEN tentang kemampooterapan Perba No 3 Tahun 2022 pada desain MSR.

POKOK BAHASAN

Meskipun teknologi reaktor MSR pertama kali dipelajari pada tahun 1950-an, saat ini reaktor MSR telah menjadi salah satu kandidat dari enam reaktor canggih yang dipilih pada Forum Generasi IV sebagai calon potensial untuk memenuhi kebutuhan energi masa depan. MSR memiliki konsep unik dibandingkan dengan jenis reaktor saat ini, seperti reaktor air ringan (LWR), atau reaktor Generasi IV lainnya karena bahan bakarnya tidak berbentuk padat tetapi berwujud cairan homogen [kecuali, misalnya, desain reaktor suhu tinggi berpendingin fluorida (FHR) yang saat ini dianggap sebagai bagian dari grup MSR. Dalam MSR, bahan fisil dilarutkan dalam cairan anorganik (kemungkinan besar campuran fluorida atau klorida)] yang dipompa pada tekanan rendah melalui bejana reaktor dan sirkuit primer, sehingga cairan anorganik ini juga berfungsi sebagai pendingin primer. [2]

MSR merupakan desain reaktor maju yang menggunakan bahan bakar dalam bentuk garam lebur. Reaktor MSR adalah reaktor berbahan bakar cair yang dapat digunakan untuk membakar aktinida, menghasilkan listrik, memproduksi hidrogen, dan memproduksi bahan bakar fisil (pembiasaan). Produk/ bahan fisi, fertil, dan fisil dilarutkan dalam suhu tinggi, berupa garam fluorida cair dengan suhu didih sekitar 1400°C. Garam lebur berfungsi sebagai bahan bakar reaktor dan pendingin seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 1. [3]



GAMBAR 1. Skematik Desain MSR

Pada MSR, garam lebur tidak hanya digunakan sebagai pendingin tetapi digunakan sebagai medium pembawa bahan bakar. Bahan bakar MSR terdiri dari campuran garam fluorida $\text{PuF}_3\text{-UF}_4\text{-ThF}_4\text{-7LiF-BeF}_4$ dengan komposisi mol diatur sesuai dengan karakteristik neutronik yang diharapkan. Masing-masing unsur aktinium (Th, U, Pu) dapat diatur komposisi isotopnya. Desain MSR menggunakan moderator grafit. Bahan bakar dalam bentuk garam lebur (molten salt) juga berfungsi sebagai media transfer kalor (pendingin).

Penggunaan bahan bakar dalam bentuk garam lebur pada desain MSR dilakukan untuk memperoleh beberapa keunggulan, yaitu : (1) Memungkinkan reaktor dioperasikan pada suhu tinggi, karena garam lebur mendidih pada suhu 1430 °C pada tekanan atmosferik sedangkan moderator grafit bertahan hingga suhu 3000 °C; (2) Reaktor dioperasikan pada tekanan rendah sehingga mengeliminasi kemungkinan kecelakaan bersifat ekspansif yang melepaskan material radioaktif dari teras; (3) Memungkinkan peningkatan efisiensi termodinamik dan penggunaan reaktor sebagai sumber kalor proses endotermik; (4) Bahan bakar leburan garam berwujud padat pada suhu rendah, sehingga dapat berfungsi sebagai pengungkung material radioaktif pada saat transportasi atau saat tidak digunakan di reaktor; (5) Memungkinkan dilakukan pengolahan ulang (*reprocessing*) bahan bakar saat reaktor beroperasi (*on power*), sehingga memungkinkan dilakukan ekstraksi produk fisi untuk memperbaiki reaktivitas reaktor sekaligus penambahan material fisil secara *on power* hanya sesuai kebutuhan; (6) Memungkinkan pengaturan komposisi bahan bakar fisil dan fertil secara optimum untuk pembiasaan.[4]

Pada desain MSR masalah integritas bahan bakar tidak menjadi kendala untuk mencapai fraksi bakar tinggi karena bahan bakar berbentuk cair, produk fisi dapat diekstrak secara kontinu dan material fertil dapat ditambahkan juga secara kontinu. Desain MSR standar dapat dilihat pada Gambar 1. Desain teras MSR tersusun dari blok-blok grafit moderator berbentuk heksagonal dengan saluran tengah untuk aliran garam bahan bakar. Garam bahan bakar dialirkan dari bawah teras ke atas. Reaksi fisi nuklir menyebabkan pembangkitan panas pada bahan bakar sehingga suhunya naik. Garam bahan bakar selanjutnya dialirkan ke sebuah alat penukar

panas antara untuk mentransfer panas yang dibangkitkan di teras ke sistem garam sekunder yang tidak mengandung bahan bakar. Karena pada alat penukar panas tidak terdapat moderator, maka alat penukar panas tidak dapat mencapai kondisi kritis sehingga reaksi fisi berkesinambungan sebagaimana yang terjadi pada teras reaktor tidak terjadi pada alat penukar panas.

Berdasarkan spektrum energinya, MSR terbagi menjadi dua yaitu spektrum energi termal atau epitermal dan spektrum energi cepat. MSR yang menggunakan spektrum energi cepat dirancang menggunakan bahan bakar dengan kandungan nuklida fisil yang lebih tinggi dibanding dengan yang menggunakan spektrum energi termal. Dengan kandungan nuklida fisil yang lebih tinggi maka MSR berspektrum cepat dapat mencapai kondisi kritis tanpa perlu moderator. Pada MSR semacam ini, teras MSR hanya berupa tangki yang berisi bahan bakar. Pada MSR dengan spektrum termal, dengan menggunakan bahan bakar yang kandungan fisilnya lebih rendah maka diperlukan moderator untuk mencapai kondisi kritis. MSR berspektrum termal atau epitermal menggunakan moderator grafit karena telah terbukti secara langsung kompatibel dengan garam fluorida bahan bakar. Moderator lain telah disarankan seperti hidrida logam (atau deuterida), Be maupun BeO, dan bahkan air, air berat dan natrium hidroksida cair. Semua varian MSR spektrum termal menawarkan manfaat dalam hal pengembangan kasus keselamatan meliputi inersia lebih termal, masa pakai neutron yang lebih lama dan secara praktis tidak adanya masalah kekritisan di luar teras karena tingkat pengayaan fisil yang rendah dalam garam bahan bakar.[5]

MSR dengan spektrum termal dan moderator grafit dipilih untuk dilakukan kajian dengan justifikasi memiliki tingkat kesiapan teknologi yang lebih tinggi dibandingkan kelas MSR lainnya, akibat kesuksesan operasi MSRE dan pada beberapa konsep memiliki kemiripan dengan reaktor temperatur tinggi. [6]

METODOLOGI

Makalah ini merupakan studi literatur yang akan mengidentifikasi kemampuserapan Perba No. 3 Tahun 2022 mengenai Desain Teras Reaktor Daya, terhadap desain teras MSR. Metode deskriptif dan kualitatif digunakan dalam metodologi dengan cara membandingkan setiap aspek dalam desain teras MSR dengan Perba tersebut, serta didukung kriteria keberterimaan/ standar yang berasal dari referensi IAEA, dan referensi internasional.

PEMBAHASAN

Tabel 1. Kemampuserapan Perba No. 3 Tahun 2022 pada Desain MSR

Aspek	Lingkup Pasal	Kemampuserapan	Celah
Bahan bakar	4-5	Pasal 4: ** Pasal 5: **, ***	Penambahan persyaratan baru untuk bejana reaktor beserta sistem loop primer yang berfungsi sebagai penghalang pertama produk fisi, sebagaimana fungsi kelongsong pada bahan bakar LWR.
Pendingin	6	Pasal 6: **, ***	Persyaratan material sebagai bahan bakar dan pendingin, kompatibilitas terhadap material teras, dan stabilitas pendingin
Moderator	7	Pasal 7: ***	Persyaratan moderator
Neutronik	8-14	Pasal 8 ayat 1-2: ** Pasal 9 ayat 1-5: *, ** Pasal 10 ayat 1-2: * Pasal 11 ayat 1-5: ** Pasal 12: *, ** Pasal 13: * Pasal 14 ayat 1-2: *, **	Parameter keselamatan neutronik.
Termohidrolik	15-19	Pasal 15: ** Pasal 16: ** Pasal 17 ayat 1-6: *, **, *** Pasal 18 ayat 1-4: *, **, *** Pasal 19 ayat 1-3: *, **	Parameter keselamatan termohidrolik. Metode analisis, pemodelan dan simulasi.

Keterangan: *) relevan; **) relevan dengan catatan; ***) tidak relevan

Aspek Bahan Bakar

Pasal 4 dan 5 bertujuan untuk memastikan elemen dan perangkat bahan bakar terjaga integritas strukturnya dan tahan terhadap tingkat radiasi dalam kombinasi dengan semua proses kerusakan yang dapat terjadi pada kondisi operasi. termasuk kombinasi Teras dengan desain sistem pendingin, kendali reaktor, dan sistem proteksi reaktor mampu memenuhi fungsi keselamatan pada semua kondisi operasi dan kondisi kecelakaan.

Pada MSR dengan bahan bakar berbentuk cair tidak terdapat kelongsong yang berupa perangkat atau elemen bahan bakar. Pengungkungan pertama dari material radioaktif yang terdapat dalam bahan bakar adalah bejana

reaktor (POT) dan sistem primer [7]. Dengan demikian bejana reaktor sistem primer harus mampu mengungkung material radioaktif dalam semua kondisi operasi selama seumur hidup desain bejana dan sistem primer.

Sifat bahan bakar cair MSR yang umumnya korosif harus mampu menjaga integritas struktur teras dan moderator grafit. Bahan bakar tidak diperbolehkan mengendap/menggumpal karena menyebabkan pembangkitan daya lokal yang tinggi di dasar teras, dan kemungkinan menimbulkan gangguan aliran katup beku (*freeze valve*). Akumulasi produk fisi dalam bahan bakar cair tidak boleh menyebabkan degradasi struktur material teras. Berkaitan dengan geometri dan desain kanal aliran bahan bakar pada moderator grafit, desain harus dipastikan agar aliran bahan bakar tidak terganggu akibat proses pengerutan (*shrinking*) grafit.

Ketika grafit teriradiasi akan terjadi proses pengerutan dilanjutkan swelling grafit secara volume. Pada desain MSBR, batas fluence neutron cepat ($E > 50$ keV) diusulkan sebesar 3×10^{22} neutron/cm². Batasan fluence ini dapat diterapkan pada MSR spektrum termal untuk menjadi persyaratan penggantian komponen grafit secara berkala [9].

Pengerutan grafit dapat terjadi akibat paparan *fluence* neutron. Jika lubang kanal batang kendali terletak pada moderator grafit, maka pengerutan grafit tidak boleh menyebabkan terganggunya pergerakan keluar masuk batang kendali. Kombinasi beban radiasi, panas dan getaran oleh aliran (*flow-induced vibration*) tidak boleh menyebabkan grafit rontok maupun pecah dalam jumlah signifikan yang dapat menyebabkan penyumbatan kanal pendingin maupun pipa penukar panas. Pemohon izin perlu memasang sistem pemantauan teras untuk mendeteksi penyumbatan kanal. Jika terjadi penyumbatan kanal aliran bahan bakar, pemohon izin harus memastikan terdapat margin temperatur bahan bakar yang memadai terhadap titik didih bahan bakar untuk menghindari terjadinya pendidihan.

Pada MSR, distribusi fluks menyebabkan pembangkitan daya volumetrik yang tidak merata. Akibatnya, grafit mengalami pemanasan lokal menyebabkan gradien temperatur yang tinggi dalam waktu yang lama sehingga umur masa pakai grafit berkurang.

Integritas grafit dipertahankan dengan cara membatasi paparan *fluence* neutron tidak melebihi nilai tertentu yang menimbulkan *displacement per atom* (dpa). Integritas material struktur lainnya seperti POT harus dipertahankan terhadap *fluence* neutron maupun produk fisi yang bersifat merusak atau korosif. Akumulasi produk fisi pada bahan bakar mengubah kinerja neutronik maupun sifat fisis fluida bahan bakar.

Dalam referensi [10] MSR tidak memiliki struktur mekanik bahan bakar sehingga evaluasi mekanik tidak diperlukan. Fokus evaluasi desain material bahan bakar MSR adalah evaluasi kimia bahan bakar. Hal ini diperkuat dengan referensi [11], pada bahan bakar cair tidak ada akumulasi efek mekanis seperti *stress*, *creep*, dan *swelling*. Namun, reaktor berbahan bakar garam lebur harus menunjukkan pemenuhan terhadap kriteria desain mengenai degradasi kondisi bahan bakar, retensi radionuklida, stabilitas reaktor, umpan balik reaktivitas negatif, dan perpindahan panas. Komposisi kimia bahan bakar garam MSR berubah secara terus-menerus akibat proses fisi bahan bakar dengan timbul dan hilangnya produk fisi, interaksi kimia bahan bakar dengan dinding batas primer, perubahan komposisi sistem pengendalian kimia, dan perubahan komposisi aktinida.

Reaktor MSR tidak memiliki kelongsong. Fungsi kelongsong sebagai penghalang pertama terhadap lepasan produk fisi digantikan oleh POT. Oleh karena itu, ketentuan dalam Pasal 5 ini perlu penambahan persyaratan desain baru terkait POT MSR. Kelongsong pada LWR memiliki fungsi sebagai penghalang dan perpindahan panas, sedangkan POT memiliki fungsi penghalang. POT MSR berada di luar *shielding* dengan material B₄C yang merupakan penyerap neutron kuat sehingga penyerapan neutron oleh POT tidak boleh berpengaruh terhadap kinerja neutronik teras. Walaupun letaknya di luar B₄C, POT menahan beban massa yang besar, sehingga kombinasi beban massa dan radiasi tidak boleh menyebabkan kegagalan fungsi sebagai penghalang produk fisi. POT juga harus memiliki ketahanan korosi yang memadai selama masa operasi yang direncanakan.

Aspek Pendingin

Tujuan evaluasi dalam Pasal 6 adalah memastikan kestabilan pendingin dengan bahan bakar dan komponen teras memiliki margin memadai sehingga batas desain bahan bakar nuklir dan sistem pendingin reaktor bertekanan tidak terlampaui dalam seluruh kondisi operasi.

Pada reaktor MSR, garam lebur berfungsi sebagai bahan bakar dan sebagai pendingin. Persyaratan pada bahan bakar dan pendingin di LWR bisa diterapkan pada bahan bakar garam lebur. Pada desain MSR [5,7], semua komponen sistem primer reaktor ditempatkan dalam sebuah wadah yang disebut sebagai CAN. Pemegang izin harus memastikan desain bahan bakar garam lebur memenuhi kestabilan garam lebur dengan material struktur CAN dan material lain di dalam teras, kestabilan pendingin dengan komponen teras, kestabilan fisika dan kimia, dan pencegahan dan pengendalian ketidakstabilan aliran dan fluktuasi reaktivitas atau daya. [9]

Garam lebur MSR berfungsi sebagai pendingin dalam kondisi normal dan kejadian abnormal termasuk kondisi padam (untuk pembuangan panas sisa). Produk fisi dihasilkan dalam bahan bakar sebagai hasil proses fisi. Keberadaan material dalam produk fisi ini akan mengubah komposisi kimia garam bahan bakar dan pada akhirnya akan mengubah sifat fisik termal bahan bakar/pendingin. Perubahan komposisi garam bahan bakar mempengaruhi kemampuan untuk memindahkan panas dari reaktor. Misalnya, perubahan komposisi garam bahan bakar dapat mengubah titik leleh atau titik didih fluida, viskositas, dan sifat termal seperti kapasitas panas atau karakteristik perpindahan panas konveksi. Perubahan komposisi garam bahan bakar juga dapat mengakibatkan terkelupasnya material pada pipa atau dinding bejana, terutama pada suhu rendah. Penambahan

produk fisi karena proses fisi atau konversi isotop fertil menjadi bahan fisil juga dapat mempengaruhi kelarutan material atau korosif garam.

Oleh karena itu garam lebur harus memiliki rentang suhu yang tinggi antara titik leleh dan titik didih. Garam lebur juga harus memiliki titik didih yang tinggi untuk menghindari terjadinya gelembung masif akibat pendidihan pada kecelakaan dasar desain. Oleh karena itu, garam lebur tidak boleh membeku dan mengendap. Terkait ketidakstabilan aliran dan fluktuasi reaktivitas, hal ini dapat dicapai jika tidak ada perubahan fasa dan perubahan tekanan yang berfluktuasi. Jika bahan bakar tetap pada fasa cair, maka reaktivitas dan tekanan akan relatif tetap stabil. Fluktuasi daya dapat terjadi antara lain akibat penambahan bahan bakar, terbentuknya produk fisi berupa gas, maupun perubahan kecepatan aliran. Fluktuasi daya harus dapat dikendalikan dan dikembalikan ke kondisi stabil.

Bahan bakar MSR tidak didesain untuk dibatasi aktivitas radionuklidanya, karena bahan bakar garam lebur memang didesain sebagai material tempat berlangsungnya reaksi fisi. Pengendalian efek yang dimiliki garam lebur akibat perubahan komposisi produk fisi dan grafit terlarut terhadap reaktivitas dan umpan balik reaktivitas dilakukan pada semua kondisi operasi dan kecelakaan. Selain itu, desain harus dapat mempertimbangkan penentuan, pemantauan dan pengendalian sifat garam lebur, seperti pencegahan terhadap pengendapan garam, kestabilan sifat kimia garam lebur akibat akumulasi produk fisi, dan efek perubahan komposisi produk fisi pada bahan bakar garam terhadap sifat-sifat neutronik, seperti koefisien reaktivitas temperatur bahan bakar dan moderator, reaktivitas void.

Aspek Moderator

Tujuan evaluasi dalam Pasal 7 adalah memastikan pengaturan moderator dan jarak antar elemen dan antar perangkat bahan bakar yang memenuhi persyaratan teknis dan keselamatan terkait umpan balik reaktivitas akibat perubahan temperatur moderator, densitas moderator atau fraksi void, optimalisasi ekonomi neutron, dan konsumsi bahan bakar. Pada MSR berbahan bakar garam lebur, ketentuan tersebut tidak relevan.

Pada reaktor LWR, moderator yang digunakan umumnya adalah air ringan. Air ini juga berfungsi sebagai pendingin, sehingga menerima panas yang mengakibatkan perubahan suhu pada air dan juga densitasnya.

Moderator grafit memberikan efek reaktivitas umpan balik daya positif karena pergeseran spektrum neutron akibat suhu. MSR harus didesain supaya koefisien umpan-balik daya negatif akibat efek doppler lebih dominan dibandingkan dengan koefisien umpan-balik daya positif moderator grafit. Dengan demikian secara keseluruhan desain MSR memiliki koefisien reaktivitas umpan-balik daya yang negatif

Umpan balik reaktivitas akibat perubahan densitas moderator (fraksi void) merupakan perubahan reaktivitas akibat perubahan kerapatan molekul air. Dalam perhitungannya hanya menggunakan data nuklir pada satu suhu tertentu saja dengan memvariasikan densitas air. Perubahan densitas moderator dapat terjadi antara lain: akibat pemanasan dari bahan bakar, kavitasi pompa, pelepasan tekanan (misal akibat kebocoran sistem primer), dll. Pada proses pemanasan baik pada kondisi normal ataupun kecelakaan akan terjadi dua umpan balik reaktivitas, yaitu perubahan temperatur moderator dan densitas moderator. Pada sistem reaktor dengan tekanan tinggi, perubahan temperatur yang terbatas mungkin tidak sekaligus menyebabkan perubahan densitas, sehingga hanya memunculkan umpan balik reaktivitas temperatur moderator saja. Sebaliknya pada kejadian pelepasan tekanan, hanya terjadi perubahan densitas saja tetapi tidak terjadi perubahan temperatur pada moderator. Perubahan reaktivitas umpan balik terhadap tingkat *burn up* bahan bakar harus dipertimbangkan dalam analisis keselamatan.

Selain memenuhi ketentuan di atas, reaktor MSR yang menggunakan grafit sebagai bahan moderator, maka pemegang Izin harus memastikan efektivitas sistem pemadaman reaktor pada kecelakaan, kemampuan untuk menghilangkan panas peluruhan pada Kondisi Kecelakaan, upaya pencegahan masuknya air dan udara, fluence neutron cepat yang diterima grafit tidak melebihi nilai batas yang dapat menyebabkan kerusakan, perubahan geometri grafit tidak mengganggu aliran bahan bakar dan pergerakan batang kendali, dan konsekuensi kerusakan grafit yang menyebabkan kerontokan telah diantisipasi terhadap kemungkinan penyumbatan pada kanal bahan bakar maupun penukar panas.

Grafit adalah komponen penting dalam teras MSR spektrum termal karena berfungsi sebagai moderator dan reflektor neutron. Karena grafit akan teriradiasi dan bersentuhan dengan garam bahan bakar, maka perlu ditetapkan beberapa persyaratan untuk grafit. Referensi [8,9] telah menetapkan persyaratan grafit sebagai berikut: (1) Reaksi-reaksi fisi menyebabkan kerusakan jika garam (pembawa) bahan bakar masuk ke dalam grafit. Agar garam cair tidak membasahi grafit, peluang masuknya garam cair ke dalam grafit dapat dicegah dengan membuat ukuran diameter-pori pada grafit kurang dari 1×10^{-6} m dengan memanfaatkan sifat tegangan permukaan dari garam cair. Jika diameter pori kurang dari 1×10^{-6} m, maka garam cair tidak akan masuk/membasahi permukaan grafit. Nilai ini dapat ditetapkan sebagai kondisi batas operasi pemakaian grafit dalam operasi reaktor MSR; (2) Mencegah penyerapan Xe dan Kr oleh grafit. Produk fisi ^{135}Xe memilikiampang lintang serapan neutron yang besar, yang akan merugikan ekonomi neutron di teras. Produk fisi ^{135}Xe ini harus dikeluarkan dari garam cair dengan menggunakan sistem injeksi gelembung-He untuk mengeluarkan Xe dan Kr secara efisien dari garam cair; (3) Dalam desain MSBR, batas fluence neutron cepat ($E > 50$ keV) diusulkan sebesar 3×10^{22} neutron/cm². Batasan fluence ini dapat diterapkan pada MSR spektrum termal untuk menjadi persyaratan penggantian komponen grafit secara berkala, dan (4) Grafit mendapatkan panas dari energi

gamma dan perlambatan neutron, meskipun besar panasnya tidak sebesar panas dalam garam bahan bakar. Namun panas ini akan mempengaruhi desain termohidrolik MSR dan stabilitas iradiasi grafit.

Aspek Neutronik

Tujuan pemenuhan Pasal 8 hingga 14 adalah memastikan kecukupan parameter keselamatan neutronik dan memperkirakan perilaku reaktor pada seluruh kondisi operasi. MSR termal memiliki koefisien reaktivitas temperatur total negatif (total dari koefisien reaktivitas temperatur bahan bakar, moderator dan reflektor) dan umumnya memiliki koefisien reaktivitas void yang positif. Reaktivitas void positif ini perlu diantisipasi dengan mengidentifikasi potensi sumber-sumber void yang bukan berasal dari proses pemanasan, seperti kavitasi pompa, pecahnya loop primer yang menyebabkan pelepasan tekanan.

MSR termal bekerja pada aliran laminar satu fase dengan karakteristik aliran fluida relatif stabil. Namun munculnya produk fisi berupa gas dan akumulasi produk fisi pada bahan bakar harus diantisipasi terutama perubahannya terhadap sifat fisis termal, seperti viskositas, kapasitas panas dan konduktivitas panas.

Terkait dengan kemampuan sistem kendali dan sistem pemadaman tetap berfungsi di semua kondisi operasi dan kondisi kecelakaan, serta deteksi dan kendali daya, reaktor harus memiliki paling sedikit dua sistem *shutdown* yang independen, yang masing-masing mampu membawa reaktor subkritis pada semua kondisi operasi, termasuk dengan asumsi *one stuck rod* pada kondisi reaktor yang paling reaktif. Salah satu dari dua sistem kendali tersebut harus diberi fungsi untuk melakukan *scram* dengan kecepatan yang memadai termasuk pada saat kecelakaan penyisipan reaktivitas maksimum yang diantisipasi. Reaktor harus memiliki sistem pemantauan untuk mendeteksi dan mengendalikan daya. Sistem monitoring daya biasanya dilakukan dengan mendeteksi fluks neutron dengan detektor neutron. Sehingga sistem reaktor harus memungkinkan instalasi detektor, monitor dan instrumentasinya serta unit pengolah data untuk mengambil keputusan pada saat kejadian abnormal yang mengarah pada kecelakaan.

Pengisian bahan bakar MSR termal dapat dilakukan tanpa mematikan reaktor, sehingga diperlukan strategi sistem pemuatan dan pengisian bahan bakar dengan metode *continuous feed and bleed* ini. Strategi yang dimaksud berupa antara lain: penentuan kuantitas, konsentrasi dan laju penambahan bahan bakar; penanganan terhadap luapan bahan bakar bekas; manajemen/penanganan terhadap tangkapan gas Xe, Kr, dll. Kemudian, setelah proses pengisian bahan bakar ini, pemegang ijin harus melakukan analisis dan kemungkinan berubahnya parameter keselamatan pada semua kondisi operasi baik BOC, MOC maupun EOC, termasuk analisis laju penyisipan reaktivitas maksimum akibat pemasukan bahan bakar baru tersebut dan efeknya terhadap dinamika dan keselamatan reaktor.

Persyaratan khusus desain baru MSR pada parameter keselamatan neutronik MSR meliputi koefisien reaktivitas temperatur untuk bahan bakar, moderator dan reflektor, margin padam dan reaktivitas lebih pada kondisi teras paling reaktif, laju penyisipan reaktivitas maksimum, reaktivitas batang kendali dan reaktivitas batang kendali bank, faktor puncak daya radial dan aksial, termasuk osilasi daya yang disebabkan xenon, koefisien reaktivitas void bahan bakar, paparan *fluence* neutron maksimum pada moderator grafit di akhir masa operasi moderator, (densitas) pembangkitan panas volumetrik akibat radiasi gamma dan neutron (*gamma heating* dan *neutron heating*) pada moderator grafit.

Parameter keselamatan tersebut harus dievaluasi untuk moda operasi; dan strategi manajemen bahan bakar, meliputi: *start-up*, operasi daya, padam panas, padam terdingin, pemuatan bahan bakar dan ekstraksi isotop tertentu, dan *hot standby*.

Data distribusi fluks dan distribusi daya berguna untuk menghindari terjadinya pembangkitan daya lokal yang terlalu tinggi sehingga secara radial terjadi daya yang tidak seimbang. Jika pembangkitan daya lokal yang tinggi tidak bisa dihindari, pemegang ijin dapat memasang *orificing* yang bertujuan untuk memperoleh rasio densitas daya terhadap laju alir massa yang merata secara radial.

Variasi distribusi daya lokal yang terlalu besar yang mengarah pada daya tidak seimbang dapat menimbulkan ketidakstabilan aliran, dan jika berlangsung dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan *thermal stratification* (gradien temperatur) pada grafit. Perbedaan suhu yang besar dalam jangka waktu lama dapat merusak grafit lebih cepat.

MSR Termal tidak menggunakan racun dapat bakar. Namun untuk memastikan margin padam yang memadai maka sistem kendali reaktivitas harus dievaluasi untuk semua kondisi teras, termasuk mempertimbangkan peluruhan Pa-233 maksimum dan efek deplesi material penyerap pada batang kendali.

Batasan nilai reaktivitas maksimum ditentukan dari perangkat kendali reaktivitas. Oleh karena itu, desain neutronik agar mempertimbangkan penggunaan sistem kendali reaktivitas yang efisien, yaitu sistem kendali yang memiliki harga reaktivitas yang memadai termasuk jika terjadi kondisi *one stuck rod*, kecepatan masuk ke dalam teras (waktu jatuh yang cepat) untuk mengantisipasi kecelakaan karena reaktivitas yang paling parah, dan memiliki waktu tunda yang rendah.

Sistem kendali reaktivitas harus dilengkapi dengan detektor yang memberikan sinyal alarm ke operator jika kondisi reaktor mengarah ke kondisi kecelakaan, dan melakukan tindakan penyelamatan (*scram*) jika terjadi kecelakaan. Sistem kendali harus dievaluasi untuk semua potensi kecelakaan DBA, terutama RIA yang paling parah.

Sistem kendali reaktivitas MSR terdiri dari dua jenis berupa batang kendali dan sistem tangki pengurusan bahan bakar (*Fuel Drain Tank: FDT*). Pada desain neutronik ini, pemegang ijin harus menentukan BKO sistem

kendali reaktivitas seperti *shutdown* margin minimum, laju penyisipan reaktivitas positif maksimum akibat penarikan batang kendali, waktu jatuh batang kendali, waktu tunda instrumentasi antara sinyal scram terhadap aksi respon. Sementara BKO FDT dapat berupa jumlah katup beku, laju minimum aliran bahan bakar ke FDT, titik pengesetan suhu bukaan katup, batas reaktivitas maksimum bahan bakar di FDT, dan kemampuan pendinginan bahan bakar. FDT yang berfungsi sebagai sistem *shutdown* kedua juga harus dievaluasi untuk semua kondisi kredibel yang mungkin seperti keberadaan moderator di sekitarnya (banjir), keberadaan rontokan grafit dari teras, dll.

Aspek Termohidrolik

Tujuan pemenuhan Pasal 15 hingga 19 adalah memastikan kecukupan parameter keselamatan termohidrolik dan memperkirakan perilaku reaktor pada seluruh kondisi operasi. Pada MSR fluida kerja yang digunakan bukan air, dengan demikian istilah termohidrolik bisa diganti dengan termodinamik. Batas-batas termodinamika yang berlaku untuk MSR, seperti daya maksimum (*over power trip point*) temperatur maksimum dan minimum bahan bakar garam, laju alir maksimum dan/atau minimum, ketidakstabilan aliran bahan bakar garam, maksimum osilasi daya, rasio maksimum puncak daya radial dan aksial, temperatur maksimum moderator grafit.

Untuk memastikan kemampuan pendinginan untuk menjaga integritas bahan bakar, pemegang izin harus menentukan batas desain termohidrolik spesifik dengan margin yang memadai. Laju pembangkitan panas linier maksimum (*maximum linear heat generation*) hanya relevan untuk reaktor berbahan bakar silinder, sementara rasio daya kritis minimum dan *departure from nucleate boiling ratio minimum* diterapkan untuk BWR dan PWR. Menurut referensi [10] parameter ini tidak relevan untuk MSR dan bisa diganti dengan pembangkitan panas volumetrik maksimum (*maximum volumetric heat generation* (Kw/cm^3), dan gas entrainment. Temperatur bahan bakar maksimum dapat diterapkan untuk MSR, dengan tujuan untuk mempertahankan margin temperatur terhadap terjadinya pendidihan.

Karena bahan bakar MSR berupa garam lebur, maka yang menjadi penghalang pertama terhadap pelepasan produk fisi adalah POT/ sistem loop primer. Temperatur maksimum kelongsong tidak relevan untuk MSR, namun hal yang sama dapat diterapkan untuk material POT dan perpipaan loop primer, yang merupakan penghalang pertama pelepasan produk fisi.

Dalam melaksanakan analisis termohidrolik, metode yang digunakan dalam harus sesuai dengan fenomena fisis yang terjadi pada reaktor, yang mensimulasikan hubungan (*coupling*) antara aspek neutronik, termodinamika dan aspek mekanik. Fenomena khas seperti sirkulasi delay neutron, pembangkitan panas pada fluida kerja (bahan bakar garam lebur), panas gamma pada moderator grafit, dll, dapat direpresentasikan dengan code yang digunakan. Code yang digunakan harus divalidasi dengan eksperimen. Sumber-sumber ketidakpastian harus diidentifikasi dan dikuantifikasi. Model dua fasa perlu dipertimbangkan, jika gas produk fisi atau fasa lainnya terlarut dan bersirkulasi secara kontinyu karena aliran dua fasa akan berpengaruh pada kinerja perpindahan panas.

Sesuai referensi [11], pemodelan dan simulasi adalah faktor kunci dalam desain dan perizinan reaktor maju. Terdapat banyak pilihan perangkat analisis yang tersedia untuk menganalisa kinerja dan merumuskan keputusan desain, akan tetapi perangkat tersebut harus diadaptasi dan divalidasi dalam penggunaannya terhadap reaktor MSR untuk mendukung review perizinan. Untuk memperoleh data pemodelan dan simulasi dapat dihasilkan menggunakan pengujian efek terpisah, pengujian efek terintegrasi, dan reaktor uji. Beberapa data meliputi sifat garam dari garam yang diinginkan untuk kinerja termal dan kimia, perilaku tritium, produk fisi dan aktinida dalam sistem termasuk di dalamnya migrasi dan deposisi, data material struktural dan material moderator, dan data nuklir untuk simulasi neutronik.

KESIMPULAN

Pada desain teras MSR, kriteria keberterimaan pada aspek bahan bakar, pendingin, moderator, neutronik dan termohidrolik yang ditetapkan dalam Perba No. 3 Tahun 2022 dapat diberlakukan dengan penyesuaian. Parameter neutronik MSR meliputi koefisien reaktivitas temperatur untuk bahan bakar, moderator dan reflektor, margin padam dan reaktivitas lebih pada kondisi teras paling reaktif, laju penyisipan reaktivitas maksimum, reaktivitas batang kendali dan reaktivitas batang kendali bank, faktor puncak daya radial dan aksial, termasuk osilasi daya yang disebabkan xenon, koefisien reaktivitas void bahan bakar, paparan fluence neutron maksimum pada moderator grafit di akhir masa operasi moderator, densitas pembangkitan panas volumetrik akibat radiasi gamma dan neutron (*gamma heating* dan *neutron heating*) pada moderator grafit. Parameter termohidrolik MSR meliputi pembangkitan panas volumetrik maksimum, gas entrainment, temperatur bahan bakar maksimum, termasuk temperatur material bejana reaktor dan perpipaan loop primer sebagai penghalang pertama produk fisi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Manajemen P2STPIBN untuk seluruh dukungan sehingga makalah ini dapat tersusun. Kami haturkan terima kasih juga kepada penilai makalah atas masukan dan koreksi berharga.

Makalah ini merupakan studi pendahuluan, bagian dari keluaran Laporan Hasil Kajian Keselamatan Reaktor Kecil, Menengah, dan Modular Tahun Anggaran 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Bapeten Nomor 3 Tahun 2022 tentang Keselamatan Desain Teras Reaktor Daya. (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, 2022).
- [2] O. Beneš and P. Souček, "Molten Salt Reactor Fuels," in *Advances in Nuclear Fuel Chemistry*, edited by M.H.A. Piro (Elsevier, Cambridge 2020), pp. 249–271.
- [3] B. M. Elsheikh. (2013) Safety Assessment of Molten Salt Reactors in Comparison with Light Water Reactors, *J. Radiat. Res. Appl. Sci*;6(2): 63–70, doi: 10.1016/j.jrras.2013.10.008.
- [4] Badan Pengawas Tenaga Nuklir and Universitas Gadjah Mada, Laporan Hasil Kajian Teknis untuk Mendukung Penyusunan Peraturan Desain Teras Reaktor Daya, (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, 2018).
- [5] V. V. Ignatiev, "Molten Salt Reactor," in *Encyclopedia on Nuclear Energy*, vol. 1, edited by E. Greenspan. (Elsevier, Amsterdam, 2021), pp. 553–568.
- [6] IAEA, Status of Molten Salt Reactor Technology, (IAEA, Vienna, 2021). available at : www.iaea.org/publications.
- [7] L.Jorgensen, "ThorCon Reactor" in *Molten Salt Reactors and Thorium Energy*, edited by T.J. Dolan. (Woodhead Publishing, Cambridge, 2017), pp.559.
- [8] B.J. Marshden, A.N. Jones, et.al., "Graphite as a core material for Generation IV nuclear reactors" in *Structural Materials for Generation IV Nuclear Reactors*, edited by P.Yvon. (Woodhead Publishing, Cambridge, 2017), pp.495–532.
- [9] R.Yoshioka, M.Kinoshita, I.Scott, "Materials" in *Molten Salt Reactors and Thorium Energy*, edited by T.J. Dolan. (Woodhead Publishing, Cambridge, 2017), pp.195-196.
- [10] R. J. Belles and G. F. Flanagan, Regulatory Gap Analysis of Select NUREG-0800 Chapters for Applicability to Molten Salt Reactors. 2018. available at: www.osti.gov.
- [11] R. J. Belles, G. F. Flanagan, D. E. Holcomb, and W. P. Poore, A Safety and Licensing Roadmap to Identify the Research and Development Gaps of Commercial Molten Salt Reactors. 2018. available at: www.osti.gov.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



KAJIAN KETIDAKSESUAIAN DALAM INDIKATOR KESELAMATAN DAN KEAMANAN DI PUSAT STANDARDISASI DAN MUTU NUKLIR

Yulaida Maya Sari^{1,a)}, Irvan Dwi Junianto^{2,b)}

^{1,2}*Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Puspiptek Gedung 71, Tangerang Selatan, 15314, Banten, Indonesia*

^{a)}Corresponding author: yulaida.maya.sari@brin.go.id

^{b)}irvan.dwi.junianto@brin.go.id

Abstrak. Pemanfaatan sumber radiasi pengion yang merupakan bagian dari pemanfaatan tenaga nuklir berkembang cukup pesat di berbagai bidang. Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN) memanfaatkan dan menggunakan sumber radiasi pengion berupa pesawat X-ray untuk kegiatan radiografi industri. Inspeksi yang dilakukan BAPETEN ke PSMN berfungsi sebagai bentuk pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia untuk memastikan kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion dilakukan secara aman dan selamat sesuai dengan peraturan ketenaganukliran yang berlaku. Dari Laporan Hasil Inspeksi (LHI) tahun 2019 dan 2021, dilakukan kajian penerapan sistem manajemen keselamatan sumber radiasi pengion di PSMN, berdasarkan Indikator Keselamatan dan Keamanan (IKK). Terdapat 3 (tiga) indikator yang menjadi temuan berulang saat inspeksi yaitu ketersediaan Sumber Daya Manusia; pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi; serta ketersediaan dan kesesuaian dokumen dan rekaman. Hal ini menandakan bahwa ketiga indikator tersebut adalah indikator paling lemah dan harus mendapat perhatian khusus oleh Pemegang Izin sehingga kepatuhan terhadap pemenuhan persyaratan pada indikator tersebut bisa lebih baik lagi serta tidak menjadi temuan berulang pada inspeksi tahun berikutnya.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber radiasi pengion yang merupakan bagian dari pemanfaatan tenaga nuklir berkembang cukup pesat di berbagai bidang, maka perlu dilakukan peningkatan upaya pengawasan agar pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia dapat dilakukan secara aman dan selamat. Badan Pengawas melakukan pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir. Untuk melaksanakan tugas pengawasan, Badan Pengawas menyelenggarakan peraturan, perizinan dan inspeksi¹. Salah satu bentuk pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir yaitu melalui inspeksi. Pelaksanaan inspeksi tersebut selain untuk membuktikan bahwa pemanfaatan tenaga nuklir dilaksanakan sesuai dengan tujuan pemberian izin, juga sekaligus untuk memberikan dukungan kebijakan oleh pemerintah untuk mewujudkan *pro-environment*.

Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN) yang saat ini terintegrasi dengan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) menjadi Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir (PRTKMMN) menggunakan dan memanfaatkan sumber radiasi pengion berupa pesawat X-ray. Penggunaan pesawat X-ray untuk kegiatan radiografi industri pada Uji Tak Rusak (*Non-Destructive Testing*) yaitu untuk melakukan Sertifikasi Personel Radiografi dan kegiatan-kegiatan radiografi industri lainnya dalam rangka pemeriksaan kualitas suatu struktur dan/atau produk. Dengan adanya status pemanfaatan sumber radiasi pengion yang dilakukan oleh PSMN, maka pada waktu tertentu PSMN akan diinspeksi oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) untuk memastikan ditaatinya syarat-syarat dalam perizinan dan peraturan ketenaganukliran.

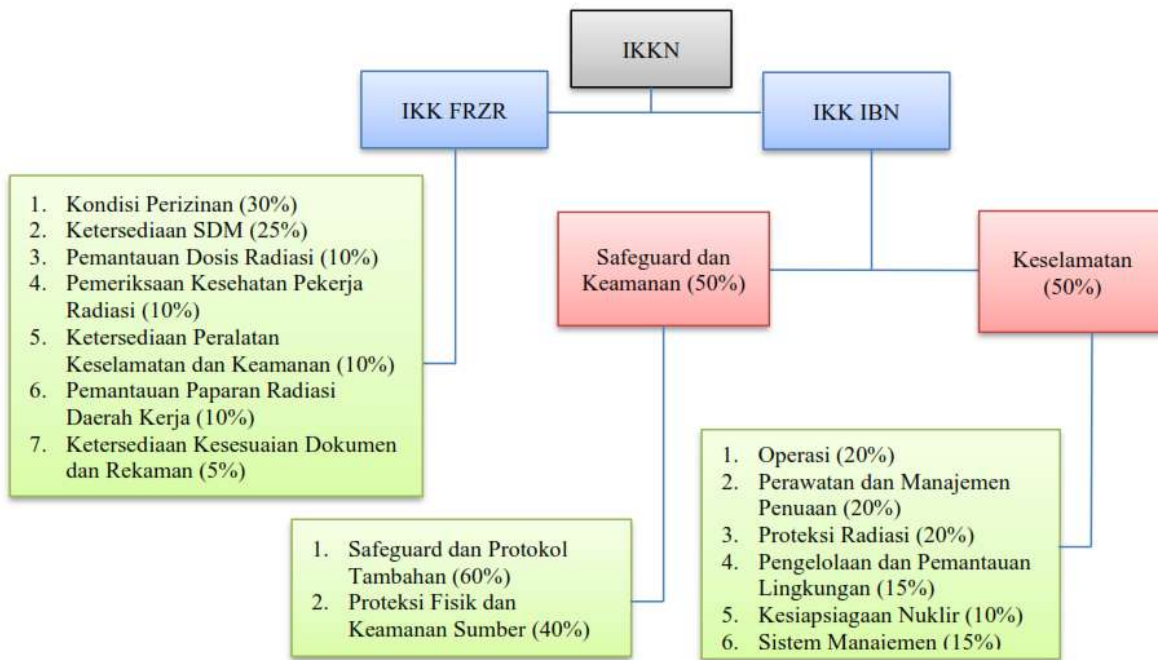
Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2017 mengenai Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif terkait dengan pelaksanaan inspeksi yang diatur lebih rinci pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2017 terkait pelaksanaan inspeksi dalam pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir maka BAPETEN melaksanakan inspeksi keselamatan dan keamanan di fasilitas radiasi dan instalasi nuklir. Pada kegiatan inspeksi tersebut dilakukan penilaian parameter keselamatan melalui penilaian Indikator Keselamatan dan Keamanan sesuai dengan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2017. Indikator Keselamatan dan Keamanan (IKK) adalah persyaratan keselamatan dan keamanan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (FRZR) yang harus dipenuhi oleh seluruh pengguna Sumber Radiasi Pengion (SRP). IKK yang merupakan hasil dari penilaian inspeksi terdiri dari 7 (tujuh) indikator yaitu kondisi terkait perizinan,

ketersediaan SDM, pemantauan dosis radiasi, pemantauan kesehatan pekerja radiasi, ketersediaan peralatan keselamatan dan keamanan, pemantauan paparan radiasi daerah kerja, ketersediaan dan kesesuaian dokumen dan rekaman keselamatan dan keamanan².

Berdasarkan Laporan Hasil Inspeksi (LHI) yang dikeluarkan oleh BAPETEN, dilakukan analisis atau kajian terhadap pemenuhan persyaratan IKK yang telah diterapkan PSMN dalam kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penerapan sistem manajemen keselamatan sumber radiasi pengion melalui kajian IKK dari hasil inspeksi sehingga dapat terlihat tingkat kepatuhan untuk setiap indikator terhadap peraturan ketenaganukliran yang berlaku. Hal ini dapat menjadi bahan masukan bagi Pemegang Izin (PI) dalam menetapkan kebijakan dan tindakan untuk peningkatan berkelanjutan.

TEORI

Indikator Keselamatan dan Keamanan (IKK)



GAMBAR 1. Penilaian Index Keselamatan dan Keamanan Nuklir (IKKN)³

Berdasarkan Perka BAPETEN No. 1 Tahun 2017, nilai Index Keselamatan dan Keamanan Nuklir (IKKN) merupakan nilai gabungan (rerata) dari hasil penilaian kinerja keselamatan dan keamanan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (FRZR) dan penilaian kinerja keselamatan dan keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir (IBN), dengan komponen penilaian seperti dijelaskan pada Gambar 1. IKK yang menjadi penilaian PSMN yaitu IKK FRZR karena PSMN hanya memanfaatkan sumber radiasi pengion dan bukan merupakan instalasi bahan nuklir. IKK FRZR merupakan persyaratan keselamatan dan keamanan FRZR bagi pengguna SRP yang harus dipenuhi. Setiap indikator diberikan nilai bobot masing-masing pada Tabel 1 dan kriteria penilaian IKK pada Tabel 2². Kemudian untuk memperoleh nilai IKK, data persentase terhadap masing-masing parameter dikalikan dengan bobot yang relevan, dijumlahkan dan dirata-ratakan. Pemberian nilai terhadap kondisi fasilitas berdasarkan LHI, laporan tindak lanjut temuan, dan laporan status perizinan terkini merupakan parameter dalam penilaian IKK.

TABEL 1. Parameter Index Keselamatan dan Keamanan dan Pembobotannya²

No.	Parameter IKK	Bobot
1.	Kondisi Perizinan	30%
2.	Ketersediaan Sumber Daya Manusia	25%
3.	Pemantauan Dosis Radiasi	10%
4.	Pemeriksaan Kesehatan Pekerja Radiasi	10%
5.	Ketersediaan Peralatan Keselamatan dan Keamanan	10%
6.	Pemantauan Paparan Radiasi Daerah Kerja oleh Fasilitas	10%
7.	Ketersediaan Kesesuaian Dokumen dan Rekaman	5%

TABEL 2. Kriteria Penilaian Indeks Keselamatan dan Keamanan ²

Hasil Penilaian		Nilai
A	Seluruh parameter memenuhi dan sesuai	100
B	Seluruh parameter memenuhi tetapi ada yang tidak sesuai	70
C	Sebagian parameter memenuhi	30
D	Sebagian parameter tidak memenuhi	0

TABEL 3. Hasil Penilaian Indeks Keselamatan dan Keamanan⁴

No.	Nilai IKK	Deskripsi Informasi	Sebutan	Warna	Keterangan
1.	0 – 49	Fasilitas dioperasikan dengan kondisi keselamatan yang membahayakan, dioperasikan secara ilegal dan/atau dioperasikan oleh personil yang tidak berkompeten	Kurang	Merah	Fasilitas dilarang dioperasikan
2.	50 – 69	Fasilitas dioperasikan dalam kondisi keselamatan minimal karena masih terdapat beberapa parameter keselamatan yang belum terpenuhi	Cukup	Kuning	Fasilitas dapat dioperasikan dengan kondisi tertentu
3.	70 – 89	Fasilitas dioperasikan dalam kondisi keselamatan yang mencukupi karena seluruh parameter keselamatan terpenuhi tetapi pendokumentasian parameter keselamatan belum memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan	Baik	Hijau	Fasilitas dapat dioperasikan
4.	90 – 100	Fasilitas dioperasikan dalam kondisi keselamatan yang sangat memadai karena seluruh parameter keselamatan	Baik Sekali		

Penilaian Indeks Keselamatan dan Keamanan disampaikan saat inspeksi selesai dengan memberikan stiker yang terdiri dari 3 (tiga) kategori yaitu hijau (baik dan baik sekali), kuning (cukup) dan merah (kurang) sesuai dengan hasil penilaian IKK². Pemberian stiker merupakan bentuk atau cara komunikasi dari Badan Pengawas ke masyarakat, yang menandakan bahwa pemerintah telah mengawasi fasilitas yang kegiatannya memanfaatkan ZRA atau SRP⁵. Hasil penilaian kinerja fasilitas sebagaimana dimaksud pada penjelasan di atas disajikan pada Tabel 3⁴.

Five Whys Analysis

Five whys (5 whys) adalah teknik interogatif berulang yang digunakan untuk mengeksplorasi hubungan sebab-akibat yang mendasari suatu masalah tertentu⁶. Tujuan utama dari teknik ini adalah untuk menentukan akar penyebab masalah dengan mengulangi pertanyaan "Mengapa?" sebanyak lima kali atau secara berulang kali hingga sampai pada satu titik dimana jawaban pertanyaan telah menunjukkan suatu akar masalah⁷. Setelah menetapkan akar penyebab masalah yang paling mungkin, maka kembangkan tindakan korektif yang tepat untuk menghilangkan akar penyebab dari masalah tersebut.

METODOLOGI

Kajian ketidaksesuaian dalam indikator keselamatan dan keamanan di PSMN BATAN menggunakan metode studi literatur berdasarkan data-data yang diperoleh dari LHI Tahun 2019 dan 2021. Temuan berulang dari hasil inspeksi dianalisis akar penyebabnya menggunakan metode *5 why's analysis*, sehingga dapat ditentukan tindakan korektif terhadap temuan berulang tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

BAPETEN melakukan inspeksi terhadap Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN) yang menggunakan dan memanfaatkan sumber radiasi pengion berupa pesawat X-ray untuk kegiatan radiografi industri. Dari laporan hasil inspeksi BAPETEN tahun 2019 dan 2021 dilakukan analisis atau kajian terhadap pemenuhan persyaratan Indikator Keselamatan dan Keamanan (IKK) yang telah diterapkan PSMN dalam kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion. Analisis dilakukan dengan melihat hasil temuan inspeksi pada Tabel 4 kemudian dilihat indikator yang menjadi temuan berulang. Terdapat 3 (tiga) indikator yang menjadi temuan berulang yaitu ketersediaan Sumber Daya Manusia; pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi; serta ketersediaan dan kesesuaian dokumen dan rekaman. Hal ini menandakan bahwa ketiga indikator tersebut adalah paling lemah

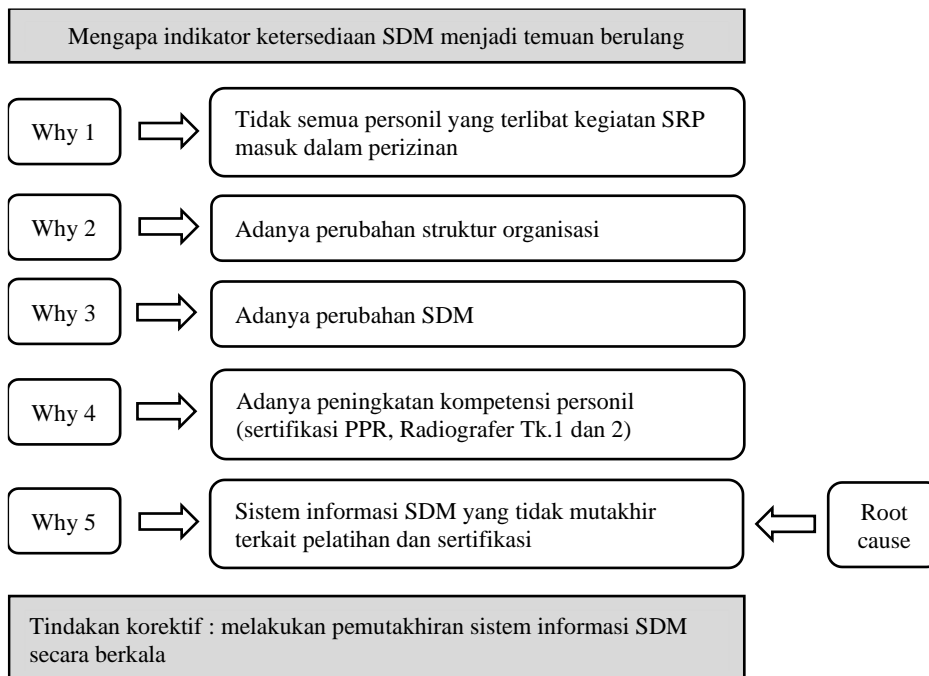
dan harus mendapat perhatian khusus sehingga kepatuhan terhadap pemenuhan persyaratan pada indikator tersebut bisa lebih baik lagi serta tidak menjadi temuan berulang pada inspeksi tahun-tahun berikutnya.

TABEL 4. Data Temuan Hasil Inspeksi

Parameter IKK	2019	2021
Kondisi Perizinan	√	-
Ketersediaan Sumber Daya Manusia	√	√
Pemantauan Dosis Radiasi	√	-
Pemeriksaan Kesehatan Pekerja Radiasi	√	√
Ketersediaan Peralatan Keselamatan dan Keamanan	-	-
Pemantauan Paparan Radiasi Daerah Kerja oleh Fasilitas	√	-
Ketersediaan dan Kesesuaian Dokumen dan Rekaman	√	√

Dari Tabel 4 untuk indikator kondisi perizinan, pada tahun 2019 menjadi temuan inspeksi bahwa salah satu sumber radiasi pengion (pesawat X-ray) yang dimiliki mempunyai status izin yang kadaluarsa. Hal ini dikarenakan pesawat X-ray tersebut dalam kondisi rusak dan tidak digunakan sehingga tidak dilakukan pengurusan perpanjangan izin, tetapi dalam ketentuan yang ada harus dilakukan penghentian perizinan terhadap alat yang rusak tersebut jika sudah tidak digunakan⁸. Izin pemanfaatan sumber radiasi pengion (peralatan radiografi) dari Kepala BAPETEN wajib dimiliki oleh setiap orang atau badan yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008⁸ dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2009⁹.

Indikator ketersediaan SDM merupakan indikator yang menjadi temuan berulang dikarenakan pekerja radiasi yang dimiliki PSMN tidak seluruhnya tercantum dalam status perizinan. Temuan berulang pada indikator ini dilakukan analisis akar penyebab masalahnya menggunakan metode *five whys* seperti pada Gambar 2. Dari analisis tersebut yang menjadi akar penyebab indikator ini menjadi temuan berulang yaitu sistem informasi SDM yang tidak mutakhir terkait pelatihan dan sertifikasi. Hal ini menyebabkan personil yang telah lulus sertifikasi PPR, Radiografer Tingkat 1 dan 2 tidak terpantau statusnya. Personil yang harus tercantum dalam perizinan adalah Pekerja Proteksi Radiasi (PPR), Radiografer Tingkat 1, dan Radiografer Tingkat 2^{10,9}. Surat Ijin Bekerja (SIB) dari Kepala BAPETEN harus dimiliki oleh personil yang bekerja di instalasi yang memanfaatkan SRP¹¹. Seluruh personil PSMN yang terlibat dalam pemanfaatan SRP telah memiliki SIB akan tetapi belum semua nama personil masuk dalam perizinan, sehingga perlu perhatian khusus agar selalu melakukan pemutakhiran sistem informasi SDM secara berkala khususnya personil yang terlibat dalam status perizinan.



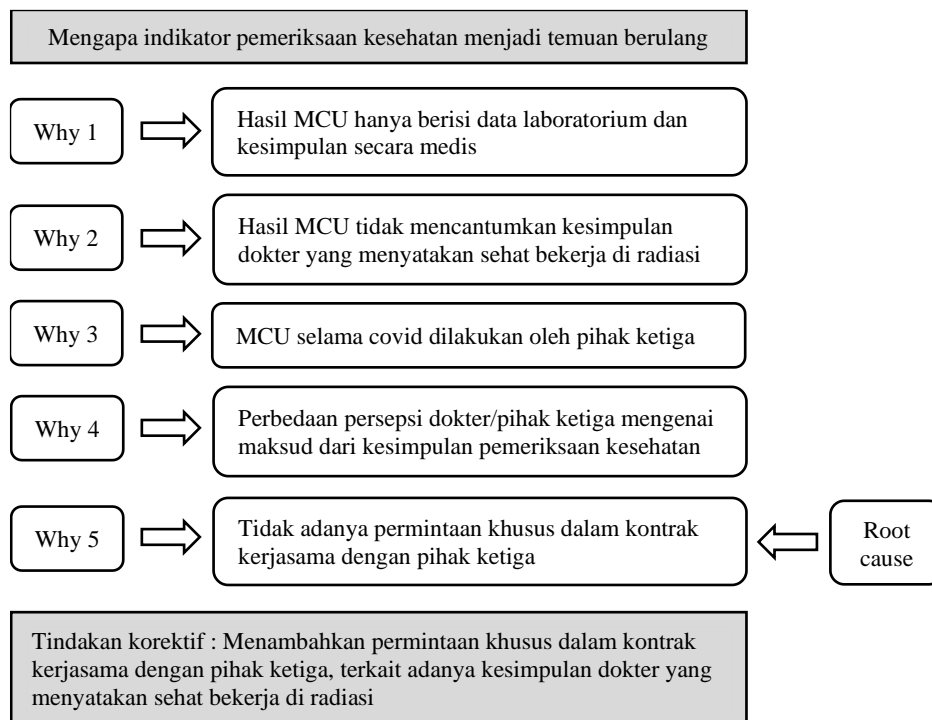
GAMBAR 2. Analisis Faktor Penyebab Temuan Berulang Indikator Ketersediaan SDM

Salah satu dari persyaratan proteksi radiasi yang harus dipenuhi dalam pemanfaatan radiasi pengion dengan menggunakan pesawat X-ray, adalah limitasi dosis yang mengacu pada Nilai Batas Dosis (NBD) yang tidak boleh dilampaui. Inspeksi tahun 2019, pemantauan dosis radiasi menjadi temuan karena belum adanya pencatatan dosis dari dosimeter perorangan baca langsung, hanya terdapat pencatatan dosis dari TLD badge. Hal ini menjadi temuan karena Pemegang Izin harus memastikan agar NBD tidak terlampaui, salah satunya dengan

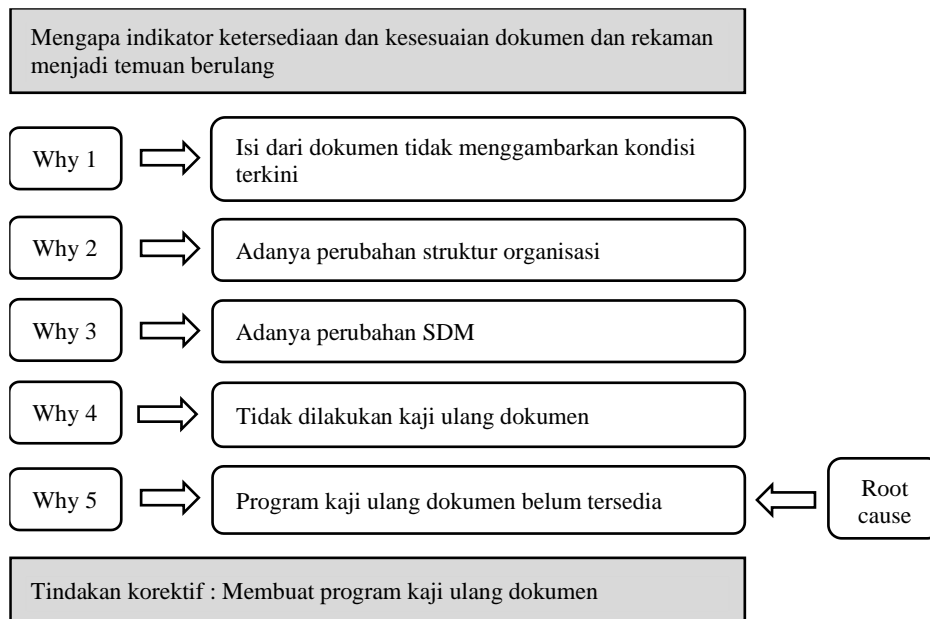
cara menggunakan film badge atau TLD badge dan dosimeter perorangan baca langsung yang terkalibrasi untuk pemantauan dosis yang diterima personil⁹.

Pemeriksaan kesehatan pekerja pada saat sebelum bekerja, selama bekerja, dan ketika akan memutuskan hubungan kerja, merupakan kewajiban yang harus dilakukan oleh Pemegang Izin. Pemeriksaan kesehatan selama bekerja dilakukan secara berkala paling sedikit sekali dalam 1 (satu) tahun^{12,13}. Seluruh pekerja radiasi PSMN telah melakukan pemeriksaan kesehatan setiap tahun, akan tetapi yang menjadi temuan berulang adalah tidak adanya kesimpulan dokter dari hasil pemeriksaan kesehatan tersebut. Setelah dilakukan analisis seperti pada Gambar 3, maka didapatkan akar penyebabnya yaitu tidak adanya permintaan khusus dalam kontrak kerjasama dengan pihak ketiga yang melakukan pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi. Permintaan khusus yang dimaksud adalah hasil kesimpulan dokter yang menyatakan pekerja sehat bekerja di radiasi. Sesuai peraturan yang ada bahwa hasil pemeriksaan kesehatan untuk pekerja radiasi harus dinyatakan/disimpulkan dengan 3 (tiga) kategori yaitu sehat dan memenuhi syarat, sehat dan memenuhi syarat dengan kondisi tertentu, tidak sehat dan tidak memenuhi syarat untuk bekerja sebagai pekerja radiasi dan atau untuk kondisi kerja khusus¹⁴. Sehingga tindakan korektif agar permasalahan ini tidak berulang adalah mencantumkan permintaan khusus dalam kontrak kerjasama dengan pihak ketiga, terkait adanya kesimpulan dokter yang menyatakan sehat bekerja di radiasi. Selain itu yang menjadi temuan adalah tidak adanya kartu kesehatan pekerja radiasi. Berdasarkan ketentuan yang ada bahwa kartu kesehatan harus dimiliki oleh setiap pekerja radiasi dan selama pekerja tersebut masih sebagai pekerja radiasi maka kartu kesehatan harus selalu dimutakhirkan¹⁴. Penyimpanan kartu tersebut sekurang-kurangnya 30 tahun setelah berhenti bekerja dengan radiasi.

Indikator ketersediaan peralatan keselamatan dan keamanan merupakan indikator yang tidak terdapat temuan pada inspeksi tahun 2019 dan 2021. Pemegang Izin dalam hal ini PSMN telah melaksanakan kewajiban menyediakan perlengkapan proteksi radiasi sesuai peraturan yang ada^{8,12}. Perlengkapan proteksi radiasi tersebut berfungsi dengan baik sesuai dengan jenis sumber dan energi yang digunakan. Selain itu perlengkapan proteksi radiasi yang digunakan juga telah terkalibrasi. Perlengkapan proteksi radiasi yang dimaksud adalah alat ukur radiasi seperti surveymeter dan pemantau dosis perorangan. Alat ukur radiasi lapangan wajib dikalibrasi untuk menjamin kebenaran nilai paparan, laju paparan, aktivitas, laju cacah, dosis, atau laju dosis¹⁵.



GAMBAR 3. Analisis Faktor Penyebab Temuan Berulang Indikator Pemeriksaan Kesehatan



GAMBAR 4. Analisis Faktor Penyebab Temuan Berulang Indikator Ketersediaan dan Kesesuaian Dokumen dan Rekaman

Pemantauan paparan radiasi daerah kerja telah dilakukan PSMN dalam kegiatan pengoperasian pesawat X-ray, akan tetapi tahun 2019 menjadi temuan inspeksi karena tidak ada catatan pemantauan paparan radiasi saat pemanasan pesawat X-ray. Dalam penggunaan peralatan radiografi harus dilakukan verifikasi keselamatan salah satunya melalui pemantauan paparan radiasi⁹. Pemantauan paparan radiasi merupakan salah satu cara untuk memastikan bahwa NBD pekerja radiasi tidak terlampaui¹².

Ketersediaan dan kesesuaian dokumen dan rekaman juga salah satu indikator yang menjadi temuan berulang. Berdasarkan analisis seperti pada Gambar 4 yang menjadi akar penyebab indikator ini menjadi temuan berulang adalah tidak adanya program kaji ulang dokumen. Sehingga tindakan korektif untuk mengatasi hal tersebut perlu dilaksanakan program kaji ulang dokumen dan rekaman. Kaji ulang dokumen dimaksudkan untuk memastikan bahwa dokumen masih berlaku, akurat, dan sesuai dengan peraturan yang terbaru. ISO 9001:2015 mengharuskan organisasi melakukan kontrol terkait informasi terdokumentasi yang dibutuhkan oleh sistem manajemen mutu, tetapi tidak mengatur frekuensi terhadap peninjauan dokumen¹⁶.

Berdasarkan penilaian IKK tahun 2019 dan 2021, PSMN mendapatkan stiker warna hijau yang artinya fasilitas dioperasikan dalam kondisi keselamatan yang mencukupi karena seluruh parameter keselamatan terpenuhi tetapi pendokumentasian parameter keselamatan belum memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan. Ketiga indikator yang menjadi temuan berulang tersebut mendapat nilai 70 (B) pada setiap indikator dimana seluruh parameter memenuhi tetapi ada yang tidak sesuai, seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.

KESIMPULAN

PSMN telah menetapkan, mendokumentasikan, dan menerapkan sistem manajemen keselamatan sumber radiasi pengion dan telah mendapatkan stiker warna hijau dari hasil inspeksi BAPETEN. Dari hasil inspeksi BAPETEN tahun 2019 dan 2021, terdapat 3 (tiga) indikator yang menjadi temuan berulang yaitu ketersediaan Sumber Daya Manusia; pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi; serta ketersediaan dan kesesuaian dokumen dan rekaman. Hal ini menandakan ketiga indikator tersebut paling lemah sehingga perlu mendapatkan perhatian khusus oleh Pemegang Izin. Analisis akar penyebab yang menjadikan indikator tersebut menjadi temuan berulang telah dilakukan dan tindakan korektif telah ditetapkan, sehingga kepatuhan terhadap pemenuhan persyaratan pada indikator tersebut bisa lebih baik lagi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pekerja radiasi Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir yang menjalankan tugas dalam kegiatan pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion (SRP).

REFERENSI

- [1] Republik Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran. (1997).
- [2] BAPETEN. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Inspeksi dalam Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir. (2017).

- [3] BAPETEN. Peraturan BAPETEN RI Nomor 2 Tahun 2021 Tentang Rencana Strategis BAPETEN Tahun 2020-2024. (2021).
- [4] BAPETEN. Tentang IKK. <https://balis.bapeten.go.id/portal/web/index.php/sites/hasil-inspeksi?tab=tentang>.
- [5] Wibowo, S. R. & Widanarko, B. Kajian Awal Konsep Inspeksi Keselamatan Radiasi di Fasilitas Industri dan Kesehatan dengan Metode Daring : Studi Kasus. *J. Pendidik. Tambusai* 6, 1399–1412 (2022).
- [6] Serrat, O. The Five Whys Technique. *Knowledge Solutions* (2009) doi:10.1007/978-981-10-0983-9_32.
- [7] Ohno, T. *Toyota Production System : Beyond Large Scale Production*. Toyota Production System (Productivity Press, 1988).
- [8] Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah RI Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir. (2008).
- [9] BAPETEN. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri. (2009).
- [10] BAPETEN. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2014 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri. (2014).
- [11] BAPETEN. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 16 Tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu yang Bekerja di Instalasi yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion. (2014).
- [12] Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah RI Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. (2007).
- [13] BAPETEN. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan untuk Pekerja Radiasi. (2010).
- [14] BAPETEN. Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 01/Ka-NBAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi. (1999).
- [15] BAPETEN. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2006 tentang Laboratorium Dosimetri, Kalibrasi Alat Ukur Radiasi, dan Keluaran Sumber Radiasi Terapi, dan Standardisasi Radionuklida. (2006).
- [16] Badan Standardisasi Nasional. SNI ISO 9001:20015 Sistem manajemen mutu – Persyaratan. (2015).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



TINJAUAN PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI PADA PEMERIKSAAN RADIOLOGI DIAGNOSTIK TULANG MANUS

Sudradjat^{1,a)}

¹Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

^{a)} Korespondensi email: nuclierapoo@gmail.com

Abstrak. Pemeriksaan radiologi dalam bidang kesehatan di dunia pada umumnya dan khususnya di Indonesia sangat dibutuhkan, bertujuan untuk membantu dokter dalam upaya mendiagnosis, menganalisa, dan mengobati penyakit dengan memberi mereka informasi dari hasil tes radiologi yang tepat waktu dan dapat diandalkan. Pemeriksaan radiologi diagnostik dilakukan dengan menggunakan radiasi sinar-X untuk mengetahui beberapa kelainan juga bentuk anatomi obyek metacarpal. Pemeriksaan radiologi konvensional merupakan pemeriksaan radiologi yang dilakukan dengan tujuan memberikan gambaran anatomi atau variasi anatomi, kelainan patologis pada bagian anatomi tulang manus dan struktur tulang sekitarnya, yang dapat memberikan hasil diagnosa secara lebih awal. Pemeriksaan radiologi diagnostik dilakukan dengan menggunakan radiasi sinar-X untuk mengetahui beberapa kelainan juga bentuk anatomi obyek tulang manus. Pemeriksaan radiologi konvensional banyak dilakukan dengan maksud mendapat citra anatomi dan fisiologi dari suatu organ tubuh manusia. Dengan menggunakan metodologi berupa tinjauan literatur maka dapat mengetahui proteksi dan keselamatan radiasi yang harus dilakukan terhadap organ pemeriksaan tulang manus. Salah satu diantaranya adalah nilai tingkat panduan dosis yang sebaiknya diterima oleh pasien ketika melakukan pemeriksaan tulang manus. Selain itu tinjauan literatur juga dilakukan terkait dengan teknik pemeriksaan yang sesuai untuk mencapai tujuan proteksi dan keselamatan radiasi. Terdapat 2 (dua) pendekatan yang harus dilakukan dalam melakukan pemeriksaan radiologi untuk tulang manus. Pendekatan pertama dengan menggunakan teknik pemeriksaan standar yang tepat untuk tujuan mendapatkan citra yang optimal dengan menampilkan detail gambar setinggi-tingginya. Pendekatan kedua adalah dengan melakukan proteksi dan keselamatan radiasi terhadap organ yang tidak diperlukan pada pemeriksaan radiologi tersebut. Proteksi dan keselamatan radiasi serta kualitas citra yang optimum dapat dicapai dengan mengikuti standar operasi pemeriksaan, dilakukan personil yang berkompeten dan peralatan yang baik.

Kata Kunci: proteksi, keselamatan, manus

PENDAHULUAN

Radiologi merupakan salah satu sisi dalam dunia ilmu kedokteran dan berkaitan dengan memanfaatkan sumber radiasi pengion. Beberapa teknis peralatan yang memanfaatkan radiasi pengion dilakukan dengan tujuan mendapatkan suatu hasil diagnosa dan prosedur terapi. Beberapa teknik pemeriksaan dilakukan dengan memanfaatkan radiasi sinar-X dan zat radioaktif. Teknik pemeriksaan yang dilakukan untuk mendapatkan diagnosa suatu kelainan penyakit merupakan teknik radiologi diagnostik [1].

Pemeriksaan radiologi dalam bidang kesehatan di dunia pada umumnya dan khususnya di Indonesia sangat dibutuhkan, bertujuan untuk membantu dokter dalam upaya mendiagnosis, menganalisa, dan mengobati penyakit dengan memberi mereka informasi dari hasil tes radiologi yang tepat waktu dan dapat diandalkan. Pemeriksaan radiologi diagnostik dilakukan dengan menggunakan radiasi sinar-X untuk mengetahui beberapa kelainan juga bentuk anatomi obyek metacarpal. Pemeriksaan radiologi konvensional merupakan pemeriksaan radiologi yang dilakukan dengan tujuan memberikan gambaran anatomi atau variasi anatomi, kelainan patologis pada bagian anatomi tulang manus dan struktur tulang sekitarnya, yang dapat memberikan hasil diagnosa secara lebih awal.

Beberapa alasan dan juga menjadi rujukan klinis dalam melakukan pemeriksaan radiologi pada tulang manus adalah adanya kelainan yang berupa fraktur. Fraktur pada tulang manus adalah kondisi tulang pada telapak tangan patah atau berubahnya bentuk tulang yang disebabkan karena tekanan atau benturan yang keras dan bisa juga disebabkan karena adanya pengeroposan tulang. Salah satu survey yang dilakukan di Amerika Serikat menyatakan cedera tangan merupakan gambaran umum pada unit gawat darurat. Fraktur yang melibatkan

tangan terhitung hingga 28% dari semua fraktur yang ditemukan. Sementara patah tulang tangan yang paling umum adalah dari phalang distal, patah tulang metacarpal saja mencapai sekitar 40% dari semua patah tangan dengan 1,5 juta cedera terjadi cincin setiap tahun. Mereka adalah fraktur paling umum kedua yang datang ke ahli bedah ortopedi (setelah fraktur radius distal) dengan insiden 130,3 per 100.000 pasien per tahun. Beban ekonomi sangat tinggi pada pasien ini karena mereka biasanya mempengaruhi orang muda dan sehat yang menyebabkan kehilangan waktu kerja. Cedera metacarpal yang terisolasi dapat mengakibatkan waktu yang terlewat hingga 3 - 6 minggu dengan manajemen non-operatif saja [2].

Sedangkan Menurut Riskesdas tahun 2018, menunjukkan prevalensi penyakit sendi berdasarkan diagnosis tenaga kesehatan dan gejala di Indonesia adalah sebesar 7,30% dengan jumlah kasus 713.783 [3]. Maka dari itu diperlukan pemeriksaan radiologi yang menggunakan Teknik Pemeriksaan Metacarpal pada OS Manus dengan klinis fraktur. Teknik dilakukan dengan berharap mendapatkan hasil citra secara anatomi fisiologi, mendapatkan gambaran kelainan patologis pada tulang manus secara lebih awal [4].

DASAR PENULISAN

Penyusunan makalah dilakukan untuk mengetahui tinjauan secara umum dari sisi proteksi dan keselamatan radiasi serta teknik pemeriksaan radiografi untuk tulang manus. Penyusunan makalah dilakukan berdasarkan tinjauan beberapa literatur dan referensi terkait pemeriksaan tulang manus atau tulang pergelangan tangan baik regulasi ataupun dokumen artikel dari berbagai penulisan disertai beberapa aspek proteksi dan keselamatan yang hendaknya dilakukan dalam melakukan pemeriksaan radiologi tersebut. Ada 2 (dua) pendekatan yang dilakukan yaitu pendekatan pertama dari sisi teknik radiografi dengan maksud dan tujuan mendapatkan gambaran hasil diagnose secara optimum. Pendekatan lainnya merupakan pendekatan dari keselamatan radiasi yang memiliki tujuan memberikan proteksi terhadap pasien, pekerja dari segala dampak merugikan yang berbahaya sinar-X. Mengingat pemeriksaan radiologi tulang manus banyak dilakukan di suatu fasilitas layanan radiologi diagnostik sehingga pemeriksaan tersebut hendaknya dilakukan dengan memperhatikan aspek keselamatan dan kualitas citra. . Proteksi dan keselamatan radiasi serta kualitas citra yang optimum dapat dicapai dengan mengikuti standar operasi pemeriksaan, dilakukan personil yang berkompeten dan peralatan yang baik.

ANATOMI DAN PATOLOGI

Anatomi tulang tangan merupakan tulang dari bagian tubuh manusia dan termasuk kedalam anggota gerak tubuh (ekstermitas). Organ tersebut terletak pada bagian atas bagian extremitas pada daerah bagian distal dari sendi radiocarpea dan merupakan piranti mekanik dan sensorium. Ada 3 (tiga) kelompok tulang pada manus yaitu 8 (delapan) tulang carpale yang terdiri dari tulang-tulang dari carpus. 5 (lima) metacarpal (satu sampai lima) yang merupakan tulang-tulang dari metacarpus. Dan terakhir adalah phalanges yang merupakan tulang-tulang yang ada di digiti/jari. Pollex/digiti satu memiliki hanya dua, digiti lainnya memiliki tiga. Tulang-tulang karpal dan metakarpal dan bagian jari memiliki fungsi sebagai satu unit dan membentuk sebagian besar kerangka tulang tangan dan pergelangannya.

Bagian proksimal dengan posisi lateral ke arah medial dan dilihat dari sisi arah depan, baris proksimal tulang merupakan anatomi tulang skapoid dengan bentuk menyerupai perahu, lunatum, yang menyerupai bulan sabit, triquetrum dengan anatomi 3 (tiga) sisi, dan pisiforme menyerupai kacang. Tulang pisiforme merupakan anatomi tulang sesamoidea pada bagian tendo flexor carpi ulnaris dengan sendi permukaan anterior triquetrum. Tulang skapoid merupakan tulang yang memiliki tuberculum ossis skapoid yang menonjol pada bagian facies palmaris dengan bagian lateral mengarah ke daerah anterior. Untuk posisi lateral ke arah medial dan bila dipandang dari arah bagian depan, bagian tulang karpal disusun atas tulang trapezium dengan sisi 4 (empat) tidak teratur, tulang trapezoid dengan sisi 4 (empat), tulang capitatum dengan caput, dan tulang hamatum. Tulang hamatum merupakan tulang yang memiliki kait. Sedangkan tulang trapezium merupakan tulang dengan sendi yang bersinggungan dengan tulang metakarpal pollex. Tulang tersebut memiliki tuberculum ossis trapezii dengan ciri khusus pada facies palmarisnya. Untuk tulang karpal yang terbesar, capitatum memiliki sendi dengan anatomi basis metacarpalis III. Untuk tulang metakarpal, masing-masing dikaitkan dengan 1 (satu) bagian tulang digiti yaitu Metacarpale I terhubung dengan pollex, Metacarpali II sampai V secara berturut-turut terhubung dengan index, digitus medius, digitus annularis, dan digitus minimus. Setiap tulang metakarpal disusun atas bagian basis, corpus, dan bagian caput di daerah distal. Pada tulang metakarpal bagian basis akan terhubung dengan tulang-tulang karpale, kemudian juga daerah basis metakarpal dan daerah digiti akan memiliki persendian. Seluruh daerah caput metacarpalis akan terhubung dengan sendi phalank bagian daerah jari (digiti) proksimal. Selain itu daerah caput juga akan membentuk membentuk anatomi kuku-kuku jari pada permukaan punggung tangan saat daerah jari (digit) dilakukan pergerakan [5]. Gambar tulang manus dapat ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



GAMBAR 1. Struktur Anatomi Tulang Manus [10]

Kelainan patologi pada tulang manus dapat berupa fraktur, dislokasi ataupun osteoarthritis. Fraktur merupakan cedera yang terisolasi, sederhana, tertutup, dan stabil. Sementara banyak patah tulang metacarpal memiliki hasil yang sangat baik tanpa operasi, ada kekurangan literatur dan kontroversi terus-menerus untuk memandu dokter yang merawat pada algoritma pengobatan terbaik. Macam – macam fraktur metacarpal dapat berupa Rolando Fracture's dengan kondisi dalam hal arah, jumlah dan perpindahan garis fraktur. Garis fraktur ekstra-artikular, umumnya melintang, memisahkan diafisis dan epifisis. Garis fraktur intra-artikular vertikal kedua membagi epifisis menjadi dua fragmen. Fraktur lainnya adalah Fraktur Boxer adalah fraktur leher metacarpal kelima akibat trauma langsung pada kepalan tangan. Dijelaskan oleh Edward H. Bennett pada tahun 1882 (Bennett, 1886), fraktur-dislokasi pangkal ibu jari metacarpal luar biasa untuk frekuensi dan literatur yang luas tentang deskripsi dan pengobatannya (Hove, 1993). Mereka mirip dengan trapezio murni dislokasi metacarpal. Mereka berbeda dengan adanya fraktur terpisah yang berbeda dari ukuran variabel. Fragmen terkecil terdiri dari sudut anteromedial dari dasar metacarpal ibu jari, dan tetap di tempatnya, melekat pada trapezium, karena perlekatan ligamen posteromedial miring [6].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ada beberapa mekanisme pemeriksaan radiografi yang dapat dilakukan untuk mengetahui keadaan anatomi dan patologi dari tulang manus. Beberapa posisi teknik pemeriksaan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan yang tentu akan berpengaruh terhadap aspek citra yang diperoleh maupun dari aspek proteksi dan keselamatan radiasi.

Teknik Pemeriksaan Radiografi

Dalam melakukan pemeriksaan radiografi untuk tulang manus atau metacarpal yang terdapat didalamnya dapat menggunakan beberapa proyeksi penyinaran. Proyeksi yang banyak dan lazim digunakan adalah proyeksi *PA (Posterior Anterior)*. Dalam posisi ini pasien duduk di samping meja dengan yang terkena lengan terdekat ke meja. Lengan bawah dipronasi dan diletakkan di atas meja dengan permukaan telapak tangan yang bersentuhan dengan kaset. Jari-jari dipisahkan dan direntangkan tetapi santai untuk memastikan bahwa mereka tetap berhubungan dengan kaset. Pergelangan tangan diatur sedemikian rupa sehingga styloid radial dan ulna proses berjarak sama dari kaset. Sebuah karung pasir ditempatkan di atas lengan bawah untuk imobilisasi [7]. Gambar proyeksi pemeriksaan akan terlihat seperti pada Gambar 2 (dua) berikut ini.



GAMBAR 2. Proyeksi Postero Anterior Pemeriksaan Tulang Manus [11]

Posisi selanjutnya untuk memperoleh citra dari tulang manus adalah proyeksi *oblique*. Proyeksi ini juga banyak dilakukan dan dibandingkan dengan posisi postero anterior memiliki kedudukan obyek yang berbeda. Dari posisi dasar postero-anterior, tangan diputar ke luar 45 derajat dengan jari-jari direntangkan. Jari-jari harus sedikit dipisahkan dan tangan ditopang dengan menggunakan alat bantu penoapang semacam spons yang membentuk sudut 45 derajat. Sebuah karung pasir ditempatkan di ujung bawah lengan bawah untuk imobilisasi.

Sinar pusat vertikal dipusatkan di atas kepala metacarpal yang kelima. Tabung kemudian dimiringkan sehingga sinar pusat melewati kepala metacarpal ketiga, memungkinkan pengurangan ukuran lapangan [7]. Secara umum ketiga proyeksi merupakan proyeksi yang digunakan untuk pemeriksaan radiografi yang dilakukan. Gambar proyeksi pemeriksaan oblique akan terlihat seperti pada Gambar 3 (tiga) berikut ini.



GAMBAR 3. Proyeksi Oblique Pemeriksaan Tulang Manus [11]

Posisi terakhir yang banyak dilakukan untuk memperoleh gambaran anatomi dan patologi tulang manus adalah proyeksi *lateral*. Dalam posisi ini posisi tulang manus yang berada pada posisi *postero-anterior*, akan diputar sampai dengan penyudutan 90 derajat. Telapak tangan tegak lurus dengan kaset, dengan jari-jari diperpanjang dan ibu jari diculik dan didukung sejajar dengan film pada pad non-buram. Prosesus styloideus radial dan ulnaris ditumpangkan. Sinar pusat vertikal dipusatkan di atas kepala metacarpal kedua [7]. Gambar proyeksi pemeriksaan lateral ditunjukkan pada gambar 4 (empat) berikut ini.



GAMBAR 4. Proyeksi Lateral Pemeriksaan Tulang Manus [11]

Dari ke-3 (tiga) proyeksi atau teknik pemeriksaan yang dilakukan yaitu posisi postero anterior, oblique dan lateral akan memberikan citra tulang manus yang berbeda. Ketiga proyeksi ini memiliki kelebihan dan kekurangan untuk memperoleh citra yang dibutuhkan. Untuk proyeksi postero anterior maka citra anatomi yang harus terlihat adalah adanya gambaran semua phalang, termasuk ujung jari jaringan lunak, tulang carpal dan metacarpal, dan ujung distal radius dan ulna. Interphalangeal dan metacarpo-phalangeal dan sendi carpo-metacarpal harus ditunjukkan dengan jelas [7]. Dalam proyeksi oblique maka citra yang harus terlihat adalah harus menunjukkan semua phalang, termasuk jaringan lunak ujung jari, tulang karpal dan metacarpal, dan ujung distal radius dan ulna. Derajat rotasi yang benar telah dicapai saat kepala metacarpal pertama dan kedua terlihat terpisah sedangkan yang keempat dan kelima hanya ditumpangkan [8]. Sedangkan untuk proyeksi lateral maka citra yang harus terlihat adalah harus mencakup harus mencakup ujung jari, termasuk jaringan lunak, dan prosesus styloideus radialis dan ulnaris. Kepala metacarpal terlihat tumpang tindih dan ibu jari harus ditunjukkan dengan jelas tanpa tumpang tindih dengan yang lain struktur [9].

Berdasarkan ketiga proyeksi tersebut maka sebagian besar pemeriksaan tulang manus dilakukan dengan beberapa indikasi klinis. Indikasi klinis terbanyak adalah adanya fraktur pada tulang manus khususnya pada bagian metacarpal. Proyeksi standar yang dibutuhkan untuk mengetahui adanya fraktur pada tulang metacarpal yang terletak pada tulang manus adalah proyeksi postero anterior dan oblique [10]. Secara umum, tiga pandangan pada pemeriksaan radiografi (posterior-anterior atau anterior posterior, lateral dan oblique) akan cukup untuk melakukan diagnosis. Posisi dengan proyeksi oblique semi-pronasi harus diperoleh untuk mengevaluasi metacarpal jari telunjuk dan jari tengah, sementara semi supinasi akan memungkinkan evaluasi metacarpal jari kelingking dan jari manis. Pencitraan resonansi magnetik, computed tomography, dan bone scan sedikit lebih baik daripada radiografi polos untuk mendeteksi osteomielitis; namun, semuanya memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang buruk. Dikombinasikan dengan biaya tinggi, pencitraan canggih tidak direkomendasikan [11]. Radiografi konvensional merupakan teknik pemeriksaan radiografi menggunakan peralatan pencitraan yang paling umum digunakan untuk diagnosis cedera tangan atletik, meskipun modalitas lanjutan seperti penggunaan pesawat CT Scan, perolehan pencitraan dengan memanfaatkan resonansi magnetik, atau *ultrasonografi* mungkin diperlukan untuk mendiagnosis cedera sepenuhnya. Diagnosis yang akurat dari

cedera atletik pada tangan tergantung pada evaluasi radiografi yang tepat. Penempatan yang tidak tepat atau faktor paparan radiografi dapat menyebabkan patah tulang yang terabaikan atau tidak terlihat, yang pada gilirannya dapat mengakibatkan komplikasi yang melemahkan [12]. Proyeksi PA, Lateral dan Oblique merupakan teknik pemeriksaan yang menggunakan berkas sinar-X yang tegak lurus ke arah organ. Dengan posisi ini maka arah berkas tidak mengenai organ yang tidak diperlukan apabila arah berkas dilakukan penyudutan sehingga berpotensi mengenai organ yang tidak diperiksa.

Tinjauan Proteksi dan Keselamatan Radiasi

Dalam pandangan proteksi dan keselamatan radiasi yang terdiri atas 3 (tiga) hal berkaitan erat yaitu justifikasi, nilai batas dosis (limitasi dosis) dan optimisasi [13]. Ketiga prinsip tersebut harus diterapkan dalam setiap pemanfaatan tenaga nuklir termasuk pemanfaatan sinar-X untuk keperluan radiologi diagnostik dengan tujuan akhir keselamatan. Justifikasi merupakan hal yang harus dilakukan pemegang izin untuk memberikan pandangan dan pertimbangan untuk mendapatkan keuntungan yang sebesar-besarnya dari pemanfaatan radiasi pengan sinar-X. Secara umum pertimbangan dan pandangan digunakannya pesawat sinar-X harus memberikan manfaat kepada pasien sebagai penerima radiasi. Ketentuan justifikasi tersebut dapat berupa rujukan klinis yang dilakukan oleh dokter sebelum melakukan pemeriksaan radiologi [1]. Misalnya ketika ditemukan pasien dengan kondisi fraktur pada tulang manus atau pada jari tangan maka perlu dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan sinar-X.

Sebaiknya hal berkaitan justifikasi harus dinyatakan kedalam dokumen program proteksi radiasi. Sedangkan secara khusus justifikasi dalam pemeriksaan radiologi untuk tulang manus merupakan justifikasi yang diterapkan untuk paparan medik. Aspek justifikasi dari sisi paparan medik juga harus dilakukan dengan melihat dari pandangan dari dokter pengirim dalam bentuk rujukan klinis yang menyatakan bahwa pasien tersebut harus melakukan pemeriksaan yang hanya dapat dilakukan dengan menggunakan radiasi pengan sinar-X [1]. Surat rujukan klinis yang diberikan oleh dokter yang telah melakukan pemeriksaan awal dan lanjutan terhadap pasien tersebut. Banyak indikasi klinis yang menjadi dasar pembuatan surat rujukan diantaranya beberapa fraktur ataupun dislokasi yang terjadi pada tulang manus. Sehingga dengan menggunakan surat rujukan klinis tersebut personel atau pekerja radiasi di fasilitas layanan radiologi diagnostik dapat melakukan pemeriksaan untuk tulang manus. Pandangan justifikasi dalam paparan medik juga harus dilakukan secara hati-hati terhadap pasien yang memiliki tingkat radiosensitivitas yang tinggi misalnya pasien pediatrik, anak-anak dan ibu hamil atau diduga hamil. Tindakan yang dilakukan dapat berupa memberikan pelatihan khusus kepada pemegang izin untuk berhati-hati apabila memberikan rujukan klinis kepada pasien tersebut. Dan apabila memang harus dilakukan maka mungkin dapat saja pasien ibu hamil, anak-anak dan pediatrik dicatat dalam rekaman khusus. Hal lain yang dapat dilakukan dalam melaksanakan terhadap pasien tersebut diantaranya adalah dengan memberikan pelatihan terhadap personil radiografer yang akan melakukan pemeriksaan. Sebaiknya radiografer diberikan semacam pelatihan khusus untuk menangani pasien pediatrik, wanita hamil atau anak-anak. Seperti memberikan proteksi apron kepada janin, menggunakan waktu eksposi yang singkat untuk pasien pediatrik atau anak-anak yang memang memiliki pergerakan dan aktivitas tinggi. Pandangan justifikasi pada pemeriksaan radiologi tulang manus juga diberikan ketika teknik pemeriksaan radiografi ini merupakan pemeriksaan yang tidak tergantikan oleh pemeriksaan medis lainnya.

Prinsip kedua pada proteksi dan keselamatan radiasi adalah berkaitan dengan nilai batas dosis. Nilai batas dosis wajib diberlakukan oleh pemegang izin suatu fasilitas layanan radiologi diagnostik terhadap pekerja radiasi. Pemberlakuan nilai batas dosis tersebut dilakukan dalam pengoperasian normal pesawat sinar-X. salah satu upaya dalam meminimalkan nilai dosis radiasi yang diterima pekerja adalah dengan mengikuti prosedur keselamatan untuk pengoperasian pesawat sinar-X. Selain untuk meminimalkan dosis radiasi yang diterima pekerja, prosedur keselamatan pengoperasian pesawat sinar-X juga harus diikuti untuk menjamin keselamatan radiasi bagi pekerja radiasi [1]. Hal lain yang akan berkaitan dengan nilai batas dosis adalah ketentuan pembatas dosis. Pembatas dosis merupakan batas atas dosis pekerja radiasi dan anggota masyarakat yang tidak boleh melampaui nilai batas dosis yang digunakan pada optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi untuk setiap pemanfaatan tenaga nuklir [14]. Dalam menentukan pembatas dosis maka pemegang izin yang memiliki fasilitas layanan radiologi diagnostik memiliki penentuan pembatas dosis yang berbeda. Pembatas dosis antara 1 (satu) fasilitas dengan fasilitas lainnya akan memiliki nilai yang berbeda karena akan bergantung kepada kondisi dan faktor-faktor yang mempengaruhi masing-masing fasilitas. Rekomendasi yang dapat diberikan rumah sakit dalam menentukan pembatas dosis tersebut adalah melakukan analisis kembali berkaitan dengan jumlah pasien, jumlah pekerja yang tersedia dan peralatan yang digunakan untuk melakukan pemeriksaan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi tersebut antara lain adalah beban kerja pasien, kondisi modalitas, faktor pelindung (*shielding*) dan sebagainya. Selain itu juga apabila pekerja radiasi bekerja di lebih dari satu fasilitas maka ketentuan dalam menerapkan pembatas dosis akan dipengaruhi juga oleh kontribusi dosis yang diberikan dari fasilitas tempat personel tersebut bekerja. Fasilitas yang memiliki personel dengan kriteria ini sebaiknya melakukan pemantauan dosis secara periodik, memberikan laporan pemantauan dosis yang diterima personel dan memberikan catatan khusus apabila personel menerima dosis hampir mendekati ketentuan nilai yang seharusnya diterima. Badan pengawas selaku regulator yang menerima laporan penerimaan dosis juga harus memberikan perhatian dan pemberitahuan awal jika personel menerima dosis mendekati ketentuan yang diperbolehkan dan sebaiknya memberikan edukasi berupa pembinaan untuk beban kerja yang sesuai fasilitas.

Pembatas dosis untuk pemeriksaan radiologi tulang manus akan diintegrasikan kedalam fasilitas layanan radiologi diagnostik secara utuh.

Prinsip ketiga dari proteksi dan keselamatan radiasi adalah berkaitan dengan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Pada paparan medik untuk pemeriksaan radiologi diagnostik dan intervensional, prinsip optimisasi berpegang pada pemberian dosis seminimal mungkin dengan memperhatikan kualitas citra yang memadai untuk dilakukan diagnosa penyakit pasien. Merujuk kepada ketentuan Badan Tenaga Atom Internasional mengenai Proteksi Radiasi dan Keselamatan Sumber Radiasi Pngion untuk Keselamatan Dasar dalam dokumen GSR Part 3, optimisasi harus dilakukan oleh pemegang izin dan praktisi dalam bidang medis untuk memastikan tercapainya proteksi dan keselamatan radiasi. Untuk mencapai hal tersebut, ada beberapa pertimbangan yang harus dilihat dan digunakan menerapkan optimisasi untuk proteksi radiasi. Pertimbangan tersebut diantaranya merupakan pertimbangan desain, pertimbangan operasional, kalibrasi, dosimetri pasien, *Diagnostic Reference Level* (DRL), *quality assurance* terkait paparan medik [15]. Implementasi optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi yang dapat dilakukan fasilitas layanan kesehatan berupa rumah sakit maupun klinik diantaranya adalah memberikan pelatihan yang sesuai kepada personil baik untuk pelatihan pemeriksaan, peralatan yang digunakan. Selain itu juga dapat menyediakan peralatan yang sesuai baik untuk melakukan pemeriksaan misalnya adalah peralatan immobilisasi untuk pemeriksaan manus sehingga mengurangi pergerakan obyek agar tidak terjadi pengulangan penyinaran.

Terdapat beberapa tool sebagai alat bantu yang dapat digunakan untuk membantu dalam upaya menerapkan optimisasi. Saat ini salah satu alat bantu yang efektif dan direkomendasikan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dalam menegakkan optimisasi adalah dengan menetapkan Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) untuk tingkat lokal maupun tingkat nasional yang dievaluasi secara berkala [16]. Istilah Tingkat Panduan Diagnostik merupakan istilah yang sudah digunakan kedalam Bahasa Indonesia secara baku. Nilai Tingkat Panduan Diagnostik merupakan nilai dosis radiasi pada pemeriksaan pemeriksaan radiologi diagnostik dan intervensional yang ditetapkan oleh badan pengawas dan digunakan untuk acuan perbandingan dengan pemeriksaan yang dilakukan di fasilitas. Kedepannya nilai Tingkat Panduan Diagnostik merupakan suatu ketentuan yang harus diperhatikan menjadi rujukan oleh pemegang izin dalam melakukan suatu tindakan pemeriksaan radiologi diagnostik.

Saat ini Indonesia telah memiliki ketentuan nilai Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) melalui Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1211/K/V/2021 Tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (*Indonesian Diagnostic Reference Level*) Untuk Modalitas Sinar-X CT-Scan Dan Radiografi Umum dimana pemeriksaan radiologi tulang manus diintegrasikan kedalam modalitas radiografi umum. Berdasarkan dokumen Keputusan Kepala BAPETEN Mengenai Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia Untuk Radiografi Umum maka tersedia nilai tingkat panduan dosis diagnostik untuk pemeriksaan tulang manus pada proyeksi antero posterior (AP) dengan nilai ESAK 0,2 mGy dan nilai INAK 0,1 mGy. Selain untuk pemeriksaan radiologi tulang manus juga sudah tersedia nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia untuk pemeriksaan *wrist join* (pergelangan tangan) dengan nilai ESAK 0,2 mGy dan nilai INAK 0,2 mGy. Obyek pemeriksaan antara tulang manus dan *wrist join* merupakan posisi obyek dengan letak anatomi yang sangat berdampingan. Sehingga apabila dilakukan pemeriksaan radiologi untuk tulang manus atau *wrist join* maka nilai panduannya akan relatif sama untuk nilai ESAK-nya.

Nilai Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) dapat memberikan proteksi dan keselamatan radiasi kepada pasien karena didalamnya terdapat parameter berupa nilai dosis yang menjadi acuan agar pasien menerima dosis radiasi serendah mungkin. Pemberian paparan radiasi kepada pasien harus dioptimisasi yang artinya serendah mungkin agar sesuai kebutuhan pemeriksaan untuk mencegah dan menghindari paparan yang tidak diperlukan (*unnecessary exposure*). Paparan yang tidak diperlukan merupakan paparan yang tidak seharusnya diterima oleh pasien. Paparan tersebut dapat menyebabkan efek stokastik yang dapat terjadi kepada manusia atau secara khusus kepada pasien. Semakin besar dosis radiasi yang diterima pasien maka semakin besar pula potensi efek biologi radiasi yang terjadi. Jika terdapat suatu fasilitas rumah sakit atau klinik memiliki nilai Tingkat Panduan Diagnostik yang melebihi ketentuan Tingkat Panduan Diagnostik secara nasional maka Badan Pengawas dapat memberikan pembinaan kepada fasilitas tersebut untuk mengikuti kaidah dan ketentuan Tingkat Panduan Diagnostik. Tentu ada ada faktor-faktor yang menyebabkan bisa melebihi nilai Tingkat Panduan Diagnostik nasional misalnya kompetensi personil, peralatan. Secara normatif fasilitas yang memiliki nilai Tingkat Panduan melebihi Tingkat Panduan Diagnostik nasional tidak sesuai atau mengikuti kaidah dalam Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 1211/K/V/2021 Tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia. Melihat dari aspek hukum maka fasilitas tersebut akan dikaitkan dengan Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi Pada Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial yang tidak secara langsung berkaitan melakukan pelanggaran.

Implementasi proteksi dan keselamatan radiasi yang berkaitan dengan optimisasi dalam melakukan pemeriksaan radiologi untuk tulang manus diupayakan mengikuti kaidah panduan nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia. Ada beberapa upaya proteksi radiasi lainnya yang dilakukan dalam melakukan pemeriksaan radiologi tulang manus diantaranya adalah menutupi organ yang tidak diperiksa atau diberikan radiasi dengan pelindung, arah sinar-X tidak mengarah kepada gonad (kelamin), melakukan pembatasan kolimasi secukupnya dan penggunaan faktor eksposi (penyinaran) yang tepat.

KESIMPULAN

Pemeriksaan radiologi untuk tulang manus banyak dilakukan untuk mengetahui keadaan anatomi dan kelainan patologi dengan menggunakan modalitas radiografi umum. Ada 2 (dua) pendekatan yang harus dilakukan dalam melakukan pemeriksaan radiologi untuk tulang manus. Pendekatan pertama dengan menggunakan teknik pemeriksaan yang tepat untuk tujuan mendapatkan citra yang optimal dengan menampilkan detail gambar setinggi-tingginya. Teknik pemeriksaan yang tepat diantaranya menggunakan teknik kv standar untuk pemeriksaan tulang manus, penggunaan peralatan immobilisasi, reseptor digital dan pengaturan detail kontras dan ketajaman gambar pada tampilan display yang sesuai.

Pendekatan kedua adalah dengan melakukan implementasi proteksi dan keselamatan radiasi pada pemeriksaan radiologi tersebut. Dalam melakukan implementasi proteksi dan keselamatan radiasi maka diupayakan harus memenuhi 3 (prinsip) yaitu justifikasi, limitasi dosis dan optimisasi. Dengan memenuhi seluruh pendekatan yang dilakukan tujuan dari pemeriksaan radiografi pada tulang manus akan dapat dilakukan dengan memperhatikan aspek proteksi dan keselamatan radiasinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih tiada terhingga disampaikan kepada seluruh rekan, Koordinator Fungsi Pengkajian Kesehatan P2STPFRZR BAPETEN, dan penilai makalah yang banyak memberikan masukan, bantuan, sumbangsih beserta akses sehingga artikel ini dapat terwujud. Seiring masih jauhnya kesempurnaan dalam penyusunan makalah artikel ini maka seluruh pembaca dapat memberikan input balik sebagai masukan sehingga dalam proses penyusunan artikel kedepannya dapat lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2020*. .
- [2] M. D. Ali A, Hamman J, "The biomechanical effects of angulated boxer's fractures," *J Hand Surg [Am]*, vol. 24, no. 4, pp. 835–44., 1999.
- [3] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar," *Kemntrian Kesehat. RI*, pp. 1–582, 2018.
- [4] B. M. Balaram AK, "Complications after the fractures of metacarpal and phalanges," *Hand Clin*, vol. 26., no. 169, p. 77, 2010.
- [5] B. NJ., "Fractures of the hand. J Bone Joint Surg Br," vol. 66 (2), pp. 159–67, 1984.
- [6] K. J. Jarvik JG, Dalinka MK, "Hand injuries in adults. Semin Roentgenol," vol. 26 (4), pp. 282–299, 1991.
- [7] et al. Johnson CA, Yoong E, Chojnowski A, "Fourhand injuries not to miss: avoiding pitfalls in the emergency department. ;," *Eur J Emerg Med*, vol. 18, pp. 186–191., 2011.
- [8] R. AC, "Athletic injuries of the wrist and hand. ;," *Am J Sport. Med*, vol. 32 (1), pp. 262–273, 2004.
- [9] et al. Johnson CA, Yoong E, Chojnowski A, "Fourhand injuries not to miss: avoiding pitfalls in the emergency department. ;.," *Eur J Emerg Med*, vol. 18, pp. 186–191, 2011.
- [10] Ertuğrul Şahin, "A new radiographic classification of fifth distal metacarpal fractures," *Ir. J. Med. Sci.*, 2021.
- [11] & K. M. K. & W. C. H. and N. B. V. & J. I. Huang, "Metacarpal fractures: treatment and complications," *Am. Assoc. Hand Surg.*, vol. 9, pp. 16–23, 2013.
- [12] G. S. Sundaram, N., Bosley, J., & Stacy, "Conventional Radiographic Evaluation of Athletic Injuries to the Hand," *Radiol. Clin. North Am.*, vol. 51, pp. 239–255, 2013.
- [13] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*. 2007.
- [14] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. 2013.
- [15] International Atomic Energy Agency, *General Safety Requirements Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Safety Standards*. 2014.
- [16] The International Commission on Radiological Protection, *ICRP Publication 135 "Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging,"* vol. 46. United Kingdom: SAGE Publishing, 2017.
- [17] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), *KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR NOMOR: 1211/K/V/2021 TENTANG PENETAPAN NILAI TINGKAT PANDUAN DIAGNOSTIK INDONESIA (INDONESIAN DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL) UNTUK MODALITAS SINAR-X CT SCAN DAN RADIOGRAFI UMUM*. Jakarta, 2021.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



MINIMALIZING THE RADIATION-INDUCED SKIN REACTIONS/DERMATITIS (LOCAL/CUTANEOUS RADIATION INJURY): LITERATURE REVIEW

Yuliana

Udayana University, Denpasar, Bali, 80234, Indonesia

Corresponding author: yuliana@unud.ac.id

Abstract. Radiation-induced skin reactions (RISR) are common adverse effects of radiotherapy. It is also known as local/cutaneous radiation injury and radiation-induced dermatitis. However, these kinds of skin reactions can impact the patients' quality of life adversely. Therefore, this paper aims to identify how to minimize the radiation-induced skin reactions (local/cutaneous radiation injury). Method. It is a narrative literature review. Literature was taken from Science Direct and PubMed. The article was read twice to reduce bias. Exclusion criteria were un peer-reviewed and unavailable free full text. Results showed that the best practice skincare should be performed for patients taking radiotherapy. Prophylactic use of steroid cream can be done for patients with a high risk of radiation-induced skin reactions/local/cutaneous radiation injury. Acute skin reaction is prevented by giving steroid cream as prophylaxis before performing radiotherapy. Photobiomodulation therapy is being studied in its standard dose. Meanwhile, barrier films or topical emollients had no enough evidence about their usage in reducing RISR. New radiotherapy techniques might be needed to reduce the incidence of RISR. Monitoring the skin toxicity is needed during treatment. In conclusion, steroid cream can be applied as prophylaxis before radiotherapy. Photobiomodulation therapy, barrier films, and topical emollients are being studied for their dosage and effectiveness. Therefore, physicians need to risk the patients' risk of RISR before starting radiotherapy and giving steroid cream prophylaxis as needed.

Keywords: cutaneous radiation injury, local radiation injury, radiotherapy, radiation-induced skin reaction (RISR), radiation-induced dermatitis (RID)

introduction

Skin reactions are commonly encountered during radiotherapy. These skin reactions are called Radiation-induced skin reactions (RISR). The common toxicity criteria adverse effects (CTCAE) or Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) scale is used to assess the severity of the disease. The grade is divided into three categories. Grade 1 is 60% erythema, grade 2 is itchy flaky skin (32% dry desquamation), and grade 3 is serious radiation-induced skin reactions (RISR). Grade 3 is accompanied by blisters and loss of tissue. The higher risk for grade 3 is patients with head and neck cancer [1].

Radiation-induced dermatitis affects up to 95% of the patients receiving radiotherapy for cancer treatment. This condition can affect the patients' quality of life [2, 3]. However, there is no consensus regarding the suitable and optimal management to minimize this condition. Therefore, there is an urgent need to explore the therapeutic options given. Topical treatment can help tissue repair in radiation-induced dermatitis patients. This treatment can also be used to prevent dermatitis in some radiation treatment patients [2]. Additional skin hydration might reduce acute skin reactions. On another side, the individual reaction and acute toxicity reaction depend on the individual radiosensitivity [3].

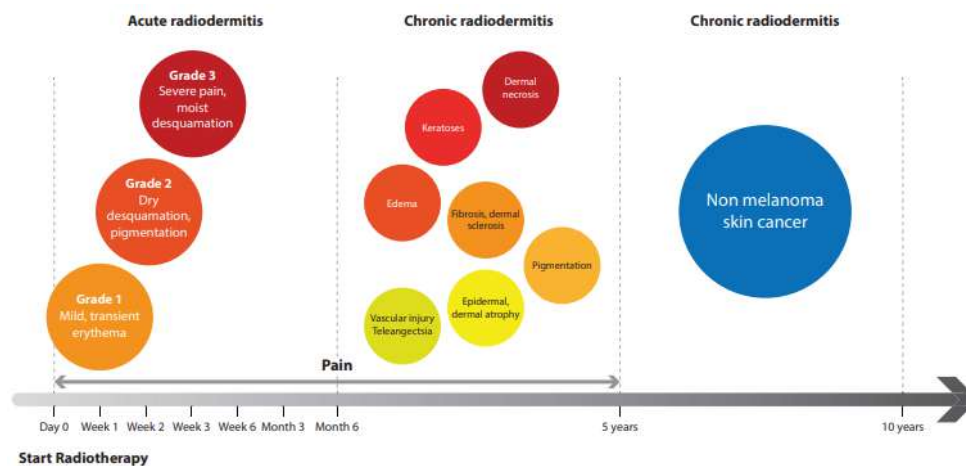
The effect of RISR is detrimental to the patients' outcomes. Quality of life and body image is adversely affected. On the other side, nutritional status, smoking, pre-existing skin disorders, and genetic susceptibility determine the skin condition of the patients after the radiotherapy. The daily dose of radiation, size, location of treatment, also the route of delivery are important factors to be considered to minimize the side effect of radiotherapy [1]. Therefore, this paper aims to identify how to minimize the radiation-induced skin reactions (local/cutaneous radiation injury).

THE THEORETICAL BASIS OF SUBJECTS

The theoretical basis of this paper is the best practice skincare should be performed for patients taking radiotherapy. Prophylactic use of steroid cream can be done for patients with a high risk of radiation-induced

skin reactions/local/cutaneous radiation injury. Acute skin reaction is prevented by giving steroid cream as prophylaxis before performing radiotherapy. Photobiomodulation therapy is being studied about its standard dose. Meanwhile, barrier films or topical emollients had not enough evidence about their usage in reducing RISR. New radiotherapy techniques might be needed to reduce the incidence of RISR. Monitoring the skin toxicity is needed during treatment. In conclusion, steroid cream can be applied as prophylaxis before radiotherapy. Photobiomodulation therapy, barrier films, and topical emollients are being studied for the dosage and effectiveness. Therefore, physicians need to risk the patients' risk of RISR before starting radiotherapy and giving steroid cream prophylaxis as needed [2].

Clinical symptoms of RID are tenderness, ulceration, itching, swelling, also burning sensation. There may be also opportunistic infections. Although these lesions may subside after some time, the duration and dose of radiation treatment might be affected. RID is varied from an acute reaction to chronic or late-onset. An acute reaction happens within days to weeks, while chronic reaction can appear within months or years. The skin lesions that appear within 90 days are considered acute lesions. The first lesion is reported within the first 24 hours after the radiation. After 2-4 weeks of treatment, extensive erythema could occur. Dryness and hyperpigmentation appear in weeks 3-6. Dry desquamation, pruritus, pain, and scaling are found in patients who receive at least a 20 Gy radiation dose. In this case, radiation therapy has to be interrupted to prevent further deterioration of patients' symptoms. Otherwise, the patients have an increased risk of non-melanotic cutaneous cancer in the coming years [2]. Rahimi et al. (2021) studied that partial breast irradiation for early-stage breast cancer with a dose of a maximum 13,5 Gy did not cause radiation dermatitis [4]. Therefore, minimalizing the radiation-induced dermatitis is very necessary.



RID, radiation-induced dermatitis.

FIGURE 1. The clinical presentation and progression of Radiation-Induced Dermatitis [2]

DISCUSSION

Radiation-induced injuries can occur in the skin, deeper tissues, and organs. Local/cutaneous radiation injuries need to be aware of because those injuries can cause cutaneous radiation syndrome (CRS). Cutaneous radiation syndrome CRS is a sub-syndrome of Acute Radiation Syndrome. These injuries can happen from environmental radiation exposure (air, soil, water) after a nuclear detonation, a nuclear power plant (NPP) incident, or exposure device [5]. Systemic treatments such as platinum-based regimens, cetuximab, and 5-fluorouracil, administered to a good proportion of patients could worsen the progression of RID [2,6]. Recognizing the pathophysiology and extent of the injury will minimize the radiation-induced skin reaction. Therefore, the pathophysiology, type of injury, diagnosis, treatment, and prevention will be discussed in detail.

Progression of the disease

Local radiation injury can develop into chronic radiation dermatitis. It will deteriorate patients' quality of life. The predispositions of this condition are the higher dose of radiotherapy, concurrent systemic therapy, any comorbidities, also personal, and genetic factors. The imbalance of profibrotic and proinflammatory cytokines worsens chronic radiation dermatitis. Clinical manifestations are skin changes such as wounds, necrosis, fibrosis, ulcerations, and secondary cancers [7].

The most severe complication is extensive radiation-induced fibrosis (RIF). The clinical manifestations are skin retraction, induration, lymphedema, and restriction of joint motion. Diagnosis is based on clinical examination, biopsy, and histopathological examination. Secondary malignancy can be excluded from the biopsy examination [7].

The proper radiation therapy technique is important to prevent chronic radiation dermatitis. Healthy skin should be protected from irradiation. Suitable methods are rehabilitative care, pharmacotherapy, or laser

therapy. Future challenges are genomics and radiomic to see the susceptible patients to developing chronic radiation dermatitis [7].

Pathophysiology

The pathophysiology of local radiation injury is the formation of free radicals and reactive oxygen species in the basal layer and underlying dermis. The number of functional stem cells decreases and changes the endothelial cells. Inflammation occurs by the release of chemokines and cytokines such as interleukin (IL)-1 α , IL-1 β , IL-6, IL-8, tumor necrosis factor- α , C-C motif chemokine ligand 4 (CCL4), C-C motif chemokine ligand 2 (CCL2), and C-X-C motif chemokine ligand 10 (CXCL10). After 2-4 weeks, extensive erythema appears. It is accompanied by edema and local degeneration. The irradiated skin is infiltrated by the leukocytes. Dryness and epilation occur. The sebaceous gland and hair follicles are destructed. This destruction is repetitive and accumulated. The changes also affect the vasculature and connective tissue. Telangiectasia appears due to epithelium remodeling. Hypopigmentation and skin atrophy comes from the destruction of melanocytes and fibroblasts [2].

Evaluation and diagnosis

Radiation dermatitis (RD) is a common, unpleasant side effect of patients receiving radiation therapy. The evaluation of radiation dermatitis sometimes is done by visual inspection. However, it can be misleading. Therefore, an automatic RD assessment needs to be developed based on deep learning (DL) techniques. This technique is used to classify the RD severity in a clinical setting. There are two types of DL techniques, namely segmentation network and RD severity classifier. A camera is used to capture photo of selected region and U-Net is applied for segmentation. Including convolutional neural network classifier. Therefore, DL technique comprises of automatic assessment in many skin diseases management such as nasopharyngeal carcinoma and melanoma [8,9,10]. Several metrics for severity classification included accuracy, precision, and recall [8].

Treatment Photobiomodulation

Photobiomodulation therapy is a method for prevention and treatment of oral mucositis in patients with head and neck squamous cell carcinoma who receive radiotherapy alone or in combination with chemotherapy. This therapy involves an intracellular chromophore, cytochrome-C oxidase in the mitochondria, cell membrane light-sensitive receptors such as opsins and TRPV1, also an extracellular latent growth factor, TGF- β 1. Positive effects are shown by promoting tissue repair and anti-inflammatory effects [11]. Photobiomodulation is also used in dental and mucositis patients, including head and neck cancer patients [12,13].

Topical treatment

Topical treatment can protect and promote tissue healing. Patients are recommended to wear loose clothing. Sun exposure should be avoided to reduce the worsening skin reaction. The ideal topical product for minimalizing skin reaction to radiation is minimal adverse events and localized action [2]. Silver sulfadiazine is usually used for RID in special dressing [14]. Topical corticosteroids are usually given for RIS patients due to the counteraction of cytokines [15].

Prevention in Radiology Room and Procedure

Understanding the safe procedure for prevention is very essential to minimize the risk during the radiation procedure. The determinant of prevention factors is units of radiation exposure, X-ray production, and forms of direct and indirect exposures. The image intensifier should be positioned as close to the patient. Meanwhile, the x-ray tube is put as far from the patient as possible. Using pulse fluoroscopy is recommended to decrease the radiation dose. Time, shielding, and distance are the three most effective ways of minimalizing radiation exposure. Minimizing the total fluoroscopy time is the best defense. The intensifier should be placed near the patient. Appropriate radiation shielding and monitoring are used to obtain the best protection [16].

CONCLUSION

In conclusion, steroid cream can be applied as prophylaxis before radiotherapy. Photobiomodulation therapy, barrier films, and topical emollients are being studied for their dosage and effectiveness. Therefore, physicians need to risk the patients' risk of RISR before starting radiotherapy and giving steroid cream prophylaxis as needed. Other ways to minimalize the radiation dermatitis are using pulse fluoroscopy. Time, shielding, and distance are the three most effective ways of minimalizing radiation exposure. The intensifier should be placed near the patient. Appropriate radiation shielding and monitoring are used to obtain the best protection.

REFERENCES

- [1] G. Burke, et al., *Radiography* 28, 232-239 (2022).
- [2] N. A. Iacovelli, et al., *Drugs in Context* 9, 1–13 (2019).
- [3] J. Kisonas, et al., *Life* 12, 1–11 (2022).
- [4] A. Rahimi, et al., *International Journal of Radiology, Biology, and Physics*, 112, 663-670 (2021).
- [5] C. J. Iddins, et al., *J. Radiol. Prot* 42, 1-18 (2022).
- [6] J. Bernier, *Annals of Oncology* 22, 2191-2200 (2011).
- [7] M. Spalek, *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology* 9, 473-481 (2016).
- [8] N. Ruiyan, et al., *International Journal of Radiology, Biology, and Physics*, article in press (2022).
- [9] M. Y. Sikkandar, et al., *J Amb Intel Hum Comp* 12, 3245–3255 (2021).
- [10] R. Baig, et al., *Curr Med Imaging* 16, 513–533 (2020).
- [11] Silveira, et al., *Photochemical & Photobiological Sciences* 1, 1–17 (2019).
- [12] S. T. Sonis, et al., *Oral Oncol* 54, 7–14 (2016).
- [13] M. M. Marques, et al., *Laser Surg* 34, 500–508 (2016).
- [14] S. Hemati, et al., *Support Care Cancer* 20, 1613–1618 (2012).
- [15] S. R. Hymes, et al., *J Am Acad Dermatol* 54, 28–46 (2006).
- [16] E. L. Mitchell, and F. Patricia, *J Vasc Surg*, 53, 22S-27S (2011).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENGARUH TINGKAT PENERIMAAN DOSIS RADIASI TERHADAP HASIL PEMERIKSAAN KESEHATAN PEKERJA DI INSTALASI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA - KAWASAN NUKLIR SERPONG

Melly Risky Sarpriani^{1, a)}, Yanni Andriani^{2, b)}, Adelili Hermana^{3, c)}

^{1,2,3} BRIN, Kawasan Puspiptek Serpong, Kota Tangerang Selatan, Indonesia

^{a)}Corresponding author: melly.sarpriani@brin.go.id

^{b)}yanni.andriani@brin.go.id

^{c)}adelili.hermana@brin.go.id

Abstrak. Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui dampak penerimaan dosis radiasi terhadap kesehatan pekerja radiasi dan proteksi radiasi dengan menganalisis penerimaan dosis radiasi dan hasil pemeriksaan kadar leukosit pekerja, terutama kadar limfosit dalam darah. Metode yang digunakan yaitu melakukan analisis rekap data penerimaan dosis radiasi dan hasil pemeriksaan kesehatan (MCU) setiap bidang di PRTRRB (Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan BIODESIMETRI) dari hasil pemantauan secara eksternal dengan TLD (Thermoluminescent Dosimetry) dan secara internal dengan analisis urin dan WBC (Whole Body Counting) pada triwulan I - IV tahun 2020 – 2021. Evaluasi hasil penerimaan dosis dan hasil pemeriksaan kesehatan pada bagian leukosit / limfosit yang abnormal. Jumlah pekerja yang paling banyak menerima dosis selama tahun 2020 - 2021 yaitu bidang Teknologi Radioisotop (TRI) dan bidang Teknologi Radiofarmaka (TRF). Nilai dosis minimum yang diterima pekerja radiasi di tahun 2020 - 2021 yaitu range antara 0.0 – 0.5 mSv, sedangkan untuk nilai dosis maksimum pada tahun 2020 yaitu range antara 2.0 – 2.5 mSv di bidang TRF dan pada tahun 2021 yaitu range antara 1.5 – 2.0 mSv di bidang TRI. Pekerja radiasi di PRTRRB yang memiliki kadar leukosit abnormal pada tahun 2020 yaitu bidang TRI sebanyak 7 orang, bidang TRF sebanyak 5 orang, bidang Pengelolaan Fasilitas Produksi Radioisotop (PFPR) sebanyak 6 orang dan bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah (KPL) sebanyak 5 orang. Sedangkan pada tahun 2021 yaitu bidang TRI sebanyak 3 orang, bidang TRF sebanyak 6 orang, bidang PFPR sebanyak 4 orang, serta bidang KPL sebanyak 1 orang. Berdasarkan data yang diperoleh, bahwa tingkat penerimaan dosis pekerja di PRTRRB dapat mempengaruhi kadar limfosit dalam darah. Sehingga pemeriksaan kesehatan terhadap pekerja radiasi sangat penting dan wajib diselenggarakan secara rutin dalam upaya memberikan informasi sedini mungkin jika ditemukan keabnormalan dan perlu dilakukan studi lebih terkait efek penerimaan dosis radiasi terhadap kadar leukosit / limfosit dalam darah pekerja.

Kata kunci: dosis radiasi, pekerja radiasi, kadar leukosit, proteksi radiasi

PENDAHULUAN

Budaya keselamatan merupakan prioritas dan menjadi sasaran yang harus diwujudkan dalam pemanfaatan dan pengembangan tenaga nuklir dan radiasi. Salah satu unit kerja di Organisasi Riset Tenaga Nuklir (Eks BATAN) yang para pekerjanya mempunyai resiko menerima dosis radiasi eksternal dan internal karena kegiatan dan tugasnya berkaitan dengan radioisotop dan radiofarmaka adalah PRTRRB (Pusat Riset Teknologi Radioisotope, Radiofarmaka, dan BIODESIMETRI). Resiko dari penerimaan dosis radiasi ini perlu mendapatkan perhatian dan pemantauan agar dosis yang diterima tidak melebihi nilai batas dosis yang telah ditetapkan, sehingga diperlukan upaya untuk meminimalisasi kemungkinan resiko akibat penerimaan dosis [1]. Upaya yang dilakukan PRTRRB bekerja sama dengan Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK) yaitu melakukan pemantauan penerimaan dosis radiasi sesuai dengan Perka BAPETEN No 6 tahun 2010 bekerjasama dengan tim klinik secara rutin melakukan pemeriksaan kesehatan untuk pekerja radiasi, khususnya pekerja di lingkungan instalasi nuklir. Sehingga apabila ada kelainan dari hasil pemeriksaan, khususnya yang diakibatkan oleh pengaruh radiasi maka dapat diketahui sedini mungkin [2]. Pemantauan dosis radiasi terhadap pekerja

radiasi di PRTRRB terdiri dari pemantauan dosis eksterna dengan menggunakan TLD dan pemantauan dosis interna secara in-vivo (WBC) dan in-vitro (analisis urin).

Batasan dosis paparan radiasi kerja bagi para pekerja radiasi adalah 20 mSv/tahun rerata selama 5 (lima) tahun yang ditetapkan untuk mengontrol paparan radiasi potensial dari sumber radiasi selama operasi normal [3]. Batas dosis ditetapkan untuk meminimalisir efek stokastik dan mencegah efek deterministik [4]. Efek stokastik tidak ada nilai batas dosis (dosis ambang) dan kelainan yang timbul dapat berupa kelainan genetik yang bersifat heriditer dan pada kasus tertentu ada yang bersifat somatik [5]. Efek stokastik ini tidak dapat dicegah namun sebagai pekerja radiasi harus bisa meminimalisir penerimaan dosis mungkin bila perlu tidak mendapatkan paparan radiasi sama sekali saat menjalankan tugasnya. Berbeda dengan efek deterministik yang mempunyai dosis ambang, selama pekerja radiasi tidak mendapatkan paparan melebihi dari nilai batas dosis maka dipastikan kemungkinan kecil terkena efek deterministik [6]. Contoh efek deterministik antara lain katarak pada lensa mata, kerusakan non-malignan pada kulit, kerusakan sel kelamin yang mengakibatkan kemandulan, dan kerusakan sel pada sumsum tulang merah yang mengakibatkan kelainan darah [5]. Efek radiasi pada sistem jaringan sangat bergantung pada sensitivitas radiasi jaringan tubuh [7]. Pada penyinaran radioterapi kanker payudara diperoleh hasil apabila dosis 50 rad (1 rad= 0,01 Gray) sudah dapat menurunkan jumlah leukosit [8]. Hal ini dikarenakan sel leukosit adalah sel yang paling peka terhadap radiasi [9]. Jadi semakin banyak dosis total yang terakumulasi, semakin rendah jumlah sel darah putih.

Berdasarkan data rekap dosis pekerja di PRTRRB-Serpong terindikasi bahwa penerimaan dosis pekerja radiasi PRTRRB relatif lebih tinggi dibandingkan dengan pusat / unit kerja yang lain. Keadaan ini mendorong untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efek kesehatan dari penerimaan dosis. Mengingat tugas dan tanggung jawab pekerja radiasi di PRTRRB berhubungan dengan radiasi yang dapat menimbulkan efek deterministik (kerusakan sel). Sejumlah komponen biologi dalam tubuh manusia akan mengalami perubahan setelah pajanan radiasi sebagai akibat langsung dari kerusakan radiasi dan sebagai respon untuk proses perbaikan dan regenerasi sel [10]. Sel biologik yang dapat dipergunakan untuk pengkajian dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi antara lain darah (leukosit), sperma, rambut dan urine [10]. Komponen leukosit dalam darah, pengaruh besarnya dosis radiasi yang diterima seseorang dapat menyebabkan berkurangnya limfosit secara drastis [11].

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai dampak radiasi terhadap kesehatan pekerja radiasi dan upaya proteksi terhadap radiasi dengan menganalisis penerimaan dosis radiasi yang diterima oleh pekerja berdasarkan tingkat / kadar leukosit dalam darah.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di PRTRRB (Pusat Riset Teknologi Radioisotope, Radiofarmaka, dan BIODESIMETRI) – Serpong pada tahun 2020 – 2021. Pemilihan lokasi penelitian berdasarkan pusat dengan pekerja radiasi yang mempunyai resiko penerimaan dosis eksterna maupun interna yang paling tinggi dibandingkan dengan pusat – pusat yang lain.

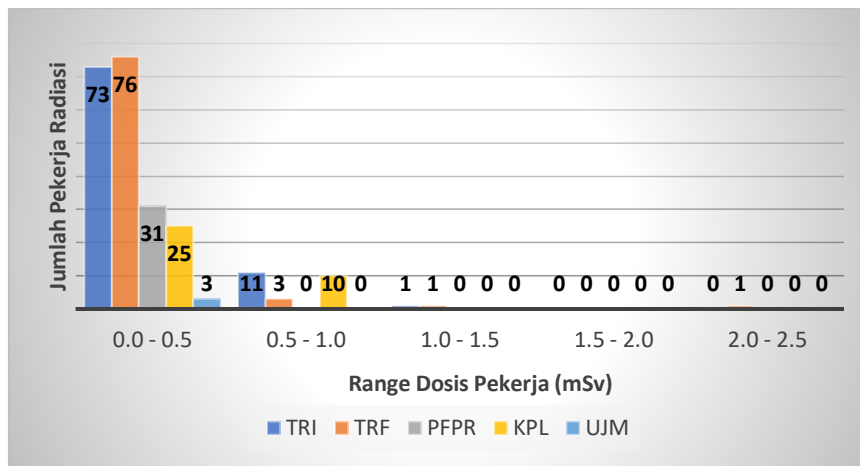
Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan urutan tata cara sebagai berikut:

1. Inventaris personil pekerja radiasi yang mendapatkan pemantauan dosis radiasi baik secara interna maupun eksterna serta pemantauan tingkat kesehatan (MCU).
2. Rekap data dosis radiasi pekerja di setiap bidang yang ada di PRTRRB dari hasil pemantauan secara eksterna dengan TLD dan secara interna dengan analisis urine dan WBC pada triwulan I - IV dari tahun 2020 – 2021. Bidang di PRTRRB yaitu:
 - Bidang Teknologi Radiofarmaka: TRI
 - Bidang Teknologi Radiofarmaka: TRF
 - Bidang Pengelolaan Fasilitas Produksi Radioisotop: PRFP
 - Bidang Keselamatan Pengelolaan Limbah: KPL
 - Bidang Unit Jaminan Mutu: UJM
3. Evaluasi penerimaan dosis radiasi eksterna dan interna dikaitkan dengan tingkat kesehatan pekerja di PRTRRB tahun 2020 – 2021 khususnya pada bagian leukosit yang abnormal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

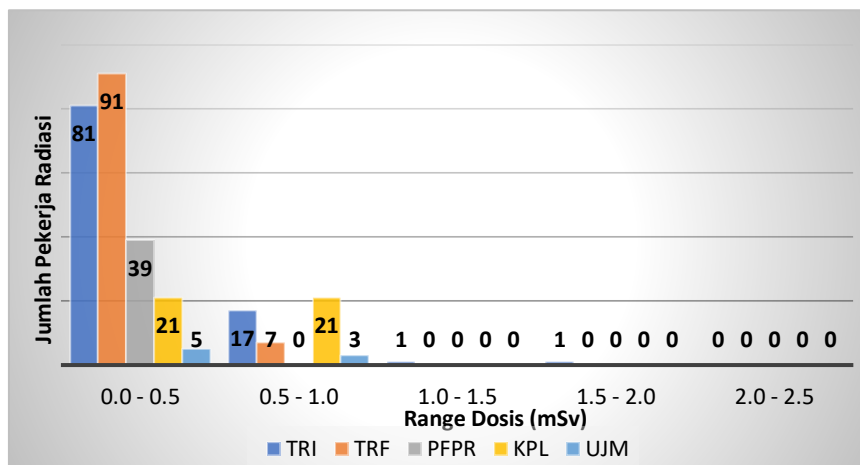
Dosis Radiasi Pekerja Tahun 2020 - 2021

Data penerimaan dosis radiasi pekerja radiasi melalui analisis TLD, WBC dan In-Vitro (urin) di PRTRRB pada tahun 2020 dan 2021 disampaikan dalam Gambar 1 dan Gambar 2, seperti dibawah ini:



GAMBAR 1. Jumlah penerimaan dosis radiasi pekerja tahun 2020

Grafik yang tertera pada Gambar 1 adalah perbandingan jumlah pekerja dengan range dosis yang diperoleh, dapat dilihat bahwa bidang kerja yang para pekerjanya lebih banyak mendapatkan dosis adalah bidang Teknologi Radioisotop (TRI) yaitu sebanyak 73 pekerja mendapatkan dosis dengan range antara 0.0 – 0.5 mSv, sebanyak 11 pekerja dengan range antara 0.5 – 1.0 mSv, dan 1 pekerja mendapatkan dosis dengan range antara 1.0 – 1.5 mSv. Selain bidang Teknologi Radisotop, banyak para pekerja di bidang Teknologi Radiofarmaka yang juga memperoleh dosis, sebanyak 76 pekerja mendapatkan dosis dengan range 0.0 – 0.5 mSv, sebanyak 3 pekerja dengan range antara 0.5 – 1.0 mSv, dan 1 pekerja mendapatkan dosis dengan range antara 1.0 – 1.5 mSv.



GAMBAR 2. Jumlah penerimaan dosis radiasi pekerja tahun 2021

Gambar 2 yaitu grafik yang menggambarkan jumlah pekerja dengan perolehan dosis selama tahun 2021, sama hal nya dengan tahun 2020 yaitu bidang Teknologi Radioisotop dan bidang Teknologi Radiofarmaka dengan yang jumlah pekerjanya paling banyak memperoleh dosis. Jika dilihat dari nilai dosis minimum dan maksimum yang diperoleh pada tahun 2020 dan 2021, nilai dosis minimumnya sama yaitu range antara 0.0 – 0.5 mSv, sedangkan untuk nilai dosis maksimum pada tahun 2020 yaitu range antara 2.0 – 2.5 mSv di bidang Teknologi Radiofarmaka dan pada tahun 2021 yaitu range antara 1.5 – 2.0 mSv di bidang Teknologi Radioisotope.

Besaran dosis yang diperoleh pada tahun 2020 sampai 2021 mengalami perubahan yang fluktuatif namun cenderung menurun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. Perubahan tersebut terjadi secara simultan tiap tahunnya dengan adanya evaluasi dan investigasi dari PRTRRB khususnya oleh bidang Keselamatan termasuk evaluasi dan investigasi terkait para pekerja radiasi yang memperoleh dosis diatas dari NBD (Nilai Batas Dosis) yang ditentukan.

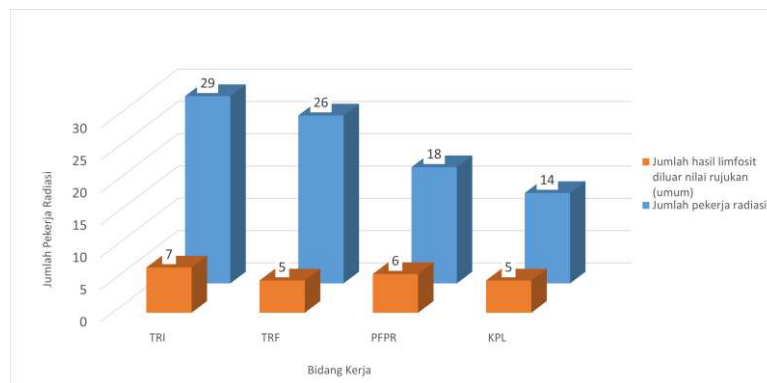
Pekerja radiasi di bidang Teknologi Radioisotope dan Radiofarmaka memang lebih banyak memperoleh dosis dibandingkan dengan bidang lain yang ada di PRTRRB. Hal ini disebabkan di kedua bidang tersebut mempunyai tingkat resiko penerimaan dosis radiasi yang lebih besar berhubungan dengan pekerjaan yang dilakukan. Namun walaupun banyak pekerja radiasi yang memperoleh dosis, nilai besaran dosis yang mereka peroleh masih dapat dikategorikan aman karena masih dibawah NBD (< 20 mSv/tahun) yang telah ditetapkan kecuali satu pekerja radiasi di bidang Radioisotope pada tahun 2020 (range dosis 2.0 – 2.5 mSv) dan satu pekerja di bidang Radiofarmaka pada tahun 2021 (range dosis 1.5 – 2.0 mSv) yang mendapatkan dosis radiasi diatas NBD yang sudah ditetapkan. Akan tetapi dari pihak keselamatan yang ada di PRTRRB sudah melakukan

evaluasi dan investigasi terkait kejadian ini dan hal ini disebabkan karena kelalaian dalam menjaga proteksi radiasi protokol secara ketat.

Hubungan Dosis Radiasi pada Pekerja Radiasi Terhadap Kadar Leukosit

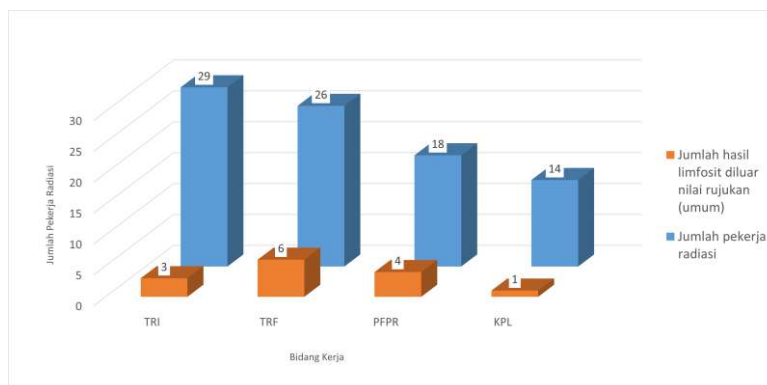
Data hasil nilai tes darah diatas nilai rujukan (abnormal) yang diperoleh oleh pekerja radiasi di PRTRRB disampaikan dalam Gambar 3 dan 4. Data tersebut merupakan identifikasi tingkat kesehatan dari hasil pemeriksaan laboratorium (MCU). Kelainan tingkat kesehatan diidentifikasi dari data pemeriksaan yang hasilnya diluar batasan normal menurut standar kesehatan secara umum.

Pada kondisi tubuh normal, kehilangan sel dalam darah biasanya dikarenakan akibat makanan dan umur yang diseimbangkan oleh produktivitas sel darah dari sel stem terutama dalam sumsum tulang [6]. Namun pajanan radiasi dengan dosis tinggi dapat menyebabkan kematian jaringan dengan kurun waktu beberapa minggu [12]. Oleh karena itu, sejumlah sel darah menurun sesuai dengan sensitifitas dan angka harapan hidup, dimana limfosit yang pertama beraksi karena limfosit paling sensitive terhadap radiasi, diikuti granulosit, trombosit dan terakhir eritrosit [12]. Dosis sekitar 500 Rad sudah dapat menyebabkan jumlah pembentukan komponen sel darah merah menurun karena adanya penekanan pada proses pembentukan komponen sel darah [13].



GAMBAR 3. Jumlah hasil limfosit diluar nilai rujukan tahun 2020

Berdasarkan gambar 3 menunjukkan pekerja radiasi di PRTRRB yang memiliki kadar leukosit abnormal pada tahun 2020 yaitu bidang TRI sebanyak 7 orang, bidang TRF sebanyak 5 orang, bidang PFPR sebanyak 6 orang dan bidang KPL sebanyak 5 orang. Pada tahun 2021 pekerja radiasi di PRTRRB yang memiliki kadar leukosit abnormal yaitu bidang TRI sebanyak 3 orang, bidang TRF sebanyak 6 orang, bidang PFPR sebanyak 4 orang, serta bidang KPL sebanyak 1 orang. Jadi, tidak semua pekerja yang mendapatkan nilai dosis memiliki kadar leukosit abnormal, hal ini dapat disebabkan oleh faktor ketahanan imun tubuh dan dosis yang diterima pekerja radiasi berbeda satu sama lain [14]. Dalam hal ini pekerja radiasi seharusnya bertanggung jawab dan menjadikan prioritas utama atas keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam melaksanakan tugas rutin dalam melaksanakan tugasnya.

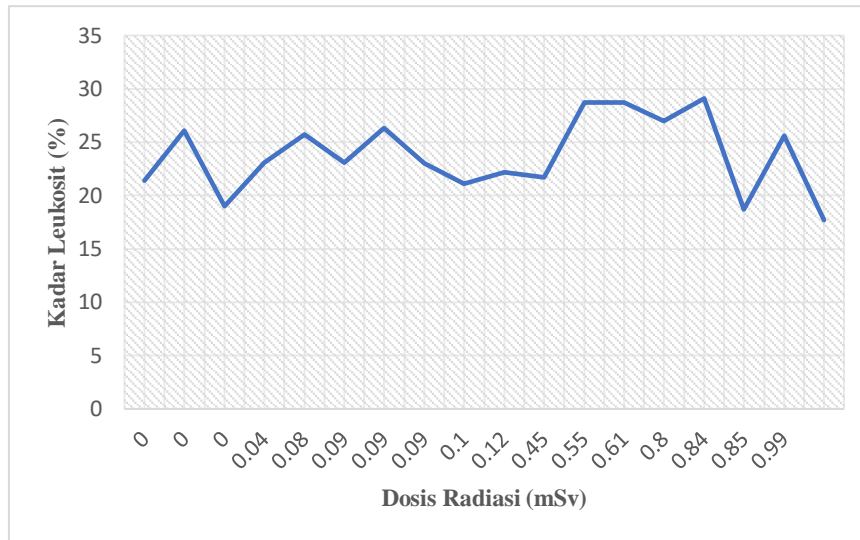


GAMBAR 4. Jumlah hasil limfosit diluar nilai rujukan tahun 2021

Jika dilihat berdasarkan hasil dari grafik penerimaan dosis tahun 2020 dan 2021 (Gambar 1 dan 2) dengan grafik kadar leukosit pekerja radiasi tahun 2020 dan 2021 (Gambar 3 dan 4) tidak dapat menentukan tingkat keparahan dari tingkat kesehatan pekerja berdasarkan nilai dosis yang diperoleh. Berdasarkan teori jika seseorang menerima dosis radiasi tinggi maka dapat menyebabkan berkurangnya limfosit secara drastis, maka seharusnya jika semua pekerja radiasi yang memperoleh nilai dosis juga melakukan tes kesehatan akan diperoleh hasil kadar leukosit berbanding terbalik dengan tingginya nilai dosis yang diperoleh [11]. Jadi, grafik yang tertera pada gambar 3,4 hasilnya tidak sesuai jika dibandingkan dengan grafik yang tertera pada gambar

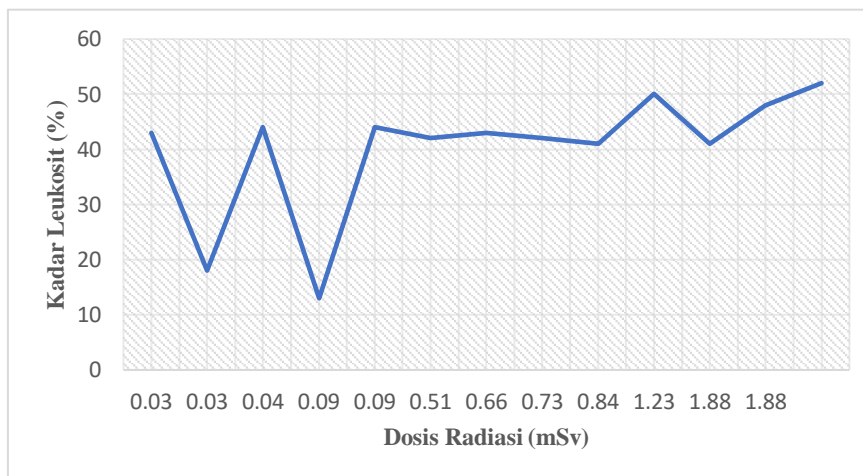
1,2. Hal ini dikarenakan jumlah pekerja MCU pada tahun 2020 jumlahnya hanya 50 orang dan pada tahun 2021 berjumlah 80 orang, jadi tidak semua pekerja radiasi yang memperoleh dosis radiasi melakukan tes kesehatan (MCU).

Hubungan Dosis Radiasi terhadap Kadar Leukosit Abnormal pada Pekerja Radiasi



GAMBAR 5. Hubungan dosis radiasi terhadap kadar leukosit abnormal tahun 2020

Kecenderungan hubungan penerimaan dosis radiasi terhadap kadar leukosit yang abnormal pada pekerja tahun 2020 terjadi naik dan turun dalam satu periode waktu. hal ini dapat disebabkan karena faktor ketahanan tubuh, akumulasi dosis yang diterima pekerja radiasi pada tahun sebelumnya, dan perbandingan hasil tes kesehatan (MCU) khususnya pada kadar leukosit yang diterima oleh pekerja radiasi.



GAMBAR 6. Hubungan dosis radiasi terhadap kadar leukosit abnormal tahun 2021

Hubungan penerimaan dosis radiasi dengan kadar leukosit pekerja radiasi yang abnormal pada tahun 2021 dapat terlihat pada Gambar 6 dan diperoleh hasil yang berfluktuasi. Jika dilihat dari kadar leukosit pekerja radiasi yang abnormal dan dosis radiasi yang diterima maka hal ini tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa tingginya dosis radiasi yang diterima seseorang akan menyebabkan berkurangnya jumlah limfosit secara drastis. Namun jika dilihat dari penerimaan kadar leukosit pada tahun 2021 terdapat penurunan jumlah kadar leukosit walaupun tidak secara berkelanjutan dan tidak pada dosis yang paling tinggi di tahun 2021.

Kontribusi penerimaan dosis radiasi terhadap tingkat kesehatan pekerja ditinjau dari kadar leukositnya pada tahun 2020 dan 2021 di PRTRRB untuk sementara ini, belum dapat diketahui khususnya untuk efek deterministik. Sedangkan untuk efek stokastik yang tidak memerlukan dosis ambang, sifatnya sangat individual dan sulit dipahami. Oleh karena itu, kesehatan pekerja sebagai pekerja radiasi di suatu instalasi sangat beresiko sehingga perlu dilakukan pemantauan kesehatan pekerja radiasi melalui pemeriksaan laboratorium kesehatan (MCU) secara berkala minimal sekali dalam satu tahun. Pekerja radiasi juga harus bertanggung jawab atas dirinya sendiri dengan menerapkan prinsip proteksi radiasi yaitu justifikasi, limitasi, dan optimasi tetap harus dipatuhi dalam rangka meminimalkan efek biologi dari radiasi [10].

Pada penelitian ini substansi pemeriksaan kesehatan hanya pada normal atau tidaknya kadar leukosit yang dimiliki pekerja radiasi dari MCU karena limfosit yang terdapat di leukosit merupakan sel darah yang sangat sensitive terhadap radiasi sehingga memudahkan untuk menjawab tujuan dari penelitian ini yaitu melihat dampak yang terjadi terhadap kesehatan pekerja radiasi. Keterbatasan utama dari penelitian ini adalah bahwa pekerja radiasi tidak semuanya melakukan MCU pada tahun 2020 dan 2021.

KESIMPULAN

Jumlah pekerja yang paling banyak menerima dosis selama tahun 2020 - 2021 yaitu bidang Teknologi Radioisotop dan Bidang Teknologi Radiofarmaka. Nilai besaran dosis yang mereka peroleh masih dapat dikategorikan aman karena masih dibawah NBD (< 20 mSv/tahun) yang telah ditetapkan kecuali satu pekerja radiasi di bidang Radioisotop pada tahun 2020 (range dosis 2.0 – 2.5 mSv) dan satu pekerja di bidang Radiofarmaka pada tahun 2021 (range dosis 1.5 – 2.0 mSv) yang mendapatkan dosis radiasi diatas NBD yang sudah ditetapkan. Akan tetapi dari pihak keselamatan yang ada di PRTRRB sudah melakukan evaluasi dan investigasi terkait kejadian ini dan hal ini disebabkan karena kelalaian dalam menjaga proteksi radiasi protokol secara ketat. Pekerja radiasi di PRTRRB yang mendapatkan nilai dosis radiasi belum tentu memiliki kadar leukosit yang abnormal, hal ini dapat disebabkan oleh faktor ketahanan atau kekebalan tubuh dan dosis yang diterima pekerja radiasi berbeda dan bervariasi satu sama lain. Kontribusi penerimaan dosis radiasi terhadap tingkat kesehatan pekerja ditinjau dari kadar leukositnya pada tahun 2020 dan 2021 di PRTRRB untuk sementara ini, belum dapat diketahui khususnya untuk efek deterministik. Sedangkan untuk efek stokastik yang tidak memerlukan dosis ambang, sifatnya sangat individual dan sulit dipahami. Pengaruh radiasi pada organ tubuh manusia dapat bermacam-macam bergantung pada dosis yang diterima sel jaringan tersebut. Dengan studi ini dapat diketahui bahwa sebagai pekerja radiasi pada suatu instalasi beresiko terhadap kesehatan, untuk itu perlu dilakukan pemantauan kesehatan pekerja radiasi melalui pemeriksaan laboratorium kesehatan (MCU) secara berkala minimal sekali dalam satu tahun. Selain itu, pekerja radiasi harus bertanggung jawab atas dirinya sendiri dengan menerapkan prinsip proteksi radiasi. Kita hanya berprinsip sekecil apapun radiasi yang mengenai kita tetap akan menimbulkan efek terhadap kita.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada seluruh pekerja yang ada di PRTRRB (Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka, dan Biodesimetri), Organisasi Riset Teknologi Nuklir, atas izinnya dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Elshami, R. U. Erdemir, M. M. Abuzaid, B. Cavli, B. Issa, and H. O. Tekin, "Occupational radiation dose assessment for nuclear medicine workers in Turkey: A comprehensive investigation," *J. King Saud Univ. - Sci.*, vol. 34, no. 4, p. 102005, 2022, doi: 10.1016/j.jksus.2022.102005.
- [2] K. Badan and P. Tenaga, "jdih.bapeten.go.id," 2010.
- [3] T. Y. Kong, S. Y. Kim, Y. Jung, J. M. Kim, and M. Cho, "Administrative dose control for occupationally-exposed workers in Korean nuclear power plants," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 351–356, 2021, doi: 10.1016/j.net.2020.06.023.
- [4] M. Alkhorayef *et al.*, "Staff radiation dose and estimated risk in an interventional radiology department," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 178, p. 108999, 2021, doi: 10.1016/j.radphyschem.2020.108999.
- [5] E. Hiswara, "2015 Buku Pintar.pdf," 2015.
- [6] Z. Alatas, S. Hidayati, M. Akhadi, and M. Purba, "Buku Pintar Nuklir," *Buku*, pp. 1–216, 2001, [Online]. Available: http://www.batan.go.id/kip/documents/12buku_pintar.pdf
- [7] P. Morales-Ramírez, V. Cruz-Vallejo, T. Vallarino-Kelly, R. Rodríguez-Reyes, and F. González-Beltrán, "Induction and assessment of persistent radioresistance in murine leukocytes in vivo," *Biochem. Biophys. Reports*, vol. 31, no. May, p. 101296, 2022, doi: 10.1016/j.bbrep.2022.101296.
- [8] A. D. Prastanti, S. Wahyuni, and S. Masrochah, "Efek Radiasi terhadap Perubahan Jumlah Leukosit dan Eritrosit pada Pasien Kanker Payudara Sebelum dan Setelah Radioterapi," *J. Imejing Diagnostik*, vol. 2, no. 1, pp. 124–128, 2016, doi: 10.31983/jimed.v2i1.3169.
- [9] F. Giyartika and S. Keman, "The Differences of Improving Leukosit in Radiographers at Islamic Hospital Jemursari Surabaya," *J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 12, no. 2, p. 97, 2020, doi: 10.20473/jkl.v12i2.2020.97-106.
- [10] V. Tsapaki *et al.*, *Annals of the ICRP*, vol. 188, no. 24, 2021. [Online]. Available: www.mdpi.com/journal/diagnostics%0Ahttp://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1609_web.pdf%5Cnhttp://www.vomfi.univ.kiev.ua/assets/files/IAEA/Pub1462_web.pdf%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16168243
- [11] K. Lumniczky *et al.*, "Low dose ionizing radiation effects on the immune system," *Environ. Int.*, vol. 149, no. September 2020, 2021, doi: 10.1016/j.envint.2020.106212.

- [12] Mauliku, Novie Elvinawaty, and Ramadani, “Hubungan Paparan Radiasi Sinar X Dengan Kadar Hematologi Pada Petugas Radiologi Rumah Sakit Purwakarta,” *Teras Kesehat.*, vol. 2, no. 1, pp. 26–31, 2019.
- [13] F. Oktafiani, U. P. Juwono, and Kusharto, “Pengaruh Radiasi Gamma Terhadap Jumlah Leukosit , Prosentase Limfosit pada Organ Limfoid dan Histologi Hepar Mencit (*Mus mucus*) yang Telah Diberi Ekstrak Meniran (*Phyllanthus niruri L .*),” *J. Kedokt Meditek*, vol. 18, no. 47, pp. 20–26, 2016.
- [14] E. Zulfikar *et al.*, “Efek Radioterapi terhadap Jumlah Leukosit, Trombosit dan Hemoglobin Pasien Karsinoma Nasofaring di Rumah Sakit Universitas Hasnuddin Periode 2016-2018,” *JIMKI J. Ilk. Mhs. Kedokt. Indones.*, vol. 9, no. 1, pp. 8–14, 2021.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



STUDI KOMPARASI PEMANFAATAN UMPAN BALIK PENGALAMAN OPERASI UNTUK MENINGKATKAN KESELAMATAN PLTN DI BEBERAPA NEGARA PENGOPERASI PLTN

Rahmat Edhi Harianto¹, Bintoro Aji¹, Arifin M. Susanto²

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN*

²*Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN
Jalan Gajah Mada No. 8 Jakarta, Indonesia*

Korespondensi email: r.harianto@bapeten.go.id; rahmatedhi@gmail.com

Abstrak. Kejadian insiden maupun kecelakaan yang terjadi pada pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) telah memberikan beragam pembelajaran karena setiap terjadi kegagalan, transien maupun kecelakaan, telah dilakukan evaluasi dalam rangka mencegah keberulangan hal tersebut. Umpan balik pengalaman operasi menjadi elemen penting dalam mempertahankan dan meningkatkan keselamatan operasi instalasi nuklir. Regulasi keselamatan nuklir telah mensyaratkan negara pihak di sisi operator dan badan pengawas untuk membuat program umpan balik pengalaman operasi dengan cara belajar dari kejadian masa lalu di instalasi dan kejadian serupa di industri nuklir lainnya. Studi menunjukkan bahwa penerapan tindakan perbaikan yang tepat dapat mengurangi angka keberulangan kejadian terjadinya kegagalan, transien/insiden maupun kecelakaan. Untuk mendukung pembangunan PLTN pertama di Indonesia, saat ini BAPETEN sedang melakukan kajian penyusunan User Requirement Document (URD) Sistem Informasi Keselamatan Nuklir (SIKN), sistem basis data pelaporan kejadian insiden di reaktor daya. Kondisi saat ini, kejadian dan waktu pelaporan pada PLTN telah tercantum dalam regulasi. Namun kategori kejadian yang dilaporkan ke badan pengawas belum spesifik dan format pelaporan kejadian belum tercantum. Kajian ini perlu dilakukan untuk mengidentifikasi jenis kejadian di fasilitas yang perlu dilaporkan, bentuk dan format isi laporan. Kajian dilakukan dengan cara studi literatur, membandingkan praktik umpan balik pengalaman operasi dari regulasi nasional, standar IAEA dan di negara pengoperasi PLTN seperti Amerika Serikat, Rusia, Finlandia, Kanada, dan Prancis. Studi menyimpulkan jenis kejadian dengan kegagalan penghalang dapat menjadi prekursor potensial terhadap kerusakan teras atau lepasan zat radioaktif. Dalam pengembangan SIKN, Indonesia dapat mengadaptasi alur proses, mekanisme dan kategorisasi kejadian yang tersedia di IRS-IAEA karena telah mempertimbangkan kejadian dengan lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi tak terantisipasi, degradasi penghalang dan sistem terkait keselamatan, dan kekurangan dalam desain, konstruksi (manufaktur), pemasangan dan komisioning, operasi (perawatan dan surveilans). Bentuk dan isi laporan kejadian di setiap negara pengoperasi PLTN umumnya sama dengan panduan yang diterbitkan IRS-IAEA. Penyampaian laporan kejadian terdiri dari penyampaian laporan pendahuluan, laporan utama, dan laporan tindak lanjut.

Kata kunci: pelaporan kejadian, sistem informasi keselamatan nuklir, umpan balik pengalaman operasi.

PENDAHULUAN

Kejadian operasional (insiden) maupun kecelakaan yang terjadi pada PLTN telah memberikan beragam pembelajaran karena setiap terjadi kegagalan, transien maupun kecelakaan telah dilakukan evaluasi dalam rangka mencegah keberulangan hal tersebut.[1]. Kecelakaan Three Mile Island pada tahun 1979 memberikan dorongan dalam pengembangan proses umpan balik pengalaman operasional internasional yang efektif sebagai upaya evaluasi dalam rangka mencegah keberulangan terjadi kegagalan, transien maupun kecelakaan [2].

Umpan balik pengalaman pengoperasian adalah elemen kunci dalam mempertahankan dan meningkatkan keselamatan operasi instalasi nuklir [3]. Sejak peristiwa itu, negara pengoperasi PLTN yang tergabung dalam forum OECD/NEA telah melaporkan kejadian insiden atau kecelakaan melalui sistem yang disebut IRS (*Incident Reporting System*).

Sejak tahun 1983 badan atom internasional (IAEA) memperluas penggunaan IRS ini ke semua negara anggota yang memiliki program PLTN. Kecelakaan PLTN Chernobyl pada tahun 1986 menghasilkan

pengakuan lebih lanjut bagi badan pengawas dan operator di berbagai negara anggota tentang pentingnya pelaporan kejadian secara efektif dan sistem pertukaran pengalaman operasi [4].

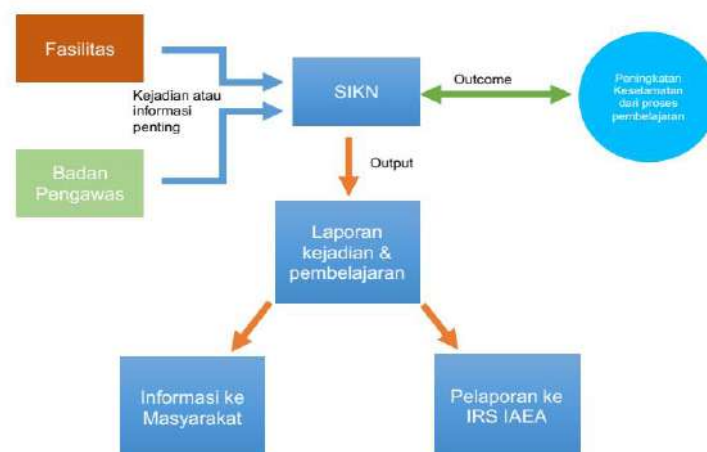
IRS adalah sistem internasional yang dirancang untuk melengkapi skema nasional. Informasi yang dilaporkan dinilai, dianalisis dan diumpungkan kembali ke operator untuk digunakan dalam mencegah kejadian serupa. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan keselamatan instalasi nuklir dengan cara mengurangi frekuensi dan tingkat keparahan kejadian yang penting bagi keselamatan pada instalasi nuklir di seluruh dunia. Idealnya, umpan balik pengalaman operasi secara internasional, menjadikan industri nuklir memiliki program-program yang efisien. Faktanya, kejadian terkait keselamatan dan analisis lanjutan yang menunjukkan kejadian serupa di masa lalu pada fasilitas lain, dan/atau prekursor atau sumber penyebab kejadian di fasilitas tersebut tetap terjadi dan belum ditangani secara efisien [3].

Program pengalaman operasi terdiri dari beberapa unsur sebagai berikut: sumber data pelaporan, identifikasi dan pelaporan pengalaman operasi, evaluasi kejadian tertentu dengan segera, penapisan, penyelidikan dan analisis, penilaian dan kecenderungan, tindakan korektif, komunikasi (penggunaan, diseminasi dan pertukaran informasi), dan dokumentasi [4].

Penerapan program pengalaman operasi yang baik ditandai dengan ciri-ciri berikut: manajemen memastikan agar organisasi menerapkan pengalaman operasi sehingga keselamatan dan keandalan instalasi meningkat; pengalaman operasi dilaporkan tepat waktu untuk mengurangi potensi pengulangan kejadian serupa; sumber pengalaman operasi dipertimbangkan dalam program pengalaman operasi untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan instalasi melalui pembelajaran yang diraih; informasi pengalaman operasi disaring dengan tepat dan memprioritaskan hal-hal yang memerlukan penyelidikan lebih lanjut untuk memastikan akar penyebab dan tindakan korektif telah diidentifikasi; dilakukan analisis pada kejadian yang sesuai bergantung pada tingkat keparahan atau frekuensinya; tindakan korektif ditentukan, diprioritaskan, dijadwalkan dan ditindaklanjuti untuk memastikan implementasi yang efektif dan peningkatan yang efektif dari keamanan dan keandalan instalasi; informasi pengalaman operasi dianalisis dan menjadi tren, dan hasilnya digunakan untuk meningkatkan keamanan dan keandalan instalasi; dan penilaian dan indikator digunakan secara efektif untuk menilai dan memantau kinerja instalasi dan efektivitas program pengalaman operasi [3].

Studi menunjukkan bahwa penerapan tindakan perbaikan yang tepat dapat mengurangi angka keberulangan kejadian terjadinya kegagalan, transien/insiden maupun kecelakaan [5]. Untuk mendukung pembangunan PLTN pertama di Indonesia, saat ini BAPETEN sedang melakukan kajian penyusunan *User Requirement Document* (URD) Sistem Informasi Keselamatan Nuklir (SIKN). SIKN adalah sistem basis data pelaporan kejadian insiden di reaktor daya dengan alur proses pada Gambar 1.

Kondisi saat ini di Indonesia, kejadian dan waktu pelaporan pada PLTN telah tercantum dalam regulasi [6]. Namun jenis kejadian yang dilaporkan ke badan pengawas khususnya kejadian operasi terantisipasi belum spesifik dan format pelaporan kejadian belum tercantum. Oleh karena itu penting dilakukan kajian terkait pemanfaatan umpan balik pengalaman operasi reaktor daya, untuk mengidentifikasi jenis kejadian di fasilitas yang perlu dilaporkan dan isi format laporan. Metodologi kajian menggunakan studi literatur dengan cara komparasi praktik umpan balik pengalaman operasi dari regulasi nasional, standar IAEA dan praktik di negara pengoperasi PLTN seperti Amerika Serikat, Rusia, Finlandia, Kanada, dan Prancis.



GAMBAR 1. Alur proses SIKN

METODOLOGI

Makalah berisi studi literatur yang membandingkan praktik umpan balik pengalaman operasi dari regulasi nasional, standar IAEA dan praktik di negara pengoperasi PLTN seperti Amerika Serikat, Rusia, Finlandia, Kanada, dan Prancis. Dalam studi komparasi ini akan ditinjau sisi regulasi, kriteria dan waktu pelaporan kejadian, sumber data dan informasi, serta peran badan pengawas.

PEMBAHASAN

Studi literatur praktik umpan balik pengalaman operasi di Indonesia, IAEA, dan negara pengoperasi PLTN

Regulasi Nasional

Peraturan perundang-undangan di Indonesia telah mensyaratkan pentingnya kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi dalam proses pengambilan keputusan. Bagi fasilitas dan BAPETEN, informasi ini sangat diperlukan dalam proses penilaian dokumen penilaian keselamatan berkala ketika proses perpanjangan izin operasi reaktor nuklir, dengan muatan penilaian umpan balik pengalaman operasi berisi identifikasi pengalaman operasi; dan informasi yang penting untuk keselamatan reaktor nuklir dari pengalaman operasi instalasi nuklir termasuk hasil penelitian.

Selain untuk pengambilan keputusan dan proses perizinan, pemegang izin juga memiliki kewajiban untuk melakukan kajian, tindak lanjut, dan/atau tindakan perbaikan apabila terdapat kejadian operasi terantisipasi, menyampaikan informasi tentang kejadian, hasil kajian, dan tindak lanjut terhadap kejadian operasi terantisipasi kepada Kepala BAPETEN, dan mengevaluasi pengalaman operasi reaktor nuklir dalam rangka melakukan peningkatan termasuk data kejadian kecelakaan[6].

Pemegang izin wajib melapor kepada Kepala BAPETEN apabila terdapat kejadian operasi terantisipasi, kecelakaan dasar desain, dan kedaruratan nuklir, dengan laporan lisan disampaikan dengan segera paling lama 1 (satu) jam dan secara tertulis paling lama 2 (dua) x 24 (dua puluh empat) jam sejak terdapat kejadian tersebut di fasilitas. Selanjutnya, pemegang izin wajib melaporkan kegiatan pelaksanaan penanggulangan kejadian tersebut.

Sesuai definisi [6] kejadian operasi terantisipasi adalah proses operasi yang menyimpang dari operasi normal yang diperkirakan terjadi paling sedikit satu kali selama umur operasi instalasi nuklir tetapi dari pertimbangan desain tidak menyebabkan kerusakan berarti pada peralatan yang penting untuk keselamatan atau mengarah pada kondisi kecelakaan. Sementara kecelakaan dasar desain adalah kecelakaan yang telah diantisipasi dalam desain instalasi nuklir. Namun demikian, jenis kejadian operasi terantisipasi, belum tercantum dalam peraturan maupun pedoman BAPETEN.

Standar IAEA

IAEA telah menguraikan beberapa persyaratan standar dan regulasi keselamatan mengenai pentingnya umpan balik pengalaman operasi untuk meningkatkan keselamatan dan mencegah kejadian serupa terjadi. Prinsip ketiga dari IAEA Safety Fundamental: kepemimpinan dan manajemen keselamatan, mensyaratkan kepatuhan dan pertimbangan pada kinerja manusia, pelatihan, budaya keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi [7].

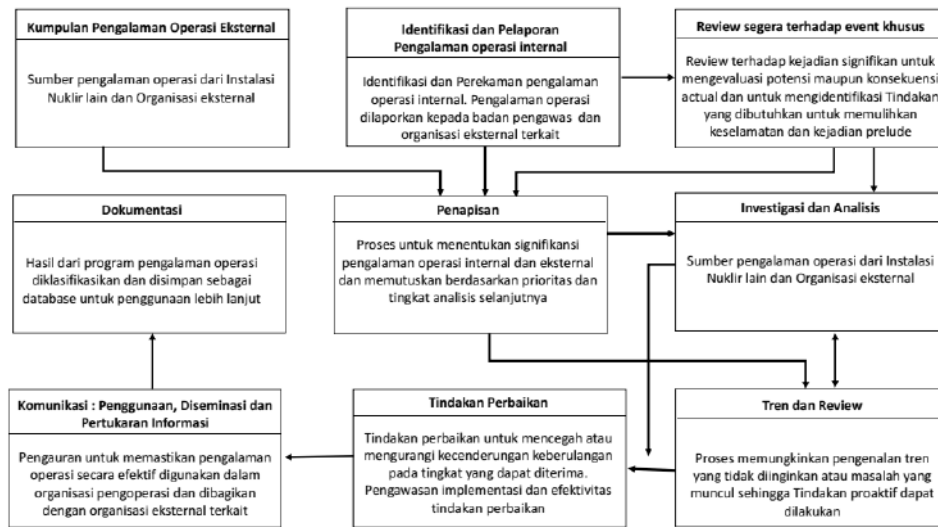
Persyaratan standar keselamatan umpan balik operasi ini diperuntukkan bagi organisasi pengoperasi maupun badan pengawas[4]. Lebih lanjut, pada referensi tersebut telah dijelaskan, badan pengawas dan semua organisasi lain yang bertanggung jawab atas keselamatan harus menumbuhkan saling pengertian dan rasa hormat melalui komunikasi yang jujur dan terbuka, termasuk pengalaman pengoperasian melalui praktik yang baik dan kejadian positif.

Hal ini diperkuat dalam klausul termuat pada konvensi internasional keselamatan nuklir. Pada klausul artikel 19.6 dan 19.7 ini menitikberatkan keutamaan memberikan umpan balik dalam pengalaman operasi, menyusun program untuk mengumpulkan dan menganalisis pengalaman operasi yang relevan dan merumuskan kegiatan berdasarkan hasil analisis umpan balik [8].

Pada artikel 19.6 [8] dinyatakan bahwa setiap negara pihak perlu menetapkan pengaturan dan persyaratan untuk melaporkan insiden yang signifikan terhadap keselamatan kepada badan pengawas. Selain itu, kriteria dan prosedur pelaporan untuk insiden signifikan terhadap keselamatan dan kejadian lain seperti *near-miss* dan kecelakaan, perlu ditetapkan. Sementara pada artikel 19.7 [8] disebutkan bahwa setiap negara pihak perlu menetapkan pengaturan dan persyaratan untuk mengumpulkan dan menganalisis pengalaman operasi, termasuk memberikan umpan balik informasi tentang pengalaman operasi dari instalasi nuklir mereka sendiri, dari instalasi nuklir di dalam dan luar negeri.

Kewajiban operator di setiap negara pihak adalah menyusun prosedur untuk menganalisis peristiwa domestik dan internasional dan mekanisme untuk berbagi pengalaman penting dengan organisasi pengoperasi lainnya. Di sisi lain, badan pengawas menetapkan program umpan balik pengalaman operasional dan penggunaan mekanisme yang ada untuk berbagi pengalaman penting dengan organisasi internasional dan dengan badan pengawas lainnya.

Model proses evaluasi umpan balik pengalaman operasi yang dilakukan oleh badan pengawas terdiri dari sembilan elemen yaitu pengumpulan pengalaman operasi berasal dari luar instalasi, identifikasi dan pelaporan pengalaman operasi di dalam instalasi, penapisan pengalaman operasi, termasuk review langsung atas kejadian-kejadian yang menjadi perhatian khusus, investigasi dan analisis mendalam atas pengalaman operasi yang relevan, kecenderungan dan evaluasi untuk kejadian yang berkembang, tindakan korektif, penggunaan, diseminasi dan pertukaran pengalaman operasi, melalui sistem pelaporan nasional dan internasional, dan dokumentasi, dengan alur proses pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Proses Evaluasi Umpan Balik Pengalaman Operasi di Badan Pengawas

Praktik Penerapan Pengalaman Operasi di Negara Pengoperasi PLTN

Beberapa negara pengoperasi PLTN telah menggunakan umpan balik pengalaman operasi sebagai pilar dasar untuk meningkatkan keselamatan. Pada Tabel 1 telah diberikan perbandingan mengenai persyaratan regulasi, kriteria dan waktu pelaporan, format pelaporan, sumber evaluasi umpan balik pengalaman operasi, dan peran badan pengawas di negara Amerika Serikat, Rusia, Finlandia, Kanada, dan Prancis, terkait praktik umpan balik pengalaman operasi.

Negara pengoperasi PLTN saat ini seperti Prancis, Kanada, Finlandia, Jerman, Rusia, dan Amerika Serikat, telah melakukan praktik dan proses umpan balik pengalaman operasi yang ditetapkan dalam regulasi di negara mereka. Di negara Kanada, badan pengawas CNSC mewajibkan pemegang izin memberikan notifikasi terhadap kejadian tertentu dan menyimpan rekaman khusus tersebut. Ketentuan ini tertulis pada UU Pengendalian dan Keselamatan Nuklir. Persyaratan dan pedoman untuk melaporkan, memberikan notifikasi, dan menyimpan rekaman kejadian diatur lebih rinci dalam REGDOC-3.1.1, *Reporting Requirements for Nuclear Power Plants* [9].

Praktik serupa telah diberlakukan di negara Amerika Serikat. Di negara tersebut, persyaratan pelaporan kejadian pemegang izin dan kriteria kejadian tertuang pada 10 CFR 50.72 dan 50.73. Bagian 50.72 menjelaskan persyaratan pemberitahuan jangka pendek melalui sistem pemberitahuan kedaruratan (ENS). Bagian 50.73 menginformasikan tata cara laporan kejadian pemegang izin secara tertulis dalam waktu 60 hari [10].

Kejadian yang dilaporkan ke badan pengawas USNRC terdiri dari empat belas kejadian meliputi: pemadaman instalasi sesuai batasan dan kondisi operasi, operasi atau kondisi melanggar batasan dan kondisi operasi, penyimpangan dari batasan dan kondisi operasi, kondisi sistem, struktur, dan komponen terdegradasi, kejadian eksternal, aktuasi sistem, kejadian atau kondisi yang dapat menghambat fungsi keselamatan, kanal atau jalur independen tidak dapat dioperasikan karena penyebab sama, lepasan radioaktif, kejadian internal, kontaminasi radioaktif, informasi atau pemberitahuan lepasan zat radioaktif dari badan pemerintah lain, hilangnya kemampuan kesiapsiagaan kedaruratan, dan kegagalan tunggal menyebabkan terganggunya pemenuhan fungsi keselamatan dari kanal atau jalur pada sistem berbeda.

Negara pengoperasi PLTN lainnya, Prancis, juga telah memiliki panduan kriteria dan waktu dalam pelaporan insiden. Di negara tersebut, operator bertanggung jawab atas keselamatan instalasi dan memiliki kewajiban untuk melaporkan kejadian yang memiliki kepentingan pada keselamatan (disebut *Events of Interest for Safety - EIS*) dan kejadian yang memiliki signifikansi pada keselamatan (disebut *Safety Significant Event - SSE*) [11].

Kriteria klasifikasi EIS ditetapkan oleh operator dengan persetujuan ASN. Kejadian dalam kategori SSE terdiri dari sepuluh jenis meliputi: SSE 1: reaktor trip otomatis, SSE 2: aktivasi sistem rekayasa keselamatan teknis, SSE 3: ketidaksesuaian dengan batasan dan kondisi operasi, SSE 4: bahaya internal dan eksternal, SSE 5: upaya yang berpotensi memengaruhi keselamatan instalasi, SSE 6: transisi ke kondisi selamat (*fallback state*) sesuai dengan batasan dan kondisi operasi maupun prosedur operasi darurat untuk mengantisipasi perilaku instalasi yang tidak diharapkan, SSE 7: kejadian menyebabkan kegagalan berganda (*multiple failures*), SSE 8: kejadian atau anomali khususnya pada sistem pendingin primer, pendingin sekunder, bejana tekan yang menghubungkan kedua sistem pendingin tersebut, yang menyebabkan atau berpotensi menyebabkan kondisi operasi tidak dipertimbangkan dalam desain atau tercakup dalam prosedur operasi, SSE 9: kegagalan/kesalahan pada desain, manufaktur, pemasangan atau operasi berkaitan dengan fungsi sistem dan komponen pada SSE 8 yang menyebabkan atau berpotensi menyebabkan kondisi operasi tidak dipertimbangkan dalam tahap desain atau kondisi dasar desain dan prosedur operasi, SSE 10: kejadian lain yang memengaruhi keselamatan instalasi dan dianggap signifikan oleh pemegang izin atau ASN.

Tabel 1. Praktik Umpan Balik Pengalaman Operasi di Negara yang Mengoperasikan PLTN

	Prancis	Kanada	Finlandia	Jerman	Rusia	Amerika Serikat
Persyaratan regulasi	UU Energi Atom	UU Pengendalian dan keselamatan Nuklir	UU Energi Nuklir, dan peraturan teknis	UU Energi Atom	UU Energi Nuklir dan peraturan teknis.	10 CFR 50.72 dan 50.73, 10 CFR 21
Kriteria pelaporan	kejadian EIS dan SSE.	Kejadian / situasi tidak signifikan kejadian signifikan	kejadian terkait keselamatan nuklir dan radiasi di fasilitas	Kejadian dengan kategori S, E, N, V	Kejadian kecelakaan dan insiden.	Empat belas kategori kejadian
Sumber data evaluasi umpan balik pengalaman operasi	*, **, ***, ****	***	Laporan kejadian pemegang izin, dan ***)	Laporan kejadian, dan *)	Laporan kejadian operasional PLTN	laporan inspeksi badan pengawas, *), dan laporan yang dihasilkan secara internal lainnya terkait pengalaman operasi.
Peran badan pengawas	mengumpulkan semua insiden reaktor dalam database dan menguraikan pandangan umum tentang kejadian di tingkat nasional, mengelola data insiden yang diperlukan untuk komunikasi ASN (kualitatif dan kuantitatif), Koordinasi analisis pengalaman operasi di tingkat nasional, menginformasikan pada inspektur tentang kejadian berulang, Identifikasi kejadian umum	menetapkan prosedur dan kriteria pelaporan, Mengevaluasi laporan kejadian, menyimpan data kejadian secara elektronik pada Sistem Pelaporan dan Pelacakan Kejadian Terpusat (CERTS) untuk merekam, mengkode, dan melacak semua kejadian yang dilaporkan oleh pemegang izin PLTN	koordinator nasional IRS, Menyiapkan persyaratan peraturan umpan balik pengalaman operasi, Mereview dan menilai proses dan prosedur umpan balik pengalaman operasi pemegang izin yang diuraikan dalam sistem manual QA, mereview dan menilai laporan dan periode kejadian tentang implementasi proses umpan balik pengalaman operasi, melakukan inspeksi berkala yang ditargetkan pada proses umpan balik pengalaman operasi pemegang izin	Evaluasi laporan kejadian dilakukan oleh GRS, dan menyampaikan pemberitahuan informasi: mencakup deskripsi kondisi kejadian, hasil analisis akar masalah, evaluasi signifikansi keselamatan, uraian upaya dan tindakan yang diambil atau direncanakan dan, elemen penting seperti rekomendasi investigasi dan, jika perlu, tindakan korektif yang harus diambil pada instalasi lain.	melakukan analisis informasi, yang berisi laporan tentang kejadian operasional PLTN dikirim oleh Utilitas, penerbitan laporan triwulanan dan tahunan analisis laporan kejadian penyelidikan dan hasil analisis informasi tentang pengalaman operasi di PLTN untuk jangka waktu tertentu.	memantau kejadian yang sedang berlangsung, mempelajari kemungkinan masalah keselamatan secara umum, menilai tren dan pola pengalaman operasi, memantau kinerja, memberikan pengalaman operasional kepada industri.

Keterangan: *) Laporan IRS; **) Pemberitahuan Informasi dan Panduan Regulasi yang diterbitkan USNRC; ***) Kejadian yang dilaporkan oleh database NEWS IAEA; *****) pertukaran informasi dalam konteks kerjasama internasional.

Di negara Jerman, pelaporan kejadian dibagi berdasarkan waktu dan kategori meliputi kategori S, kategori E, kategori N, dan kategori V. Kategori S berisi kejadian segera dilaporkan ke badan pengawas sehingga inspeksi dapat dimulai dengan cepat, meliputi kejadian karena kelemahan yang parah dari keselamatan. Kategori E adalah kejadian dilaporkan ke badan pengawas dalam waktu 24 jam. Kejadian ini umumnya memiliki karakter potensial secara signifikansi keselamatan. Penyebab kejadian harus diidentifikasi dan tindakan perbaikan dilakukan dalam waktu yang cukup [12].

Kategori N adalah kejadian dilaporkan ke badan pengawas dalam 5 hari kerja. Umumnya kejadian ini memiliki dampak kecil pada isu keselamatan pada instalasi yang telah memiliki izin. Kejadian ini diinformasikan untuk mengidentifikasi titik kelemahan. Kategori V dilaporkan sebelum komisioning, dimana operator melaporkan kejadian paling lambat 10 hari kerja setelah diamati operasi selamat setelahnya. Seluruh kategori dilaporkan dalam bentuk laporan tertulis.

Di Rusia, dokumen utama yang menetapkan kategori kejadian operasional PLTN, prinsip-prinsip pengaturan untuk penyelidikan suatu kejadian operasional, urutan penyampaian informasi kejadian, prosedur investigasi, dan pelaporan kejadian, tertera dalam dokumen Rostekhnadzor NP-004-08 [13]. Dalam panduan ini juga memuat tujuan utama investigasi dan perhitungan kejadian operasional PLTN, meliputi: identifikasi penyebab kejadian; identifikasi kategori kejadian; dan penyusunan tindakan korektif untuk mencegah terulangnya kejadian serupa.

Terdapat empat belas kategori kejadian operasional di PLTN yang harus dilaporkan operator ke badan pengawas, dengan empat kategori kejadian kecelakaan (A01–A04) dan sepuluh kategori insiden (P01–P10). Keempat kejadian kecelakaan ini adalah A01: Lepas zat radioaktif ke lingkungan pada kecelakaan di atas dasar desain yang parah, yang menyebabkan kerusakan radiasi akut pada pekerja PLTN (personil) dan masyarakat, cedera parah pada kesehatan, kontaminasi wilayah yang luas oleh kemungkinan zat radioaktif. A02: Lepas zat radioaktif ke lingkungan sebagai hasil tingkat B kriteria pengambilan keputusan yang mendesak pada periode awal keadaan darurat sesuai dengan peraturan keselamatan radiasi telah dicapai atau dilampaui. Dosis prakiraan radiasi selama 10 hari pertama adalah 500 mGy untuk seluruh tubuh atau 5000 mGy dan lebih untuk kelenjar tiroid, paru-paru, kulit.

Kriteria kecelakaan A03 adalah lepasan zat radioaktif ke lingkungan sebagai hasil tingkat A kriteria pengambilan keputusan yang mendesak pada periode awal keadaan darurat sesuai dengan peraturan keselamatan radiasi telah dicapai atau dilampaui, dosis prakiraan radiasi selama 10 hari pertama adalah 50 mGy untuk seluruh tubuh atau 500 mGy dan lebih untuk kelenjar tiroid, paru-paru, kulit. A04 adalah lepasan zat radioaktif ke lingkungan yang dapat menghasilkan salah satu konsekuensi berikut: melebihi batas dosis radiasi pada masyarakat 5 mSv/tahun, atau paparan eksternal dan (atau) internal tunggal dari beberapa anggota personel, yang dosisnya melebihi dosis potensi bahaya (200 mSv).

Insiden P01 adalah penetrasi zat radioaktif ke dalam gedung /bangunan tempat personil, tapak atau lingkungan PLTN karena kegagalan sistem (komponen), kelemahan prosedur operasi, tindakan personel yang salah dan mengakibatkan konsekuensi pada instalasi berupa kontaminasi dan/atau paparan radiasi berlebih. P02 adalah pelanggaran batasan untuk operasi selamat (kecuali untuk radiasi). P03 adalah pelanggaran kondisi operasi selamat. P04 adalah kegagalan satu atau beberapa kanal sistem keselamatan selama operasi unit PLTN, termasuk pada saat uji coba reguler atau inspeksi. P05 adalah aktuasi kanal sistem keselamatan terkait dengan kebutuhan untuk melakukan fungsi keselamatan selama operasi unit PLTN dan disertai dengan kegagalan komponen sistem keselamatan di luar kegagalan tunggal, kecelakaan dasar desain, dan/atau kesalahan personel.

Insiden P06 adalah aktuasi kanal sistem keselamatan terkait dengan kebutuhan untuk melakukan fungsi keselamatan selama unit PLTN beroperasi dan tidak disertai dengan kegagalan komponen sistem keselamatan di luar kegagalan tunggal, kecelakaan dasar desain, dan/atau kesalahan personel. P07 adalah aktuasi kanal sistem keselamatan tidak terkait dengan kinerja fungsi keselamatan, termasuk bagian dari sistem pemadam kebakaran, yang menyediakan kondisi operasi sistem keselamatan. P08 adalah pemadaman reaktor atau pemutusan unit PLTN tanpa mengaktuator sistem lain untuk memadamkan reaktor dengan cepat selama operasi PLTN yang disebabkan oleh kegagalan sistem (komponen) dan (atau) tindakan keliru dari personel.

Insiden P09 adalah penurunan daya termal unit PLTN sebesar 25% dan lebih dari yang sebelumnya disebabkan oleh kegagalan sistem (komponen) dan (atau) tindakan keliru dari personel. P10 adalah insiden karena jatuh dan/atau kerusakan perangkat bahan bakar, elemen bahan bakar dalam perawatan bahan bakar nuklir baru maupun bekas yang disebabkan oleh kegagalan sistem, komponen (termasuk peralatan pengangkat PLTN - *crane*) yang digunakan dalam penanganan bahan bakar nuklir dan (atau) tindakan keliru dari personel (selain untuk kegiatan-kegiatan yang disertai dengan fitur dan konsekuensi dari insiden kategori P01–P03).

Sementara itu, di negara Finlandia, badan Pengawas STUK juga telah memiliki kategori pelaporan kejadian. Setiap kejadian terkait keselamatan nuklir dan radiasi di fasilitas dilaporkan dalam 24 jam melalui telepon. Laporan kejadian operasional dengan kategori A01 sampai dengan A07 memerlukan persetujuan STUK, sementara kejadian kategori A-08 diperlakukan sebagai informasi [14].

Terkait dengan peran badan pengawas, seluruh negara di Prancis, Kanada, Finlandia, Jerman, Rusia, dan Amerika Serikat, memiliki peran relatif sama dengan peran badan pengawas sesuai referensi IAEA. Selain melakukan evaluasi kejadian di fasilitas dan proses umpan balik pengalaman operasi, badan pengawas juga bertindak sebagai koordinator nasional yang akan menyampaikan laporan kejadian ke sistem IRS-IAEA setelah memperoleh persetujuan dari koordinator lokal fasilitas.

Penentuan pelaporan kejadian ke badan pengawas menjadi hal yang krusial karena tidak semua kejadian tersebut perlu dilaporkan. Kebanyakan kejadian yang berlangsung di PLTN bukan kejadian signifikan yang bersifat tunggal. Kejadian menuju kondisi kecelakaan dapat dicegah melalui penggunaan desain rangkaian penghalang terhadap kerusakan teras dan lepasan zat radioaktif. Kejadian signifikan berlangsung jika terjadi kerusakan pada penghalang ganda [15].

Model keju Swiss digunakan untuk menggambarkan proses keselamatan. Setiap lapisan mewakili pertahanan atau penghalang yang berbeda, dan lubang dianalogikan sebagai potensi penghalang untuk gagal. Jika lubang berada pada posisi sejajar maka seluruh penghalang akan gagal dan konsekuensi bahaya akan terjadi. Dapat disimpulkan dalam model keju Swiss ini bahwa kejadian dengan kegagalan penghalang dapat menjadi prekursor potensial terhadap kerusakan teras atau lepasan zat radioaktif.

Dengan pertimbangan tersebut, dalam penentuan jenis pelaporan kejadian dapat mengadaptasi kategorisasi yang tersedia di sistem IAEA IRS, yang diberikan pada Tabel 2, karena telah memasukkan kejadian terkait lepasan zat radioaktif dan degradasi penghalang.

Tabel 2. Kategorisasi Pelaporan Kejadian

Kategori	Uraian
1	Lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi tak terantisipasi <ul style="list-style-type: none"> 1.1 Lepasan tak terantisipasi material radioaktif 1.2 Paparan radiasi yang melebihi batas dosis yang ditentukan untuk anggota masyarakat 1.3 Paparan radiasi yang tidak terantisipasi untuk personel tapak
2	Degradasi penghalang dan sistem terkait keselamatan <ul style="list-style-type: none"> 2.1 Kegagalan kelongsong bahan bakar 2.2 Degradasi batas tekanan pendingin primer, uap utama, saluran air umpan atau sisten energi tinggi lainnya <ul style="list-style-type: none"> 2.2.1 Degradasi batas tekanan pendingin primer 2.2.2 Degradasi uap utama atau jalur air umpan 2.2.3 Degradasi sistem energi tinggi lainnya 2.3 Degradasi sistem yang diperlukan untuk mengendalikan reaktivitas 2.4 Degradasi fungsi atau integritas penyungkup 2.5 Degradasi sistem yang diperlukan untuk memastikan persediaan pendingin primer dan pendinginan teras 2.6 Degradasi sistem pendukung penting
3	Kekurangan dalam desain, konstruksi (manufakturing), pemasangan dan komisioning, operasi (perawatan dan surveilan) <ul style="list-style-type: none"> 3.1 Kekurangan dalam desain 3.2 Kekurangan dalam konstruksi (manufaktur), instalasi dan komisioning 3.3 Kekurangan dalam operasi (pemeliharaan dan surveilan) 3.4 Kekurangan dalam manajemen keselamatan/ sistem jaminan kualitas 3.5 Kekurangan dalam evaluasi keselamatan 3.6 Kekurangan dalam dekomisioning
4	Masalah umum berkaitan dengan keselamatan
5	Penegakan dan tindakan konsekuensi yang diambil oleh badan pengawas
6	Kejadian yang memiliki potensi signifikan pada keselamatan
7	Kejadian karena ulah manusia, kejadian internal dan eksternal
8	Informasi pengalaman operasi dan temuan lain

Selain itu, kelebihan menggunakan panduan IRS ini adalah pelaporan kejadian yang lebih dini sejak tahap desain reaktor nuklir. Studi pengalaman operasi PLTN tahun 2008-2018 yang dilakukan pada tahun 2021 [16] menunjukkan bahwa kelemahan desain menjadi penyumbang terbesar dalam studi tersebut.

Selain studi yang dilakukan secara spesifik ini, faktor penyebab karena kelemahan desain juga muncul di beberapa studi lainnya. Sebagai contoh, dari analisis kejadian yang dilakukan dalam beberapa penelitian, kelemahan desain menjadi salah satu penyebab utama kejadian. Misalnya, pada topik studi mengenai penuaan [17], kelemahan desain menjadi faktor utama setelah kekurangan / kelemahan dalam perawatan dan survailan. Kelemahan desain terlihat pada menuanya komponen setelah beberapa tahun operasi instalasi. Kelemahan desain ternyata juga menjadi penyebab kejadian terkait dengan dekomisioning. Analisis dan konfigurasi desain menjadi faktor dan akar penyebab yang paling dominan dalam studi tentang kejadian terkait banjir.

Tabel 3. Bentuk dan Waktu Pelaporan

Bentuk laporan	Negara					
	Prancis	Kanada	Finlandia	Jerman	Rusia	Amerika Serikat
Notifikasi segera	Ya, 48 jam	Ya, segera	Ya, 24 jam	Ya*	Ya	Ya, segera
Laporan pendahuluan	Ya	Ya	Ya, segera tersedia data	Ya	Ya	Ya
Laporan rinci	Ya	Ya, 60 hari	Ya	Tidak	Tidak	Ya, 60 hari
Laporan tindak lanjut	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya	Tidak

Bentuk dan waktu pelaporan kejadian ke badan pengawas pada negara pengoperasi PLTN di Tabel 3 memiliki kemiripan. Seluruh operator di negara pengoperasi PLTN pada Tabel 3 diwajibkan menyampaikan notifikasi segera khususnya pada kejadian yang signifikan. Di Prancis, operator memberikan informasi pendahuluan kepada IRSN dan ASN dalam waktu 48 (empat puluh delapan) jam melalui faksimil pada kejadian SSE, dan laporan tertulis dalam waktu dua bulan berisi analisis kejadian dan tindakan korektif yang diambil.

Di Jerman, notifikasi pelaporan kejadian hanya pada kategori S dan kategori E. Kategori S berisi kejadian segera dilaporkan ke badan pengawas sehingga inspeksi dapat dimulai dengan cepat, meliputi kejadian karena kelemahan yang parah dari keselamatan, dan kategori E adalah kejadian dilaporkan ke badan pengawas dalam waktu 24 jam. Kejadian ini umumnya memiliki karakter potensial secara signifikansi keselamatan.

Badan pengawas Finlandia mewajibkan penyampaian notifikasi segera dalam 24 jam pada kejadian dengan kategori A01 sampai dengan A07. Selanjutnya operator menyampaikan laporan kejadian operasional dalam waktu 2 bulan setelah terdeteksinya kejadian di fasilitas, dan analisis akar masalah dalam waktu 4 bulan setelah laporan kejadian operasional disampaikan.

Praktik pelaporan notifikasi segera juga terjadi di Kanada dan Amerika Serikat. Di kedua negara tersebut, kejadian dilaporkan untuk kejadian/ kondisi signifikan atau termasuk kelas kedaruratan. Laporan kejadian rinci berisi pemutakhiran data disampaikan dalam waktu 60 hari.

Bentuk dan isi laporan kejadian di setiap negara umumnya sama dengan panduan yang diterbitkan IRS IAEA. Pada referensi [2], penyampaian laporan kejadian terdiri dari penyampaian laporan pendahuluan, laporan utama, dan laporan tindak lanjut. Laporan utama berisi informasi dasar yaitu judul dan tanggal kejadian, karakteristik instalasi, dan abstrak, termasuk uraian kejadian, penilaian keselamatan (penyebab langsung, konsekuensi, dan implikasi), hasil analisis akar masalah, tindakan korektif, pembelajaran yang didapat.

Di Kanada, laporan rinci adalah informasi laporan kejadian terkini, merupakan informasi baru/tambahan dari laporan pendahuluan, tindakan pemegang izin untuk memulihkan keadaan melalui penerapan program proteksi radiasi dan lingkungan, pengaruh kesehatan, keselamatan, dan keamanan manusia dan lingkungan, upaya untuk mencegah kejadian berulang, estimasi dosis pada pekerja dan masyarakat dari kejadian, hasil analisis, kemungkinan penyebab dan kesimpulan yang menggambarkan penyelidikan setelah kejadian, evaluasi tingkat penurunan sistem yang terkait keselamatan, evaluasi kelemahan pada desain, operasi dan pelatihan yang ditemukan dari kejadian.

Di Finlandia, laporan rinci berisi uraian kondisi kejadian saat terdeteksi, termasuk urutan kejadian secara lengkap dengan upaya lanjutan setelah kejadian, penilaian keselamatan, penyebab langsung dan faktor kontribusi dari kejadian, frekuensi atau keberulangan penyebab yang memberikan sumbangan kejadian fasilitas, tindakan preventif dan korektif untuk mencegah kejadian berulang, dan upaya dan pembelajaran yang diperoleh untuk peningkatan keselamatan.

Sementara di Amerika Serikat, laporan rinci berisi informasi nama fasilitas, nomor docket, nama kejadian, tanggal kejadian, nomor kejadian pemegang izin, tanggal pelaporan, fasilitas lain yang terpengaruh, moda operasi, daya reaktor, persyaratan yang terlanggar, informasi kontak pemegang izin, abstrak, uraian informasi (kondisi instalasi, uraian kejadian, penilaian keselamatan, penyebab kejadian, tindakan korektif, kejadian serupa sebelumnya).

KESIMPULAN

Telah dilakukan studi komparasi praktik umpan balik pengalaman operasi di Indonesia, IAEA, dan negara pengoperasi PLTN, dengan sudut pandang persyaratan regulasi, kriteria, bentuk, format dan waktu pelaporan, sumber evaluasi umpan balik pengalaman operasi, dan peran badan pengawas. Jenis kejadian dengan kegagalan penghalang dapat menjadi prekursor potensial terhadap kerusakan teras atau lepasan zat radioaktif. Dalam pengembangan SIKN, Indonesia dapat mengadaptasi alur proses, mekanisme dan kategorisasi kejadian yang tersedia di IRS-IAEA karena telah mempertimbangkan kejadian dengan lepasan zat radioaktif atau paparan radiasi tak terantisipasi, degradasi penghalang dan sistem terkait keselamatan, dan kekurangan dalam desain, konstruksi (manufakturing), pemasangan dan komisioning, operasi (perawatan dan surveilan). Bentuk dan isi laporan kejadian di setiap negara pengoperasi PLTN umumnya sama dengan panduan yang diterbitkan IRS-IAEA. Penyampaian laporan kejadian terdiri dari penyampaian laporan pendahuluan, laporan utama, dan

laporan tindak lanjut. Laporan utama berisi informasi dasar yaitu judul dan tanggal kejadian, karakteristik instalasi, dan abstrak, termasuk uraian kejadian, penilaian keselamatan (penyebab langsung, konsekuensi, dan implikasi), hasil analisis akar masalah, tindakan korektif, dan pembelajaran yang didapat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Manajemen P2STPIBN untuk seluruh dukungan sehingga makalah ini dapat tersusun. Kami sampaikan juga terima kasih kepada Tim penilai atas masukan dan koreksi bagi penulis. Makalah ini merupakan studi pendahuluan, bagian dari keluaran Laporan Hasil Kajian *User Requirement Document* (URD) Sistem Informasi Keselamatan Nuklir TA 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jefferson B. Araujo, et all, “Nuclear Power Plant Event Study Based on International Reporting System (IRS)”, Associação Brasileira De Energia Nuclear presented at 2019 International Nuclear Atlantic Conference, Santos, SP, Brazil.
- [2] International Atomic Energy Agency, IRS Guidelines, Joint IAEA/NEA International Reporting System for Operating Experience, Services Series 19 Revision 1, (IAEA, Vienna, 2022).
- [3] M. Lipar, “Operational Experience Feedback” in Infrastructure and Methodologies for The Justification of Nuclear Power Programmes, edited by A. Alonso, (Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2012). pp 810–818
- [4] International Atomic Energy Agency, Specific Safety Guide No. SSG-50, “Operating Experience Feedback for Nuclear Installations”, (IAEA, Vienna, 2018).
- [5] International Atomic Energy Agency, Best practices in the utilization and dissemination of Operating Experience at Nuclear Power Plants, Technical document 1580, (IAEA, Vienna, 2008).
- [6] Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Jakarta, 2012.
- [7] International Atomic Energy Agency, Fundamental Safety Principles, Safety Fundamentals No. SF-1, (IAEA, Vienna, 2006).
- [8] International Atomic Energy Agency, Guidelines regarding National Reports under the Convention on Nuclear Safety, Information Circular 572 Rev. 6, (IAEA, Vienna, 2018).
- [9] Canadian Nuclear Safety Commission, Canada’s Nuclear Regulator, Reporting Requirements Reporting Requirements for Nuclear Power Plants, Regdoc-3.1.1, ver. 2, (CNSC, Ottawa, 2016)
- [10] United States Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1022 Rev.3, “Event Reporting Guidelines: 10 CFR 50.72 and 50.73, (USNRC, Washington DC, 2013)
- [11] Safety and Radiation Protection at Nuclear Power Plants in France in 2015 IRSN’S POSITION available at: (https://www.irsn.fr/EN/publications/technical-publications/Documents/IRSN_NPP2015_EN.pdf).
- [12] Georgui Kastchiev, et all, An Account of Events in Nuclear Power Plants Since the Chernobyl Accident in 1986, (The Greens, European Free Alliance, 2007).
- [13] Update on the Use of International Operating Experience Feedback for Improving Nuclear Safety, Nuclear Regulation, NEA/CNRA/R, 2015. Available at www.oecd-nea.org
- [14] The Radiation and Nuclear Safety Authority, Operating Experience Feedback of A Nuclear Facility, in GUIDE YVL A.10, (STUK, Helsinki 2019).
- [15] S.H. Ahn, et. al., Proposed Reactor Operating Experience Feedback System Development, presented in Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting Gyeongju, Korea, November 2-3, 2006
- [16] Manna, et.al., JRC Science for Policy Report. Ten years of lessons learned from operating experience in nuclear power plants, A review of EU Clearinghouse topical studies, (European Commission, Luxemburg, 2021).
- [17] A. Ballesteros Avila. JRC Technical Report. Analysis of Ageing related Events, A summary report from the European Clearinghouse, (European Commission, Luxemburg, 2020).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



EVALUASI DESAIN KESELAMATAN REAKTOR SMR TIPE NUSCALE

Muhammad Rifqi Harahap^{1, a)}, Helen Rafлис^{2, b)}, Azizul Khakim^{3, c)}

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta*

²*Direktorat Inspeksi Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta*

³*Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jakarta, Indonesia*

^{a)}Penulis korespondensi: m.harahap@bapeten.go.id

^{b)}h.raflis@bapeten.go.id

^{c)}azizul.khakim@brin.go.id

Abstrak. Setidaknya terdapat dua kandidat kuat pengembang PLTN yang memiliki minat untuk membangun PLTN di Kalimantan Barat dengan jenis reaktor kecil, menengah, dan modular (SMR). Dua kandidat tersebut adalah PT. Thorcon Power Indonesia dengan reaktor Thorium Molten Salt Reactor (TMSR) 500 dan NuScale Power, LLC dengan reaktor NuScale jenis Integral Pressurized Water Reactor (IPWR). Untuk mengetahui keberterimaan terhadap ketentuan dan regulasi yang berlaku di Indonesia dan internasional dari desain SMR yang diajukan oleh kedua kandidat tersebut, BAPETEN melalui P2STPIBN melakukan evaluasi desain SMR. Setelah dilakukan reviu desain TMSR 500 pada tahun 2020, kajian reviu desain dilanjutkan untuk mereviu desain NuScale dari NuScale Power, LLC dengan mengevaluasi dokumen sertifikasi desain yang telah dikirim oleh NuScale ke US-NRC (United States Nuclear Regulatory Committee). Tujuan dari reviu desain NuScale adalah untuk memetakan kemampooterapan fitur-fitur khusus desain SMR NuScale terhadap ketentuan dan regulasi yang berlaku di Indonesia. Dari telaah dokumen yang dilakukan, desain NuScale secara umum sudah menjelaskan beberapa fitur keselamatan serta struktur, sistem, dan komponen NuScale dalam mencegah dan memitigasi kerusakan teras serta lepasan radioaktif dengan detail. Namun di sisi lain, terdapat beberapa temuan reviu pada desain NuScale yang tidak sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam peraturan yang berlaku di Indonesia. Sehingga hal ini perlu ditindaklanjuti oleh desain NuScale apabila ingin melanjutkan ke tahap perizinan.

Kata kunci: Integral Pressurized Water Reactor, NuScale, Reviu Pra Perizinan

Abstract. There are at least two nuclear power plant (NPP) candidates that have an interest in constructing NPP in West Kalimantan, Indonesia using a small, modular reactor (SMR) design. These two candidates are PT. Thorcon Power Indonesia with Thorium Molten Salt Reactor (TMSR) 500 and NuScale Power, LLC with NuScale design using Integral Pressurized Water Reactor (IPWR). To understand the acceptability of both SMR designs towards existing provisions and regulations in Indonesia, BAPETEN through P2STPIBN is conducting an SMR design evaluation. After the design review for TMSR 500 design from PT. Thorcon Power Indonesia has been conducted in 2020, then the design review proceeded for NuScale from NuScale Power, LLC. The design review is conducted by evaluating the design certification document that has been submitted by NuScale to the United States Nuclear Regulatory Committee (US-NRC). The objective of this design review is to map the acceptability of NuScale SMR design features towards provision and regulation existing in Indonesia. The evaluation shows that NuScale has generally illustrated its safety features and structures, systems, and components for preventing and mitigating both core damage and radioactive release in detail. On the other hand, there are several findings that did not comply with Indonesian regulations. These findings will be required to be followed up by NuScale to proceed into licensing phase.

Keywords: Integral Pressurized Water Reactor, NuScale, Pre-licensing review

PENDAHULUAN

PLTN jenis SMR merupakan salah satu upaya pengembangan teknologi PLTN dengan desain yang memiliki output daya listrik yang lebih rendah dari PLTN konvensional. Pengembangan desain SMR ini bertujuan untuk meminimalisir waktu konstruksi dan meningkatkan keselamatan melalui peningkatan efisiensi pengungkung dan

penggunaan fitur keselamatan pasif [1]. Dalam pengembangannya desain PLTN SMR memiliki desain dan fitur keselamatan yang beragam serta berbeda cukup signifikan dari desain PLTN konvensional pada umumnya.

Pemerintah Republik Indonesia dalam mempersiapkan nuklir sebagai bauran energi, melakukan studi kelayakan untuk PLTN di Indonesia salah satunya di Kalimantan Barat yang dilakukan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) bekerja sama dengan Pemerintah Provinsi Kalimantan Barat dan PT. Indonesia Power [2]. Menyusul dengan studi tapak yang sedang dilakukan, terdapat 2 kandidat kuat pengembang PLTN yang memiliki minat untuk membangun PLTN di Indonesia dengan jenis reaktor kecil, menengah, dan modular (SMR). 2 kandidat tersebut adalah PT. Thorcon Power Indonesia. dengan reaktor *Thorium Molten Salt Reactor (TMSR)* dan *NuScale Power, LLC* dengan reaktor *NuScale*.

Desain PLTN tipe SMR baik TMSR maupun *NuScale* memiliki perbedaan yang cukup signifikan dari desain PLTN Konvensional [3]. Perbedaan desain ini memerlukan kajian dan evaluasi awal guna mempersiapkan kompetensi dan pengetahuan terkait teknologi PLTN yang akan digunakan di Indonesia, sebelum diajukan perizinan di kemudian hari. Selain itu, evaluasi awal ini ditujukan untuk mengetahui sejauh mana desain SMR yang diajukan dapat memenuhi ketentuan dan regulasi yang berlaku.

BAPETEN melalui P2STPIBN melakukan evaluasi desain keselamatan reaktor SMR, baik untuk tipe TMSR maupun tipe *NuScale*. Melalui makalah ini, dilakuka evaluasi desain keselamatan dari kandidat PLTN untuk tipe *NuScale* terhadap peraturan yang berlaku di Indonesia serta pedoman IAEA. Kajian dan evaluasi awal ini perlu dilakukan, mengingat peraturan terkait ketentuan keselamatan desain dalam Peraturan Kepala BAPETEN no 3 tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Reaktor Daya pada pasal 3 menjelaskan bahwa peraturan hanya berlaku untuk reaktor daya berpendingin air di darat di mana pada sebagian persyaratan masih merujuk pada desain PLTN konvensional [4]. *NuScale* dalam hal ini memiliki desain PLTN dengan pendingin air di darat. Walaupun dari sisi desain *NuScale* memiliki desain dan fitur keselamatan yang berbeda dari PLTN konvensional, evaluasi desain terkait tetap dilakukan untuk menilai kecukupan desain yang diajukan oleh *NuScale* terhadap regulasi di Indonesia.

Evaluasi Desain Reaktor SMR tipe *NuScale* dilakukan dengan mengevaluasi aspek-aspek evaluasi desain pada dokumen *Canada Nuclear Safety Commission (CNSC) REGDOC-3.5.4, Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design* [5] terhadap regulasi ketentuan desain dan ketentuan keselamatan PLTN yang berlaku baik di Indonesia maupun internasional. Dari perbandingan ini kemudian dihasilkan beberapa poin-poin revidu sebagai hasil awal dari evaluasi desain PLTN SMR tipe *NuScale*. Melalui hasil revidu ini diharapkan dapat menjadi langkah awal BAPETEN selaku badan pengawas untuk dapat memfamiliarisasi desain dan fitur keselamatan reaktor tipe *NuScale* serta mempersiapkan kompetensi dan pengetahuan terkait teknologi PLTN yang akan digunakan di Indonesia sebelum nantinya dilakukan revidu dan evaluasi perizinan.

METODOLOGI

Metode Evaluasi

Pada makalah ini dilakukan evaluasi desain teknologi keselamatan yang dimiliki oleh *NuScale* pada dokumen sertifikasi desain *NuScale* yang telah diserahkan kepada US-NRC secara kualitatif dan analitik. Pertama dilakukan identifikasi aspek-aspek apa saja yang akan dievaluasi yang merujuk pada dokumen CNSC REGDOC 3.5.4 *Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design* [5]. Setelah itu, dilakukan identifikasi desain dan fitur keselamatan yang diajukan oleh *NuScale* terhadap US-NRC yang akan dievaluasi sesuai dengan aspek-aspek evaluasi desain yang sebelumnya telah ditentukan.

Setelah aspek evaluasi desain dan desain *NuScale* diidentifikasi, kemudian dilakukan evaluasi keberterimaan dari desain *NuScale* terhadap peraturan dan regulasi yang berlaku di Indonesia dan Internasional. Evaluasi dilakukan pada ketentuan desain keselamatan PLTN yang berlaku baik di Indonesia pada PP 2 tahun 2014, Perka BAPETEN no 3 tahun 2011, Perka BAPETEN nomor 4 tahun 2013, Peraturan BAPETEN nomor 1 tahun 2020, dan Peraturan BAPETEN nomor 12 tahun 2020. Selain menggunakan regulasi di Indonesia, digunakan juga pedoman IAEA dalam mengevaluasi desain keselamatan *NuScale* melalui GSR Part 3, SSR 2/1-rev. 1 dan SSG 30.

Dokumen REGDOC 3.5.4 sebagai Referensi Revidu Desain

Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) menerbitkan dokumen REGDOC 3.5.4 tentang revidu pra perizinan PLTN yang menggantikan *Guidance Document (GD) 385*. Pada dokumen ini terdapat beberapa poin perubahan acuan dokumen regulasi di mana acuan dokumen RD pada dokumen GD 385 menjadi dokumen REGDOC pada dokumen REGDOC 3.5.4 serta dihilangkannya pernyataan CNSC Kanada setelah semua fokus area selesai dilakukan proses revidu [5].

Revidu pra-perizinan tidak mensertifikasi reaktor dan tidak terlibat dalam penerbitan izin. Kesimpulan dari review pra-perizinan juga tidak mempengaruhi keputusan perizinan reaktor nuklir baru. Review pra-perizinan merupakan layanan opsional yang disediakan CNSC untuk mengkaji desain reaktor vendor. Tujuan utama dari review ini adalah untuk memberikan umpan balik terhadap vendor tentang bagaimana menangani persyaratan regulasi dan ekspektasi CNSC dalam desain dan aktivitas desain [5].

Terdapat 19 area fokus yang direviu pada revidi pra-perizinan dan termasuk di dalamnya topik keselamatan penting yang signifikan pada desain. Kesembilan belas area fokus tersebut yakni :

1. Deskripsi umum instalasi, pertahanan berlapis, tujuan dan sasaran keselamatan, serta kriteria keberterimaan dosis
2. Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen (SSK)
3. Desain teras reaktor nuklir
4. Desain dan kualifikasi bahan bakar
5. Sistem kontrol dan fasilitas :
 - a. Sistem kontrol utama
 - b. Instrumentasi dan kontrol
 - c. Fasilitas kontrol
 - d. Catu daya darurat
6. Perlengkapan pemadaman reaktor
7. Sistem pendinginan teras darurat dan sistem pembuangan kalor darurat
8. Pengungkungan/penahanan dan struktur sipil penting untuk keselamatan
9. Pencegahan dan mitigasi Beyond Design Basis Accident (BDBA) dan kecelakaan parah
10. Analisis keselamatan (analisis keselamatan deterministik dan probabilistik) dan bahaya internal maupun eksternal.
11. Desain batas tekanan
12. Proteksi kebakaran
13. Proteksi radiasi
14. Kritikalitas di luar teras
15. Ketahanan, seifgard dan keamanan
16. Program riset dan pengembangan vendor
17. Sistem manajemen dari proses desain dan jaminan kualitas dalam analisis desain dan keselamatan
18. Faktor manusia
19. Penggabungan dekomisioning pada desain

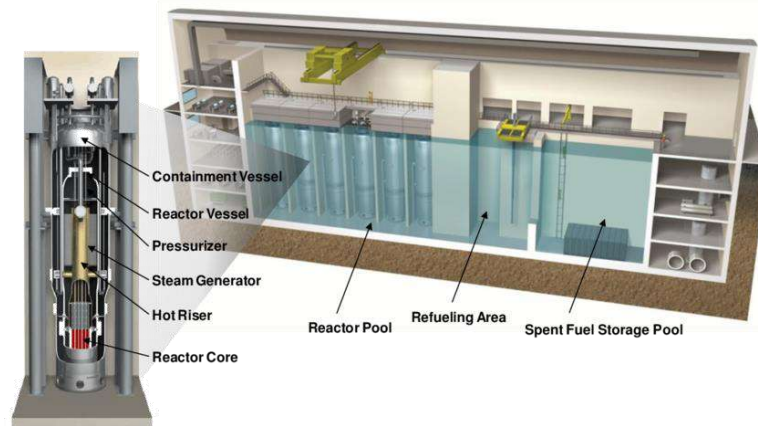
Dalam evaluasi desain yang dilakukan pada makalah ini hanya melakukan evaluasi pada area fokus pertama, yakni deskripsi umum fasilitas, pertahanan berlapis, tujuan dan sasaran keselamatan, kriteria penerimaan dosis serta area fokus kedua, yakni Klasifikasi struktur, sistem, dan komponen (SSK). Dari kedua area fokus ini, revidi yang dilakukan kemudian dirinci kembali sehingga meliputi:

1. Deskripsi umum instalasi dengan tujuan
 - a. Untuk memahami tata letak reaktor dan operasi umum dari sistem kunci yang penting
 - b. Untuk menentukan kesesuaian pada desain sesuai dengan ekspektasi dan persyaratan regulasi Badan Pengawas
2. Pertahanan berlapis dengan tujuan
 - a. Untuk memahami tata letak reaktor dan operasi umum dari sistem kunci yang mendukung konsep pertahanan berlapis.
 - b. Untuk menentukan kesesuaian pada desain sesuai dengan ekspektasi dan persyaratan regulasi Badan Pengawas karena berkaitan dengan pertahanan berlapis
3. Tujuan dan sasaran keselamatan dengan tujuan
 - a. Untuk memahami tata letak reaktor dan operasi umum dari sistem kunci yang penting untuk keselamatan secara keseluruhan
 - b. Untuk menentukan kesesuaian pada desain sesuai dengan ekspektasi dan persyaratan regulasi Badan Pengawas karena berkaitan dengan, tujuan dan sasaran keselamatan
4. Kriteria keberterimaan dosis dengan tujuan
 - a. Untuk memahami tata letak reaktor dan operasi umum dari sistem kunci yang penting untuk keselamatan secara keseluruhan sehingga sesuai dengan kriteria penerimaan dosis yang ditentukan oleh Badan Pengawas.
 - b. Untuk menentukan kesesuaian pada desain sesuai dengan ekspektasi dan persyaratan regulasi Badan Pengawas karena berkaitan dengan kriteria penerimaan dosis
5. Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen (SSK) dengan tujuan
 - a. Untuk menentukan kesesuaian dalam desain, seiring perkembangannya sesuai dengan ekspektasi dan persyaratan regulasi Badan Pengawas karena berkaitan dengan klasifikasi SSK dan persyaratan untuk klasifikasi spesifik lainnya (contohnya, kualifikasi seismik dan kualifikasi lingkungan)

Gambaran Umum Desain Teknologi *NuScale*

Desain teknologi *NuScale* dalam hal ini mengacu pada dokumen sertifikasi desain yang telah dikirim oleh *NuScale* ke US-NRC (*United States Nuclear Regulatory Committee*) dalam rangka mendapatkan sertifikasi desain dari US-NRC. *NuScale Power, LLC* mengajukan desain tipe *Integral Pressurized Water Reactor (IPWR)* yang memanfaatkan sirkulasi alami. Desain IPWR *NuScale* dibuat sedemikian kompak, sehingga dalam 1

bangunan gedung reaktor dapat menampung hingga 12 modul reaktor *NuScale* atau *NuScale Power Module (NPM)*[6].

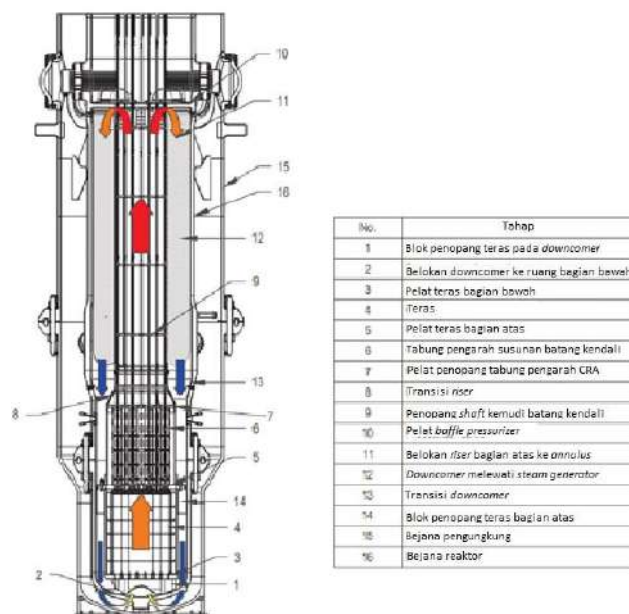


GAMBAR 1 Penampang melintang bangunan reaktor *NuScale* [6]

Satu Modul NPM dalam desainnya mampu menghasilkan daya termal sebesar 160 MWth yang kemudian dialirkan sistem turbin uap dengan menggunakan siklus *rankine*. Melalui sistem ini diharapkan dapat menghasilkan daya listrik nominal sebesar 50 MWe. Sistem turbin uap ini didesain secara modular sehingga terdapat 12 modul turbin yang melayani masing-masing NPM. Dalam desain 12 modul, diharapkan *NuScale* dapat memproduksi 600 MWe daya listrik.

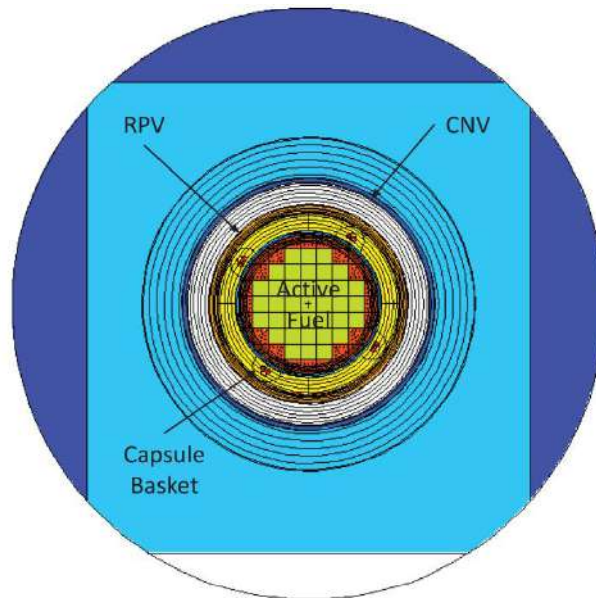
Dalam desainnya, satu modul NPM di desain secara kompak dalam satu pengungkung. Dalam susunannya, bejana tekan atau bejana reaktor di dalam bejana pengungkung dengan material *low alloy steel*. Bejana tekan sendiri menggunakan bahan *low alloy steel*. Bejana tekan kemudian terisi oleh seluruh komponen yang dibutuhkan sistem suplai uap nuklir yang terdiri dari teras reaktor di bagian dasar reaktor, *hot leg riser* yang berupa *annulus* di atas teras reaktor sebagai jalur aliran pendingin, *pressurizer* di bagian atas bejana tekan, kemudian *steam generator* tipe kumparan heliks yang melilit bagian luar *hot leg riser*, lalu *downcomer* yang merupakan celah antara *annulus hot leg riser* dengan bejana tekan reaktor [7].

Sistem pendinginan NPM menggunakan air ringan dengan memanfaatkan sirkulasi alami. Air dalam bejana reaktor mengalir akibat terjadinya perbedaan densitas air. Dalam prinsipnya, air yang dipanaskan melewati teras reaktor akan mengalami penurunan densitas yang menyebabkan air kemudian dapat mengalir ke atas melalui *riser* sampai ke pelat *baffle* bejana tekan. Setelah itu pendingin akan didinginkan dengan dialirkan ke sisi-sisi *riser* atau *downcomer* sehingga temperatur pendingin dapat diturunkan melalui interaksi dengan steam generator. Penurunan temperatur ini, menyebabkan air pendingin turun kembali ke dasar reaktor dan siap untuk dipanaskan kembali pada teras reaktor, Siklus aliran alami pendingin ini berjalan terus menerus tanpa memerlukan pompa [8].



GAMBAR 2 Penampang melintang reaktor *NuScale* dengan sistem aliran pendingin primer [7]

Teras NPM dengan desain IPWR menggunakan susunan bahan bakar sebanyak 37 unit dengan 16 unit susunan batang kendali. Dalam satu unit susunan bahan bakar menggunakan konfigurasi 17x17 susunan bahan bakar PWR dengan jumlah batang bahan bakar sebanyak 264 unit dengan 24 unit *guide tube* dan 1 unit *instrument tube*. Tinggi dari teras ini hanya setinggi 2,43 m atau setara dengan setengah tinggi teras PWR konvensional. Sehingga *NuScale* mengajukan klaim di mana desainnya memiliki suku sumber yang lebih rendah. Teras dikelilingi oleh reflektor neutron berat menggunakan stainless steel yang meningkatkan pemanfaatan bahan bakar dengan mencegah lepasnya neutron secara radial dari teras. Reflektor juga menyediakan selubung teras dan mengarahkan aliran melalui teras [9].



GAMBAR 3 Penampang melintang teras reaktor [9]

NuScale selain memanfaatkan fitur-fitur desain juga memanfaatkan fitur keselamatan yang dirancang untuk menurunkan *Core Damage Frequency* (CDF) dan *Large Release Frequency* (LRF). Fitur keselamatan *NuScale* ditopang dengan sistem pengungkungan dan penghalang berlapis untuk menjaga lepasan radiologis, sistem pembuangan kalor peluruhan untuk mengantisipasi kejadian operasional terantisipasi, serta sistem pendinginan teras darurat untuk mengantisipasi kondisi kecelakaan. Sistem keselamatan ini didesain sedemikian rupa sehingga dapat teraktuator secara otomatis ketika terjadi insiden yang dipostulasikan dapat terprogres menjadi kecelakaan[10].

PEMBAHASAN

Aspek Deskripsi Umum Instalasi

Dalam melakukan revidi terkait aspek deskripsi umum instalasi digunakan rujukan dokumen, antara lain:

- Peraturan Kepala BAPETEN no. 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya [4]
- CNSC RegDoc 3.5.4 Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design [5]
- IAEA SSR 2/1 rev.1 Safety of NPP [11]

NuScale melalui dokumen *Status Report – NuScale SMR (NuScale Power, LLC)* [6] dan *NuScale Standard Plant Design Certification Application: Chapter I Introduction and General Description of the Plant Part 2 – Tier 2 Revision 5* [7] menjelaskan mengenai denah dan tata lokasi instalasi serta sistem kunci penting untuk *NuScale*. Dari segi informasi denah dan tata lokasi bangunan, terdapat temuan terkait keputusan denah dan tata lokasi bangunan. *NuScale* memiliki dua desain yang memiliki tata letak bangunan yang berbeda pada desain ruang turbin.

Dalam bab 1 dokumen sertifikasi desain *NuScale* yang diajukan ke US-NRC, dijelaskan bahwa desain ruang turbin digambarkan melintang [7]. Hal ini berbeda dengan desain yang disampaikan pada dokumen ARIS IAEA yang memiliki desain ruang turbin yang membujur [6]. Perbedaan informasi memiliki dampak terhadap detail koneksi turbin dengan NPM yang dapat mempengaruhi kinerja konversi daya yang dilakukan oleh *NuScale*. Dalam hal ini dibutuhkan desain detail dari *NuScale* guna mengklarifikasi peletakkan gedung turbin yang valid.

Aspek Pertahanan Berlapis

Dalam melakukan revidi terkait aspek pertahanan berlapis digunakan rujukan dokumen, antara lain:

- Peraturan Kepala BAPETEN no. 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya

[4]

- CNSC RegDoc 3.5.4 Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design [5]
- IAEA SSR 2/1 rev.1 Safety of NPP [11]
- Peraturan Kepala BAPETEN no. 1 tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir [12]

Melalui dokumen *NuScale Standard Plant Design Certification Application* [7] dan *ARIS NuScale Status Report 2020* [6], *NuScale* sudah menjelaskan beberapa fitur desain yang menunjang keselamatan dari *NuScale*. Fitur-fitur desain ini memiliki beberapa manfaat dalam menghilangkan beberapa konsekuensi kecelakaan yang akan terjadi pada reaktor PWR konvensional.

Penghalang berganda yang diterapkan pada desain *NuScale* untuk memastikan lepasan radioaktif tetap terkungkung dalam bangunan. Penghalang berlapis ini meliputi sistem bahan bakar, sistem pendinginan primer integral, pengungkung integral, kolam reaktor, perisai biologis, dan gedung reaktor [13].

Dari beberapa fitur tersebut, *NuScale* mendemonstrasikan bahwa dalam pertahanan berlapis sudah memenuhi empat dari lima tingkat pertahanan berlapis, berdasarkan sistem keselamatan dan fitur desain. Dalam strategi mitigasi yang diajukan, *NuScale* hanya mengajukan strategi penggunaan penyemprot portabel yang menjadi satu kesatuan dengan sistem proteksi kebakaran [14]. Mitigasi pencegahan pelepasan radiologis dengan menggunakan penyemprot protabel kurang memadai, karena hanya mengidentifikasi SSK yang penting yang digunakan dalam memitigasi kecelakaan di luar desain teras. *NuScale* dalam hal ini perlu menyusun rencana kesiapsiagaan nuklir secara komprehensif untuk menanggulangi kedaruratan yang terjadi.

NuScale mengajukan penggunaan metodologi berinformasi risiko berbasis penerimaan dosis untuk (EPZ). Dengan demikian, *NuScale* mengajukan zona kedaruratan hanya sejauh batas tapak dari *NuScale*. Hal ini kemudian disetujui oleh US-NRC, sehingga *NuScale* menerapkan zona kedaruratan sejauh batas tapak *NuScale* [15]. Pengajuan zona kedaruratan ini bertentangan dengan Perka BAPETEN no. 1 tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir, zona perencanaan kedaruratan untuk reaktor dengan daya 500 MWt adalah sejauh 5 – 25 km [12]. *NuScale* dalam hal ini perlu menyesuaikan perencanaan zona kedaruratan yang telah dibuat dengan Peraturan Kepala BAPETEN no 1 tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir. Di sisi lain, hasil perhitungan justifikasi yang dilakukan oleh *NuScale* terhadap US-NRC dalam mengajukan zona kedaruratan dapat menjadi catatan tersendiri untuk BAPETEN dalam menyusun regulasi terkait PLTN jenis SMR. Hal ini karena terkait zona kedaruratan hampir sebagian besar desain SMR mengajukan zona kedaruratan hanya sejauh batas tapak dari PLTN [3].

Aspek Tujuan dan Sasaran Keselamatan

Dalam melakukan revidi terkait aspek tujuan dan sasaran keselamatan digunakan rujukan dokumen, antara lain:

- Peraturan Pemerintah no. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [16]
- Peraturan Pemerintah no. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir [17]
- Peraturan Kepala BAPETEN no. 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya [4]
- Peraturan BAPETEN no 1 Tahun 2020 tentang Aspek Proteksi Radiasi dalam Desain Reaktor Daya [18]
- CNSC RegDoc 3.5.4 Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design [5]
- IAEA SSR 2/1 rev.1 Safety of NPP [11]

Melalui dokumen *NuScale Standard Plant Design Certification Application*, tujuan keselamatan desain *NuScale* yakni memastikan paparan radiasi terhadap personil offsite maupun onsite serendah mungkin yang dapat diraih dengan wajar (*as low as reasonably accepted* (ALARA)) [19].

Dalam desainnya, *NuScale* sudah menjelaskan tentang identifikasi sumber radiasi pada tiap sistem reaktor baik dalam bentuk terkungkung maupun dalam bentuk transmisi udara dalam operasi normal. Dalam kondisi kecelakaan, *NuScale* dalam hal ini sudah menjelaskan potensi paparan Iodin beserta potensi dosis yang diterima oleh pekerja di dalam gedung reaktor [19].

Pengendalian sumber radiasi pada *NuScale* dilakukan baik menggunakan perisai untuk sumber radiasi terkungkung dan memanfaatkan sistem filtrasi dan ventilasi untuk sumber dalam bentuk transmisi udara. Selain itu, *NuScale* juga memanfaatkan fitur desain yang memungkinkan operasi jarak jauh dan beberapa fitur untuk mengurangi waktu kerja dengan sumber [16].

Dalam hal keberterimaan tujuan dan sasaran keselamatan terhadap regulasi, *NuScale* mampu mendemonstrasikan tujuan dan sasaran keselamatan desain dengan beberapa fitur-fitur pendukung untuk mencapai tujuan dan sasaran keselamatan dengan cukup jelas. Tujuan keselamatan untuk memastikan paparan radiasi terhadap personil *offsite* maupun *onsite* serendah mungkin yang dapat diraih dengan wajar dengan sasaran mereduksi paparan dan waktu kerja dapat diterima lebih rendah dari 50 mSv/tahun.

Aspek Kriteria Keberterimaan Dosis

Dalam melakukan revidi terkait aspek kriteria keberterimaan dosis digunakan rujukan dokumen, antara lain:

- Peraturan Pemerintah no. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [16]
- Perka BAPETEN no. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir [20]
- Peraturan BAPETEN no 1 Tahun 2020 tentang Aspek Proteksi Radiasi dalam Desain Reaktor Daya [18]
- CNSC RegDoc 3.5.4 Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design [5]
- IAEA GSR Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards [21]

Nilai batas dosis yang sudah diestimasikan oleh *NuScale* sudah cukup banyak memberikan ilustrasi tentang bagaimana pekerja akan menerima dosis radiasi baik ketika operasi normal maupun kecelakaan. Nilai batas dosis yang diacu oleh *NuScale* adalah 10 CFR 20.1201, di mana nilai batas yang digunakan adalah 50 mSv/tahun. Pada informasi estimasi penerimaan dosis radiasi pada kegiatan operasi *NuScale*, terdapat beberapa nilai estimasi okupansi dosis yang memiliki nilai di atas 20 mSv/tahun dalam kegiatan inspeksi modul aktif dan perawatan khusus [19].

Apabila mengacu pada Peraturan BAPETEN no 1. Tahun 2020 tentang Aspek Proteksi Radiasi dalam Desain Reaktor Daya, nilai batas dosis adalah 20 mSv/tahun [18]. Diterangkan juga pada Peraturan Kepala BAPETEN nomor 4 tahun 2013 tentang proteksi dan keselamatan radiasi terkait nilai batas dosis dan nilai pembatas dosis yang harus diterapkan oleh fasilitas nuklir dalam melindungi pekerjaannya [20].

.Dari hal tersebut, desain *NuScale* tidak memenuhi persyaratan regulasi di Indonesia yang mensyaratkan nilai dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi tidak boleh melebihi nilai batas dosis sebesar 20 mSv/tahun pada kondisi operasi normal *NuScale*. *NuScale* dalam desainnya juga tidak menerapkan nilai pembatas dosis untuk menjaga pekerja radiasi di fasilitas tidak menerima dosis yang melebihi nilai batas dosis yang ditentukan.

Dari hal tersebut, *NuScale* harus menambahkan skema terkait pemberlakuan nilai pembatas dosis pada semua operasi fasilitas, sehingga target dosis tahunan yang diterima pekerja lebih rendah dari 20 mSv/tahun. Selain itu, *NuScale* dalam desainnya juga harus menyesuaikan desain dan strategi proteksi radiasi sesuai dengan NBD di Indonesia dengan di bawah 20 mSv/tahun.

Aspek Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen (SSK)

Dalam melakukan revidi terkait aspek klasifikasi struktur, sistem, dan komponen (SSK) digunakan rujukan dokumen, antara lain:

- Peraturan BAPETEN No 12 tahun 2020 tentang Klasifikasi Sistem, Struktur, dan Komponen Instalasi Nuklir [22]
- CNSC RegDoc 3.5.4 Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design [5]
- IAEA SSG-30 Safety Classification of Structure, System, and Component in NPP[23]

Struktur, sistem, dan komponen (SSK) *NuScale* diklasifikasikan sesuai dengan grup kualitas SSK nuklir. Klasifikasi SSK yang dilakukan oleh *NuScale* didasarkan pada keterkaitannya pada fungsi keselamatan dan fungsi signifikansi risiko[24]. Klasifikasi ini ditujukan sebagai bagian dari program jaminan keandalan desain.

Dalam hal keberterimaan klasifikasi SSK *NuScale* terhadap regulasi IAEA SSG 30 *Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plant* dan Perka BAPETEN no. 12 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen Instalasi Nuklir, *NuScale* mendemonstrasikan Klasifikasi SSK sesuai dengan kelas keselamatan, kelas seismik, dan kelas mutu. Kelas mutu dalam klasifikasi SSK *NuScale* diklasifikasikan dalam kelas grup kualitas [22], [23]. Klasifikasi SSK yang dilakukan oleh *NuScale* sudah sesuai dengan ketentuan baik pada regulasi di Indonesia maupun pedoman IAEA, sehingga tidak dibutuhkan penyesuaian klasifikasi.

Dalam klasifikasi SSK *NuScale* untuk klasifikasi seismik, ditentukan berdasarkan pemodelan menggunakan enam set *time histories ground motions database*, yakni gempa bumi Landers 1992, gempa bumi Loma Pieta 1989, gempa bumi Chi-Chi 1999, gempa bumi Kocaeli 1999, gempa bumi Imperial Valley 1940, dan gempa bumi Lucerne 1992 [24]. Perka BAPETEN no. 12 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen Instalasi Nuklir [22] terkait klasifikasi seismik SSK harus ditentukan dengan menggunakan sumber gempa dengan periode ulang gempa dalam 10.000 dan 500 tahun.

Penggunaan 6 set *time histories* pada evaluasi desain seismik *NuScale* dalam hal ini belum menjelaskan periode ulang gempa dari keenam set *time histories*. *NuScale* dalam hal klasifikasi seismik belum sepenuhnya memenuhi ketentuan klasifikasi SSK yang berlaku di Indonesia. Oleh sebab itu, perlu dilakukan tambahan analisis terkait periode ulang gempa pada 500 dan 10.000 tahun pada set *time histories* yang digunakan oleh *NuScale*.

Catatan Regulasi pada Evaluasi Desain Keselamatan *NuScale*

Dari hasil evaluasi desain *NuScale* terhadap peraturan yang berlaku di Indonesia serta regulasi internasional, *NuScale* sudah menjelaskan terkait fitur desain IPWR yang digunakan. Peraturan terkait reaktor daya di Indonesia dalam hal ini memiliki kriteria keberterimaan yang cocok dalam menilai desain SMR dengan pendingin air. Terdapat beberapa catatan evaluasi yang dapat digunakan untuk memperbaharui peraturan yang ada dengan perkembangan desain SMR di masa depan, khususnya pada perencanaan zona kedaruratan. Hal ini dikarenakan pada beberapa desain SMR hampir seluruhnya mengusulkan zona kedaruratan hanya sejauh batas tapak [3]. Oleh sebab itu, perlu dipertimbangkan penggunaan pendekatan berperingkat yang diatur dalam peraturan reaktor daya dalam menilai zona kedaruratan.

KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi dokumen desain *NuScale* terhadap peraturan di Indonesia dan pedoman IAEA dengan menggunakan metode evaluasi reuiv pra perizinan CNSC Kanada pada aspek deskripsi umum instalasi, pertahanan berlapis, tujuan keselamatan, keberterimaan dosis, dan klasifikasi SSK, secara umum *NuScale* sudah cukup detil menjelaskan beberapa fitur keselamatan serta struktur, sistem, dan komponen *NuScale* dalam mencegah dan memitigasi kerusakan teras serta lepasan radioaktif.

Namun dari aspek-aspek lainnya, terdapat beberapa fitur desain yang tidak sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia. Zona perencanaan darurat sejauh batas tapak yang diajukan *NuScale* bertentangan dengan zona perencanaan darurat sejauh 5 – 25 km untuk reaktor dengan daya 500 MWt. Kemudian, dalam hal target dosis yang akan diterima pekerja melebihi 20 mSv/tahun dan belum menerapkan nilai pembatas dosis seperti yang diatur pada peraturan terkait proteksi radiasi di Indonesia. Selain itu, pada klasifikasi kelas seismik pada SSK, *NuScale* belum menggunakan periode ulang gempa dalam 10.000 dan 500 tahun.

Dari hasil evaluasi awal ini, desain *NuScale* yang sudah mendapatkan izin dari US-NRC, tidak sepenuhnya memenuhi ketentuan-ketentuan desain dan keselamatan yang berlaku di Indonesia. Hal ini perlu menjadi catatan tersendiri bagi *NuScale* untuk dapat mengoptimalkan desain yang diajukan sehingga dapat memenuhi ketentuan desain dan keselamatan yang berlaku di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang sebesar-besarnya atas dukungan dan kontribusi yang disediakan oleh manajemen P2STPIBN, BAPETEN. Penulis juga memberikan apresiasi yang sebesar-besarnya terkait presentasi dan diskusi dalam pembahasan desain serta review desain *NuScale* oleh Ir. Susyadi, M.Eng selaku peneliti PRTRN, ORTN – BRIN dan Dr. Ir. Andang Widi Harto selaku dosen DTNTF Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] NEA and OECD, “Small Modular Reactors: Challenges and opportunities,” *Nucl. Technol. Dev. Econ.*, p. 56, 2021.
- [2] Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia nomor 38 Tahun 2019 tentang Prioritas Riset Nasional Tahun 2020 - 2024*. Jakarta: Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, 2019.
- [3] IAEA ARIS, “ADVANCES IN SMALL MODULAR REACTOR TECHNOLOGY DEVELOPMENTS 2020 Edition A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) <http://aris.iaea.org>,” 2020. [Online]. Available: <http://aris.iaea.org>.
- [4] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2011.
- [5] Canadian Nuclear Safety Commission, *Pre-licensing review of a vendor’s reactor design*. Ottawa: Canadian Nuclear Safety Commission, 2018.
- [6] IAEA ARIS, “Status Report – *NuScale* SMR (*NuScale* Power, LLC),” Vienna, 2020. [Online]. Available: www.NuScalepower.com.
- [7] *NuScale* Power LLC., “*NuScale* Standard Plant Design Certification Application: Chapter 1 Introduction and General Description of the Plant Part 2 – Tier 2 Revision 5,” Portland, 2020.
- [8] *NuScale* Power LLC., “*NuScale* Standard Plant Design Certification Application: Chapter 5 Reactor Coolant System and Connecting System Part 2 – Tier 2 Revision 5,” Portland, 2020.
- [9] *NuScale* Power LLC., “*NuScale* Standard Plant Design Certification Application: Chapter 4 Reactor Part 2 – Tier 2 Revision 5,” Portland, 2020.
- [10] *NuScale* Power LLC., “*NuScale* Standard Plant Design Certification Application: Chapter 19 Probabilistic Risk Assessment and Severe Accident Evaluation Part 2 – Tier 2 Revision 5,” Portland, 2020.
- [11] IAEA, “SSR-2/1 (Rev. 1) Safety of Nuclear Power Plants: Design,” Vienna, 2016. [Online]. Available: <http://www-ns.iaea.org/standards/>.

- [12] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2010.
- [13] J. N. Reyes and E. Young, "The NuScale Advanced Passive Safety Design," 2011. [Online]. Available: <http://www.asme.org/a>.
- [14] NuScale power LLC., "NuScale Standard Plant Design Certification Application: Chapter 20 Mitigation of Beyond-Design-Basis-Events Part 2 – Tier 2 Revision 5," Portland, 2020.
- [15] NuScale Power LLC., "Methodology for Establishing the Technical Basis for Plume Exposure Emergency Planning Zones at NuScale Small Modular Reactor Plant Sites," Corvallis, 2018.
- [16] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*. Jakarta: Presiden Republik Indonesia, 2007.
- [17] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*. Jakarta: Presiden Republik Indonesia, 2014.
- [18] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan BAPETEN (terkait ketenaganukliran) No 1 Tahun 2020 Tentang Aspek Radiasi dalam Desain Reaktor Daya*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2020.
- [19] NuScale Power LLC., "NuScale Standard Plant Design Certification Application: Chapter 12 Radiation Protection Part 2 – Tier 2 Revision 5," Portland, 2020.
- [20] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2013.
- [21] IAEA, "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards General Safety Requirements Part 3," Vienna.
- [22] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 12 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen Instalasi Nuklir*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2020.
- [23] IAEA, "Specific Safety Guide No. SSG-30 Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants," Vienna, 2014. [Online]. Available: <http://www-ns.iaea.org/standards/>.
- [24] NuScale Power LLC., "NuScale Standard Plant Design Certification Application: Chapter 3 Design of Structures, Systems, Components, and Equipment Part 2 – Tier 2 Revision 5," Portland, 2020.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



DOPPLER REACTIVITY COEFFICIENT CALCULATION ANALYSIS ON NUSCALE REACTOR WITH OPENMC CODE

Lilis Riyanti^{1, a)}, Helen Rafelis²

¹*Department of Physic Education, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Yogyakarta State University, Yogyakarta, Indonesia.*

²*Directorate of Inspection for Nuclear Installation and Material, Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN), Jakarta, Indonesia.*

^{a)} Corresponding author: lilisriyanti.2018@student.uny.ac.id

Abstract. Doppler Reactivity Coefficient Calculation Analysis on Nuscale Reactor with OpenMC Code. In the aspect of reactor safety, one of important analysis is the analysis of kinetic parameter such as the Doppler reactivity coefficient of the fuel temperature at Nuscale reactor. The Doppler reactivity is defined as fractional change in reactivity caused by changes in fuel temperature. Fuel temperature is simulated at 300 K and 600 K. The calculation of the Doppler reactivity is using the OpenMC code and data library cross section ENDF/B-VII.1. The purpose of this study is to calculate and evaluate the multiplication factor and the Doppler reactivity of the Nuscale reactor fuel temperature 300 K and 600 K for various concentration of Gd₂O₃. Ten model calculation were carried out by adding the concentration of Gd₂O₃. Model 1 Gd₂O₃is 0.0001, model 2 Gd₂O₃is 0.0002, model 3 Gd₂O₃is 0.0003, model 4 Gd₂O₃is 0.0004, model 5 Gd₂O₃is 0.0005, model 6 Gd₂O₃is 0.0006, model 7 Gd₂O₃is 0.0007, model 8 Gd₂O₃is 0.0008, model 9 Gd₂O₃is 0.0009, and model 10 Gd₂O₃is 0.001. All the calculation results of the Doppler reactivity show that all models provide negative Doppler reactivity values and not in the allowable range in reference design i.e. -2.31 to -3.00 pcm/K.

INTRODUCTION

Nuclear reactor is a power plant that provides renewable sources of electricity and heat. Nuclear reactors in the process of being developed are Small Modular Reactor. SMR is expected to help reduce capital initial investment, greater scalability, and be able to be placed in flexible locations that cannot accommodate large-scale reactor. The development key of SMR is to fulfill the flexibility needs of power plants for a wider range of users and applications, replacing aging fossil fuel units, improve safety performance and offer greater economic affordability¹.

Nuscale reactor is one of the SMR that gives an efforts to new opportunities for the future of the nuclear industry. Nuscale is a technology modular package PWR (Pressurized Water Reactor) without primary pump so that the primary coolant transfers using natural circulation. Nuscale reactor is consist of a small reactor core 160 MWt, the configuration of Nuscale core reactor is compose by 37 fuel assemblies, and 16 control rods assemblies. To improve the Nuscale reactor by changing the types of fuel assemblies, with variations in fuel enrichment and concentration of Gd₂O₃ on fuel. To calculate the fuel loading effect, the effective multiplication factor is analyzed as the main parameter. In the development of reactor design, many parameters must be considered, including kinetic parameter^{2,3}.

Calculation of nuclear reactor kinetic parameter Nuscale is very important to do because it will involves reactor safety and control. Kinetic parameters depend on the amount of fuel in the reactor, uranium enrichment, configuration and the use of nuclear power.

The research on kinetic parameters was carried out by Mostafa Hazanzadeh, at 2017. The results show that in the beginning k_{eff} is decreased suddenly due to Xe production and then the neutron absorption by gadolinium burnable poison. Afterwards this parameter is increased due to the production of the fission fragment and the spatial self-shielding property of Gadolinium fuel rods we can see that Gadolinium burnable absorber causes increasing of value of k_{eff} parameter during the cycle⁴.

This research calculate kinetic parameter, Doppler reactivity coefficient for Nuscale reactor core with OpenMC. This calculation is expressed with modeling of Nuscale core geometry with OpenMC using data library cross sections ENDF/B-VII.1. The calculated kinetic parameter is different for each reactor. It's very important to consider the core geometry and reactor compound to ensure safety and reactor efficiency.

DESIGN AND METHODOLOGY

A parameter for the reactor criticality-related multiplication factor that is affected by temperature. Changes in reactor fuel temperature change the k_{eff} value, which will have an impact on reactor reactivity. Doppler reactivity is part of the reactivity feedback coefficient, which is designed to be negative for reactor control purposes. When the fuel temperature rises in the reactor, the reactivity decreases, so that the reactor is always in a safe condition. The Doppler reactivity is defined as fractional change in reactivity caused by changes in fuel temperature⁵.

The Doppler reactivity coefficient (α_T) is expressed as amount of reactivity change for a parameter change in the reactor⁶.

$$\alpha_T = \frac{\Delta\rho}{\Delta T} = \frac{\rho_{T_n} - \rho_{T_{n-1}}}{T_n - T_{n-1}} \quad (1)$$

Where, T_n is temperature in Hot Full Point (HFP), T_{n-1} is temperature in Hot Zero Point (HZZ), ρ_{T_n} is reactivity at T_n , and $\rho_{T_{n-1}}$ is reactivity at T_{n-1} . Reactivity coefficient is expressed in pcm/K or is the change in reactivity considered linear with fuel temperature, value of 1pcm=1x10E-05 $\Delta k/k$.

The reactivity state is given as:

$$\rho = \frac{k - 1}{k} \quad (2)$$

RESULT AND DISCUSSION

The resulted k_{eff} calculation for Nuscale core with various Gd_2O_3 is presented in Table 2 and Figure 2, each presenting the k_{eff} calculation and Doppler reactivity coefficient, with various Gd_2O_3 at 300 K and 600 K fuel temperature.

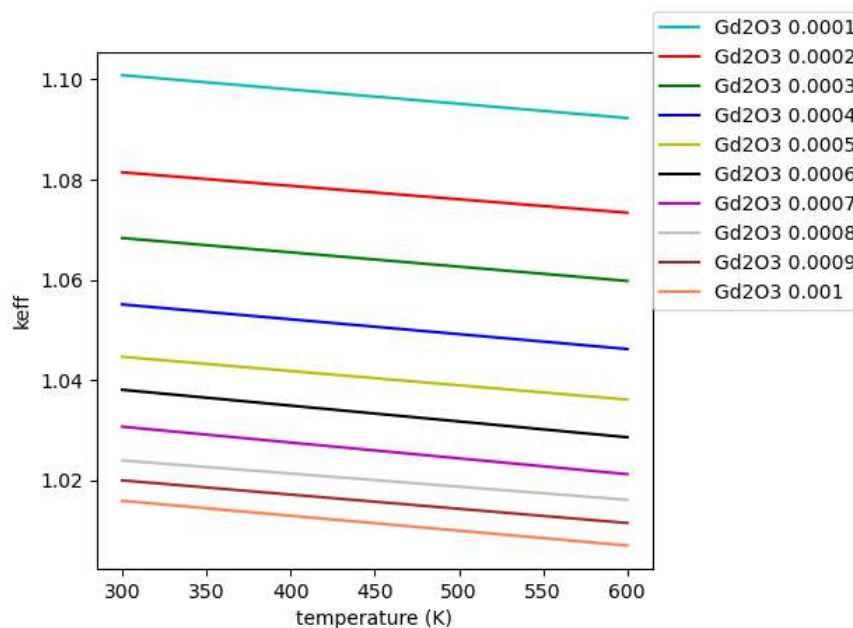


FIGURE 2. Graph relation between fuel temperature and k_{eff} in the various Gd_2O_3

Figure 2 shows that the value of the effective multiplication factor for all variations of Gd_2O_3 decreases with increasing fuel temperature, these results indicate that the reactor fuel has a negative reactivity coefficient value that support the safety aspect of Nuscale reactor. In addition, the graph above also showing that the presence of the Gd_2O_3 in fuel will lower the obtained effective multiplication factor. The greater the concentration of Gd_2O_3 ,

the lower the k_{eff} value. This is because Gd_2O_3 acts as a burnable poison in the fuel to provide partial control of the excess reactivity available during the cycle. The burnable absorber also reduces the requirement for soluble boron at the beginning of cycle.

TABLE 2. Result calculated k_{eff} and Doppler reactivity coefficient Nuscale reactor

	k_{eff}		Doppler Reactivity (Pcm/K)	Design Reference ⁵ (pcm/K)
	300 K	600 K		
Model 1 Gd_2O_3 0.0001	1.10086 +/- 0.00059	1.09230 +/- 0.00060	-2.37	
Model 2 Gd_2O_3 0.0002	1.08147 +/- 0.00063	1.07341 +/- 0.00061	-2.31	
Model 3 Gd_2O_3 0.0003	1.06836 +/- 0.00062	1.05980 +/- 0.00060	-2.52	
Model 4 Gd_2O_3 0.0004	1.05511 +/- 0.00063	1.04622 +/- 0.00069	-2.68	
Model 5 Gd_2O_3 0.0005	1.04467 +/- 0.00062	1.03613 +/- 0.00061	-2.62	
Model 6 Gd_2O_3 0.0006	1.03808 +/- 0.00058	1.02861 +/- 0.00060	-2.95	-1.4 to -2.25
Model 7 Gd_2O_3 0.0007	1.03072 +/- 0.00056	1.02124 +/- 0.00056	-3.00	
Model 8 Gd_2O_3 0.0008	1.02399 +/- 0.00062	1.01613 +/- 0.00061	-2.52	
Model 9 Gd_2O_3 0.0009	1.02001 +/- 0.00060	1.01150 +/- 0.00059	-2.74	
Model 10 Gd_2O_3 0.001	1.01593 +/- 0.00065	1.00700 +/- 0.00055	-2.90	

Table 2 shows the resulted k_{eff} and Doppler reactivity coefficient calculations with all variations of Gd_2O_3 concentrations. There are 10 variations of Gd_2O_3 content with uranium enrichment up to 4.55 %. The calculation of k_{eff} at a fuel temperature of 300 K is higher than when the fuel temperature is 600 K, the decrease in the value of k_{eff} is shown in figure 2. In addition, the table above also shows the results of the Doppler reactivity coefficient calculation. The greater the concentrations of Gd_2O_3 , the more Doppler reactivity coefficient calculation decreases. This is because of the Doppler reactivity coefficient is negative which supports the inherent safety aspect in the Nuscale reactor.

Based on the calculation of the Doppler reactivity at the previous studies by Suwoto, et.al at 2021, on Nuscale reactor fuel without Gd_2O_3 , showing the effect of the uranium enrichment on the calculation of the Doppler reactivity effect. Where the 2.35% uranium enrichment has a larger Doppler reactivity coefficient than the 3.4% uranium enrichment. This shows that the addition of the concentration of Gd_2O_3 and the amount of uranium enrichment used has a great influence in the calculation of the Doppler reactivity coefficient⁷.

The relation between Doppler reactivity coefficient of each variation of Gd_2O_3 are shown in the Figure 3

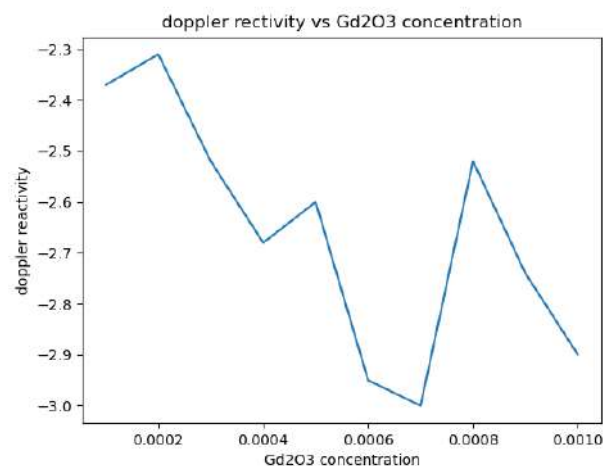


FIGURE 3. Graph relation between the Doppler reactivity with various Gd_2O_3 concentration

Figure 3 shows the resulted Doppler reactivity coefficient with various Gd_2O_3 concentration. Doppler reactivity is characterized by the broadening of absorption peak with an increase in fuel temperature. The decrease in reactivity with increasing temperature is due the Doppler broadening of ^{238}U and ^{240}Pu resonance absorption peaks. The Doppler coefficient becomes more negative, thereby increasing the resonance absorption⁹. The graph above shows the changes in the results of the Doppler reactivity coefficient calculation along with changes in the concentration of Gd_2O_3 .

The greater the concentration of Gd_2O_3 used, the result of the Doppler reactivity calculation tends to be more negative, with the minimum Doppler coefficient of -3.00 and maximum Doppler coefficient of -2.31 as shown in the graph. This shows that the addition of the concentration of Gd_2O_3 in the fuel greatly affects the result of the calculation of k_{eff} and Doppler reactivity. The increased of Doppler coefficient is caused by mixed Gd_2O_3 with fuel in selected fuel rods to provide a favorable radial power distribution, hold down the reactivity, and minimize power peaking within an assembly. As a burnable absorbers, the higher the concentration of Gd_2O_3 , the higher the neutron absorption and the lower the reactivity of the reactor. This is because of the gadolinium have high nuclear absorption cross sections, with that of ^{157}Gd reaching 259,000 barns. As a result, the naturally occurring mixture of gadolinium isotopes also has a very high nuclear absorption cross section on the order of 49,000 barns¹⁰.

The resulted Doppler reactivity coefficient is -2.31 to -3.00 pcm/K which is not in accordance with the design reference value -1.4 to -2,25 pcm/K. This is due to the influence of the amount of concentration Gd_2O_3 used.

CONCLUSION

The results of the calculation of the Doppler reactivity coefficient using OpenMC program with data library ENDF/B-VII.1 on Nuscale cores fueled with UO_2 with Gd_2O_3 , the result is do not match the Doppler reactivity coefficient in the reference design. The resulted Doppler reactivity coefficient is -2.31 to -3.00 pcm/K which is not in accordance with the design reference value -1.4 to -2,25 pcm/K. This is due to the influence of the amount of concentration Gd_2O_3 used. In addition, the amount of concentration Gd_2O_3 affects the results of the k_{eff} calculation.

REFERENCES

- [1] International Atomic Energy Agency, Advances in Small Modular Reactor Technology Developments (IAEA advanced reactors information systems (ARIS), 2014).
- [2] IAEA, Nuscale SMR ((Nuscale Power, LLC) IAEA ARIS-database, USA, 2020), retrieved from https://aris.iaea.org/PDF/Nuscale-NPM200_2020.pdf.
- [3] Nuscale plant design overview, NuScale Power, LLC, 2013, pp. 3-39.
- [4] Hazanzadeh. Mostafa, and M.A. Mzafari, Calculation and Analysis of Neutronic and Kinetic Parameters in Nuscale Small Modular Reactor (JRNT, vol.4/No.1, 2017), pp. 15-24.
- [5] Johnson. Matthew, Lucas, Scott, and Tsvetkov, Pavel, Modeling of Reactor Kinetics and Dynamics (Idaho national laboratory, 2010).
- [6] Stacey, W.M., Nuclear Reactor Physics, Wiley-VCH, Book 2-Edition, July (2007).
- [7] Suwoto, et.al, Analisis Perhitungan Koefisien Reaktivitas Doppler Bahan Bakar Reaktor Nuscale. ISSN: 2355-7524, 2020, retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/348880474>.
- [8] Rokhmadi, suwoto, and zuhair. Analysis of Doppler Reactivity Coefficient on the Typical PWR-1000 Reactor with MOX Fuel (ICoNETS Conference Proceedings, 2016). DOI: 10.18502/ken.v1i1.473
- [9] NRC-Office of Public Affairs. 20-043. NRC Issues Final Safety Evaluation Report for NuScale Small Modular Reactor, 2020. Retrieved from <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/news/2020/20-043.pdf>.
- [10] The editors of encyclopaedia Britannica, June 2020. Retrieved from <https://www.britannica.com/science/gadolinium>



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENGENDALIAN RADIASI DAERAH KERJA DI REAKTOR TRIGA 2000

Tri Cahyo Laksono^{1, a)}, Aprilia Nur Kholifah¹, Rezky Anggakusuma¹, Afida Ikawati^{1, b)}, Dani Muliawan¹, Rini Heroe Oetami¹

¹Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. Tamansari No. 71 Bandung 40132

^{a)} triclaksono@gmail.com

^{b)} Afida.ikawati@gmail.com

Abstract. PENGENDALIAN RADIASI DAERAH KERJA DI REAKTOR TRIGA 2000. Reaktor TRIGA 2000 dioperasikan dibawah 1 MW sesuai keputusan BAPETEN No: 500/IO/Ka-BAPETEN/29 – V/2017. Saat reaktor dioperasikan, radiasi gamma dan neutron yang berasal dari bahan bakar nuklir dalam teras akan menembus material pengungkung (shielding) dan mencapai daerah kerja. Telah dilakukan pengendalian radiasi di Reaktor TRIGA 2000 untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan. Pengendalian radiasi dilakukan melalui pengendalian administratif dan pengendalian teknis pada operasi reaktor dengan daya rata-rata 700 kW selama tahun 2019. Hasil dari pengendalian administratif adalah: tinjauan ulang / evaluasi program proteksi radiasi, Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk pengawasan keselamatan dan Batas Keselamatan Operasi (BKO) serta formulir isian yang menyertai SOP. Sedangkan pengendalian teknis meliputi: pemantauan laju dosis radiasi gamma dan neutron di daerah kerja, pengukuran konsentrasi radioaktivitas udara di ruang reaktor, cerobong serta pemantauan dosis personel. Hasil pengukuran menunjukkan laju dosis di control room sebesar 3,1 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ dan tidak ada BKO yang dilampaui. Laju dosis radiasi gamma di area akses personel tertinggi sebesar 5,5 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Penunjukkan laju dosis dengan Gamma Area Monitor (GAM) juga tidak ada yang melebihi dari laju dosis 10 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Lepasn udara cerobong 0,21 kali lebih kecil dari pada konsentrasi udara ruang reaktor. Selama tahun 2019, operator dan supervisor reaktor tidak ada yang menerima dosis melebihi Nilai Batas Dosis (NBD) tahunan (20 mSv). Dosis kolektif selama tahun 2019 untuk total 19 personel sebesar 0,01976 manSv dan dosis rata-rata sebesar 1,04 mSv. Dengan demikian dapat disimpulkan pengendalian radiasi untuk Reaktor TRIGA 2000 yang dioperasikan pada daya 700 kW telah berjalan dengan baik.

Kata kunci: pengendalian radiasi, reaktor TRIGA, laju dosis radiasi

PENDAHULUAN

Beroperasinya Reaktor TRIGA 2000 di Kawasan Nuklir Bandung (KNB) dituntut untuk dioperasikan dengan aman, dan selamat bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan di sekitar Reaktor TRIGA 2000. Pengendalian radiasi di sekitar KNB adalah salah satu tugas dari Sub Bidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi (Sub Bidang KKPR), dibawah Bidang Keselamatan Kerja dan Keteknikan (K3), Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT). Pengendalian radiasi di KNB meliputi pengawasan laju dosis radiasi dan kontaminasi permukaan di area: Reaktor TRIGA 2000, Laboratorium Radioisotop dan Senyawa Bertanda (RISB) dan Laboratorium Analisis Aktivasi Neutron (AAN) di PSTNT, fasilitas penyimpanan limbah radioaktif padat dan cair serta ruang penyimpanan sumber radiasi.

Area dengan sumber radiasi terbesar di KNB adalah di gedung A dimana Reaktor TRIGA 2000 berdiri dan telah beroperasi lebih dari 50 tahun. Reaktor TRIGA 2000 terletak di gedung A dengan desain daya 2 MW dan saat ini dioperasikan dengan daya dibawah 1 MW. Sumber radiasi Reaktor TRIGA 2000 terletak di dalam teras reaktor dimana terdapat bahan bakar nuklir yang telah teriradiasi selama reaktor dioperasikan. Sumber neutron yang ada didalam tangki reaktor akan menyinari bahan bakar nuklir yang menyebabkan reaksi berantai yang menghasilkan produk fisi yang tetap tersimpan dan terkendali di dalam kelongsong. Di dalam kelongsong terdapat banyak sekali radionuklida produk fisi yang memancarkan radiasi alpha, beta dan gamma [1].

Pada kondisi normal, Reaktor TRIGA 2000 dioperasikan pada daya dibawah 1 MW. Saat reaktor dioperasikan, radiasi gamma dan neutron yang berasal dari bahan bakar nuklir dalam teras akan menembus

material pengungku (shielding) dan mencapai daerah kerja di dalam pengungku reaktor, yaitu di ruang kendali utama / control room, dan area kerja personel. Udara ruang reaktor juga dapat terkontaminasi oleh radioaktif yang berada di udara yang disebabkan penguapan dari air tangki reaktor karena desain reaktor TRIGA berbentuk kolam terbuka [2].

Pada kegiatan rutin, dalam 1 bulan, selama 3 hari Reaktor TRIGA 2000 dioperasikan untuk melayani iradiasi sampel target yang digunakan untuk penelitian. Sampel target akan dikeluarkan dari teras 2 hari setelah reaktor shutdown, kemudian dibawa ke Laboratorium RISB atau AAN sesuai dengan kebutuhan penelitian terkait. Sampel target yang biasanya di iradiasi di teras reaktor adalah Te Metal, Yb/Ge, MoO₃, Gd₂O₃, Tb₂O₃, KBr, Sn, Yb₂O₃, GaO₂, Sc₂O₃ dan masih banyak lagi sampel target lainnya.

Kegiatan operator dan supervisor setelah mengeluarkan sampel target teriradiasi dilanjutkan dengan perawatan reaktor meliputi perawatan air pendingin, pompa primer, bulk shielding facility (BSF), reshuffling bahan bakar dan perawatan alat bantu lainnya yang terpasang di reaktor. Kegiatan operasi rutin, pengeluaran sampel dan perawatan reaktor memberikan lebih banyak potensi bahaya terpapar radiasi. Selain itu, bahaya kontaminasi radioaktif dapat terjadi terutama pada saat pengeluaran sampel target dari fasilitas iradiasi serta perawatan reaktor. Potensi bahaya paparan radiasi akan lebih besar saat reaktor sedang dioperasikan dibandingkan pada saat reaktor sedang tidak beroperasi (shut down).

Sumber radiasi di reaktor TRIGA berasal dari hasil fisi, hasil aktivasi, dan resin yang telah terkontaminasi. Pada saat reaktor dioperasikan udara ruang reaktor dimungkinkan ada zat radioaktif yang keluar dari air pendingin reaktor diantaranya gas mulia Xe dan Kr, Ar-41 dan N-16. Ar-41 berasal dari Ar-40 yang ada di dalam air tangki teraktivasi neutron melalui reaksi (n, γ). Sedangkan Ni-16 teraktivasi menghasilkan N-16 yang radioaktif dengan reaksi (n, p). Selain Kr dan Xe, dengan lepasnya material radioaktif ini dari dalam kolam pendingin reaktor maka udara ruang reaktor dapat terkontaminasi radioaktif [2, 3].

Radiasi yang dipancarkan saat pengoperasian reaktor memiliki potensi bahaya bagi kesehatan manusia. Potensi bahaya radiasi dari pengoperasian Reaktor TRIGA 2000 adalah bahaya radiasi eksternal dan internal yang dapat mengenai pekerja radiasi dan masyarakat serta lingkungan yang ada di sekitar KNB.

Pengoperasian reaktor dan kegiatan lainnya di reaktor merupakan kegiatan rutin yang berlanjut sepanjang tahun dan akan berdampak pada penerimaan dosis radiasi bagi para pekerja radiasi atau masyarakat yang ada di sekitar KNB. Jika paparan radiasi tidak dikendalikan maka penerimaan dosis pekerja radiasi dapat melebihi Nilai Batas Dosis (NBD), yaitu sebesar 20 mSv/tahun untuk Pekerja radiasi dan 1 mSv/tahun untuk masyarakat. Sejak tahun 2017 Reaktor TRIGA 2000 semakin sering dioperasikan dan semakin banyak memberikan pelayanan kepada pengguna. Semakin sering Reaktor TRIGA 2000 beroperasi maka peluang terjadinya efek negatif yang timbul akibat radiasi dan kontaminasi terhadap kesehatan pekerja radiasi dan masyarakat akan semakin meningkat.

Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) merupakan Pemegang Izin (PI) Reaktor TRIGA 2000 dan mendelegasikan tugasnya kepada Kepala PSTNT. Diantara tugas PI adalah untuk memastikan bahwa suatu kegiatan operasi tersebut aman dari sudut pandang keselamatan nuklir dan proteksi radiasi [4]. Dengan meningkatnya bahaya radiasi dan kewajiban memenuhi peraturan dan perundangan yang berlaku maka diperlukan pengendalian radiasi di Reaktor TRIGA 2000.

Berdasarkan potensi bahaya paparan radiasi akan lebih besar saat reaktor beroperasi, di dalam makalah ini disajikan potensi bahaya radiasi di Reaktor TRIGA 2000 pada pengoperasian 700 KW dan pengendalian radiasinya, sehingga kegiatan operasi di Reaktor TRIGA 2000 dapat berjalan aman dan selamat baik untuk pekerja, masyarakat dan lingkungan.

TEORI

Paparan radiasi adalah penyinaran radiasi yang diterima oleh manusia atau material, baik disengaja atau tidak, yang berasal dari radiasi internal maupun eksternal. Sedangkan paparan kerja adalah paparan yang diterima oleh Pekerja radiasi dan dapat memberikan dampak bagi kesehatan pekerja [1].

Paparan radiasi dapat memberikan efek kepada kesehatan yang meliputi efek stokastik dan deterministik [2]. Efek stokastik memiliki ciri-ciri: bersifat acak, tidak memiliki dosis ambang, probabilitas kejadian bergantung pada dosis, dapat terjadi pada individu yang terpapar dan keturunannya; sedangkan efek deterministik memiliki ciri-ciri: memiliki dosis ambang, tingkat keparahan bergantung kepada dosis dan hanya terjadi pada individu yang terpapar [5,6]. Pekerja radiasi adalah setiap orang yang bekerja di instalasi nuklir atau instalasi radiasi pengion yang diperkirakan menerima dosis tahunan melebihi dosis untuk masyarakat umum [4]. Untuk tujuan keselamatan, setiap pekerja yang bekerja di bidang pemanfaatan tenaga nuklir harus mendapatkan pemantauan dosis radiasi yang diterimanya. Hal ini sesuai dengan ketentuan dalam UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan disebutkan di Pasal 16 ayat 1. Dalam melaksanakan fungsi pengawasan keselamatan radiasi, Kepala PSTNT wajib menerapkan persyaratan Proteksi Radiasi yang meliputi justifikasi, optimisasi proteksi dalam keselamatan radiasi dan limitasi dosis [6]. Justifikasi, semua kegiatan yang memungkinkan menimbulkan paparan pada individu harus dijustifikasi dan disetujui setelah melalui proses penilaian keselamatan sebelum kegiatan tersebut dilaksanakan. Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi, besarnya dosis individu, jumlah orang yang terpapar, dan kemungkinan terjadinya bencana karena radiasi, harus dibuat serendah mungkin, setelah memperhitungkan faktor ekonomi dan sosial (ALARA). Limitasi dosis, dosis

individu yang disebabkan oleh kombinasi paparan dari semua kegiatan di PSTNT tidak boleh melampaui NBD efektif dan dosis ekuivalen yang direkomendasikan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) [3,12].

Reaktor TRIGA 2000 Bandung merupakan reaktor berjenis tangki (*tank type*), seluruhnya dipasang di atas tanah. Reaktor ini mempunyai kisi teras berbentuk heksagonal dan jarak antar elemen bakar sama. Reaktor ini didinginkan dengan cara konveksi alamiah. Pipa *inlet* ditempatkan di bagian bawah teras, sedangkan pipa *outlet* dipasang dekat permukaan tangki [2,14].

Sistem proteksi radiasi berdasarkan *Safety Standard Requirements* (SSR)-3 adalah salah satu dasar pengendalian radiasi yaitu persyaratan yang menyatakan bahwa peralatan sistem radiasi harus disediakan di fasilitas reaktor penelitian, untuk memastikan bahwa pemantauan radiasi tetap memadai pada situasi operasi dan kondisi kecelakaan [7]. Desain sistem proteksi radiasi tersebut sudah diterapkan di Reaktor TRIGA 2000[13], diantaranya mencakup:

- Pemantau laju dosis stasioner untuk memantau tingkat dosis radiasi di tempat- tempat yang secara rutin diakses oleh personil operasi dan area di mana sumber neutron berada di fasilitas subkritis.
- Pemantau untuk mengukur konsentrasi zat radioaktif di udara ruang di area tersebut yang secara rutin ditempati atau diakses personel, termasuk area eksperimental.
- Peralatan stasioner dan laboratorium untuk menentukan, pada waktu yang tepat, konsentrasi radionuklida yang dicuplik pada proses fluida, dan dalam sampel gas dan cair.
- Peralatan stasioner untuk pemantauan dan pengendalian limbah gas sebelum atau selama mereka dilepas ke lingkungan.
- Instalasi dan peralatan untuk mengukur dosis dan kontaminasi personil.
- Pemantauan radiasi di gerbang dan pintu masuk lainnya dari fasilitas untuk mendeteksi bahan radioaktif yang dipindahkan tanpa izin atau kontaminasi yang tidak disengaja.

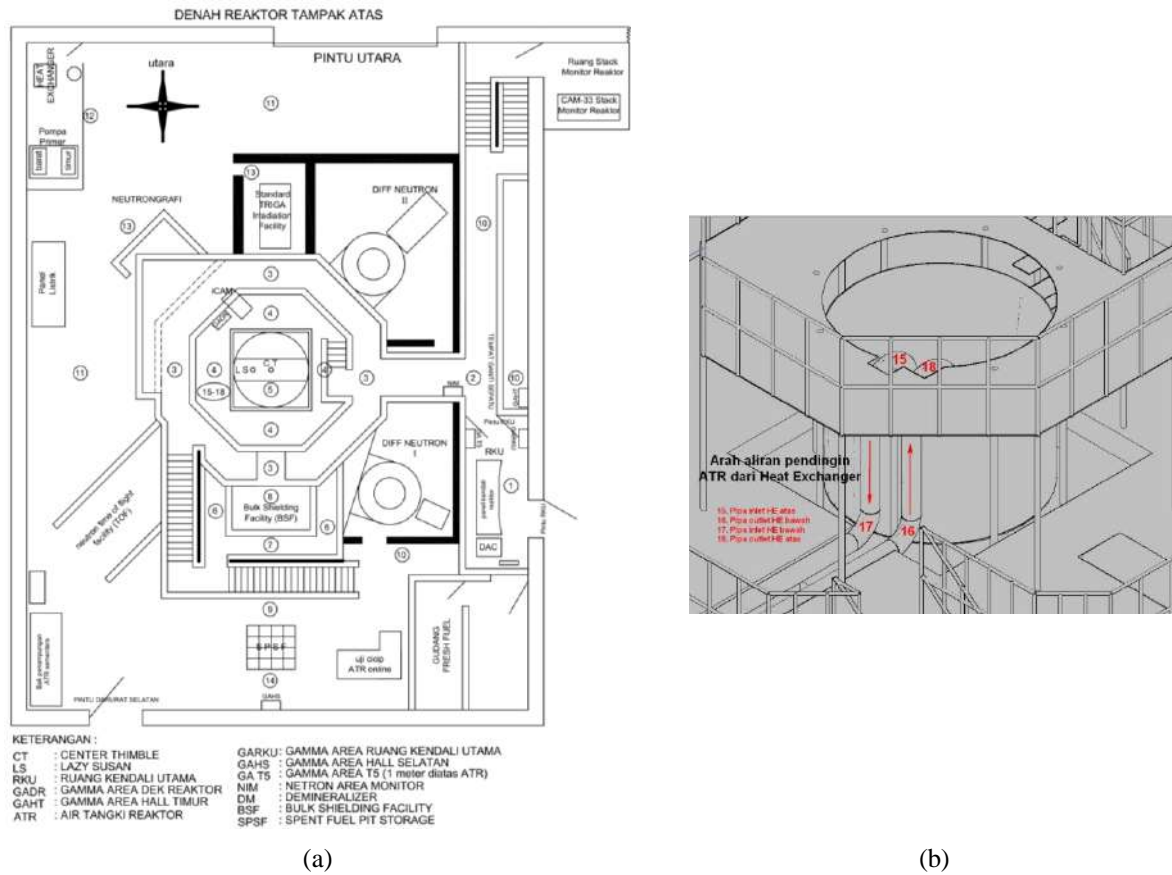
METODOLOGI

Tata kerja pengendalian radiasi di Reaktor TRIGA 2000 dilakukan melalui pengendalian administratif dan pengendalian teknis. Pengendalian administratif dilakukan melalui penerapan: Program Proteksi Radiasi Reaktor TRIGA 2000, penentuan batas kondisi operasi untuk keselamatan radiasi, penetapan SOP pengendalian radiasi di daerah kerja dan pemantauan personel di akses keluar dan masuk reaktor.

Pengendalian teknis yang meliputi pemantauan radiasi saat reaktor beroperasi maupun reaktor tidak beroperasi (*shutdown*). Pemantauan radioaktivitas udara di ruang reaktor dan cerobong Reaktor TRIGA 2000 serta pemantauan dosis personel tetap dilakukan sebagai bagian dari pengendalian radiasi. Lingkup pengambilan data yang digunakan untuk pembahasan ini adalah data tahun 2019. Dalam Tabel 1, Gambar 1 dan 2 ditunjukkan Lokasi Pemantauan Radiasi di dalam ruang Reaktor TRIGA 2000.

Tabel 1. Lokasi Pemantauan Radiasi di dalam Ruang Reaktor TRIGA 2000

No.	Lokasi	Pemantauan
1	Ruang kendali utama / <i>control room</i>	Pemantauan (n, γ) dan stasioner
2	Jembatan CR-Dek	Pemantauan (n, γ)
3	Dek bawah	Pemantauan (n, γ)
4	Dek atas	Pemantauan (n, γ) dan stasioner
5	Permukaan kolam	Pemantauan (n, γ)
6	Tepi BSFb	Pemantauan (n, γ)
7	Tengah BSFs	Pemantauan (n, γ)
8	BSF tengah	Pemantauan (n, γ)
9	Akses <i>hall</i> selatan	Pemantauan (n, γ) dan stasioner
10	Akses <i>hall</i> timur	Pemantauan (n, γ) dan stasioner
11	Akses <i>hall</i> utara	Pemantauan (n, γ)
12	Pagar HE	Pemantauan (n, γ)
13	Radiografi neutron	Pemantauan (n, γ)
14	Penyimpan Bahan bakar bekas	Pemantauan (n, γ)
15	Pipa <i>inlet</i> HE atas	Pemantauan (n, γ)
16	Pipa <i>outlet</i> HE bawah	Pemantauan (n, γ)
17	Pipa <i>inlet</i> HE bawah	Pemantauan (n, γ)
18	Pipa <i>oulet</i> HE atas	Pemantauan (n, γ)
19	Ruang reaktor	Cuplikan udara
20	Cerobong	Cuplikan udara



GAMBAR 1. Denah Reaktor TRIGA 2000 tampak atas (a), Denah titik 15-18 (b)

Pengendalian radiasi dengan cara mengukur laju dosis radiasi gamma dan neutron menggunakan surveymeter *portable* dan pengecekan paparan Gamma Area Monitor (GAM) dilakukan sebanyak 3x dalam satu *shift* operasi reaktor dan 1 bulan sekali jika reaktor tidak beroperasi. Pemantauan radioaktivitas udara ruang reaktor dan cerobong juga dilakukan secara berkala dengan mengambil cuplikan udara baik pada keadaan reaktor beroperasi dan tidak beroperasi. Pemantauan dosis personel dipantau triwulanan, sedangkan untuk pemantauan area lalu lintas personel digunakan alat pemantau radiasi terpasang (*stasioner*) yaitu GAM.

Titik pemantauan laju dosis ditentukan berdasarkan tujuan proteksi radiasi yaitu mencegah efek deterministik dan mengurangi peluang efek stokastik. Dalam Tabel 1. disajikan 18 titik pemantauan radiasi dimana pada lokasi tersebut adalah area tempat kerja pekerja radiasi (*control room*) dan area yang merupakan area lalu lintas Pekerja radiasi yaitu di daerah *hall* reaktor. Area dek reaktor, BSF (*Bulk Shielding Facility*), HE (*Heat Exchanger*) dan SFSP (*Spent Fuel Storage Pond*) dilakukan pemantauan radiasi karena nilai laju dosis di area ini dapat menjadi petunjuk adanya suatu situasi operasi yang tidak normal. Dengan demikian, operator atau supervisor reaktor dapat melakukan tindakan antisipasi untuk menghindari terjadinya *incident*.

Pemantauan konsentrasi udara ruang reaktor merupakan salah satu pemantauan limbah gas radioaktif di Reaktor TRIGA 2000. Lokasi pengambilan sampel udara dilakukan untuk udara di ruang reaktor dan cerobong.



GAMBAR 2. Area pengukuran laju dosis BSF (a) dan *hall* selatan Reaktor TRIGA 2000 dengan GAM (b)

Peralatan dan Bahan

Bahan yang digunakan pada kegiatan Pengendalian Radiasi di Reaktor TRIGA 2000 diantaranya kertas merang, tissue, wadah plastik, radiacwash, filter *charcoal*, filter *paper* udara dan bahan lain yang biasa

digunakan dalam melaksanakan fungsi pengawasan radiasi. Untuk alat pelindung diri (APD) disediakan sepatu kerja, jas laboratorium, sarung tangan, penutup kepala, *helmet*, kacamata pelindung dan masker.

Untuk melakukan pengukuran dan pemantauan radiasi digunakan peralatan berikut: surveymeter gamma Georadis RT-30, dan surveymeter neutron RadEye NL. Surveymeter Teletector 6112 B No. Seri 69673 untuk mengukur laju paparan dengan tingkat radiasi tinggi dan memiliki tangkai probe yang dapat diperpanjang sampai 2 (dua) meter untuk mempermudah pengukuran yang mengharuskan pengaturan jarak.

Untuk mengukur kontaminasi alpha, beta dan gamma digunakan *Portable Doserate Meter* CoMo Nuvia 170. Untuk memantau tingkat konsentrasi radioaktivitas udara di reaktor digunakan air sampler TA Model AS-2 Seri 30303 dengan kertas filter *Glass Microfiber* GF/A.

Untuk pemantau radiasi yang terpasang di area yang sering diakses oleh pekerja radiasi digunakan pemantau laju dosis gamma yang terdiri dari 4 unit GAM tipe GA4 yang terpasang di posisi 1 meter di atas permukaan air tangki reaktor, dek atas, akses *hall* selatan, akses *hall* timur, dan 1 unit GAM G64 yang dipasang pada ruang kendali utama.



(a)



(b)

GAMBAR 3. Alat Sampling udara di ruang reaktor (a) dan dosimeter thermoluminesensi (TLD) (b).

Gambar 3(a) menunjukkan alat pengambil sampel udara di ruang reaktor dan Gambar 3(b) menunjukkan alat pemantau dosis personel Thermoluminescence Dosimeter (TLD). Untuk memantau akumulasi dosis yang diterima oleh pekerja radiasi selama 3 bulan, digunakan TLD 7774. Pembacaan *chip* dalam TLD tersebut dilakukan setiap triwulan.



GAMBAR 4. Pemantauan kontaminasi tangan dan kaki dengan Berthold LB 148 *hand and foot contamination* monitor.

Pada Gambar 4 ditunjukkan alat pemantau kontaminasi personel menggunakan *hand and foot* monitor Berthold LB 148 dan *hand and foot contamination* monitor yang ditempatkan di area akses keluar masuk pekerja radiasi di reaktor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendalian Administratif

Pengendalian radiasi di Reaktor TRIGA 2000 telah dilaksanakan dengan cara administratif dan teknis. Pengendalian secara administratif dimaksudkan untuk menetapkan landasan kerja pengendalian radiasi dan untuk memenuhi ketentuan regulasi dibidang pengawasan radiasi.

Kepala PSTNT sebagai PI, bertugas dan bertanggungjawab untuk mewujudkan tujuan keselamatan radiasi di PSTNT [4]. Tujuan keselamatan radiasi dilaksanakan oleh personil di Bidang K3 yang merupakan pelaksana keselamatan radiasi di PSTNT.

Pengendalian radiasi secara administratif dibuat oleh Bidang K3 dan diterapkan di reaktor. Untuk mengendalikan terimaan dosis radiasi bagi personel ditentukan dengan Batas Keselamatan Operasi (BKO) untuk laju dosis di *control room*. BKO laju dosis di atas permukaan air tangki untuk mengidentifikasi adanya kenaikan daya operasi reaktor yang tidak semestinya. BKO laju dosis untuk ruang kendali utama ditetapkan sebesar 10 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$, sedangkan untuk permukaan air tangki sebesar 625 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ [2].

Untuk mengendalikan radiasi di PSTNT khususnya di Reaktor TRIGA 2000, telah ditetapkan Program Proteksi Radiasi Reaktor TRIGA 2000, dokumen No: R 003/KN 02 03/SNT 5.1 yang dimaksudkan untuk menerapkan proteksi radiasi bagi Pekerja radiasi di PSTNT [8]. Dari dokumen ini telah disusun dokumen SOP NO 246.3/KN 02 01/SNT 5.1 tentang SOP Pengawasan Radiasi Operasional di daerah Pengendalian di PSTNT

[9]. Di dalam dokumen ini dijelaskan tentang prosedur dari pengawasan radiasi di reaktor, diantaranya adalah: survei laju dosis radiasi dan pemantauan radioaktivitas udara, dan prosedur lainnya seperti pengawasan keselamatan radiasi pada saat pengeluaran sampel target hasil iradiasi.

Formulir setiap kegiatan dilampirkan di dalam dokumen sehingga Petugas Proteksi Radiasi (PPR) yang melakukan survei atau pengawasan dapat dengan mudah mencatat dan mengisi formulir yang telah disediakan. Batasan administratif seperti batasan dosis dan tingkat kontaminasi dicantumkan di dalam dokumen ini. Rekaman hasil survei atau pengawasan disimpan di Sub Bidang KKPR.

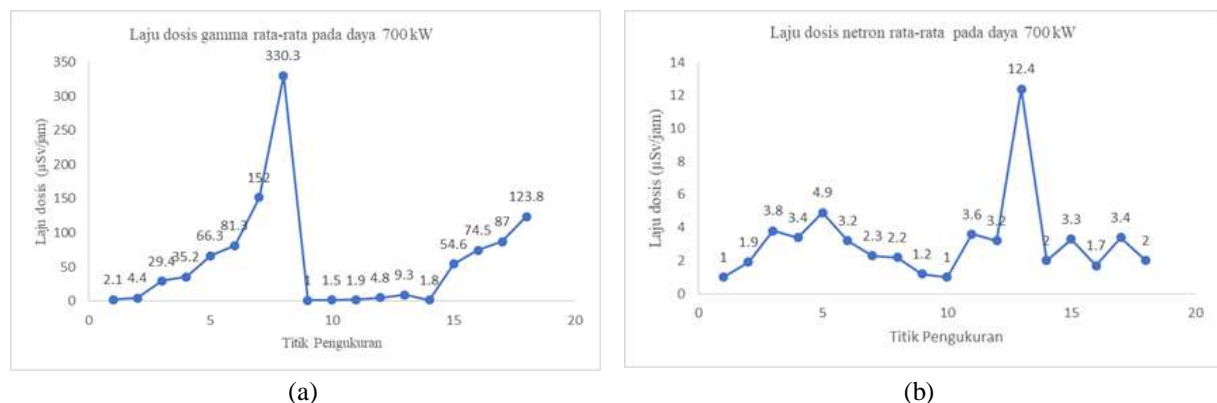
Dokumen petunjuk teknis untuk menangani personel atau daerah kerja yang terkontaminasi dilaksanakan sesuai dengan dokumen SOP No: 247.3/KN 02 01/SNT 5.1 tentang Dekontaminasi Perlengkapan, Daerah kerja dan Personel. Di dalam dokumen ini dijelaskan tentang cara dekontaminasi peralatan, daerah kerja dan personel yang terkontaminasi [10]. Dengan prosedur dekontaminasi ini diharapkan tidak ada radiasi yang tersebar keluar dari daerah pengendalian melalui alat atau personel yang keluar dari area reaktor.

Dengan diberlakukannya dokumen SOP tersebut di atas maka pengendalian radiasi secara administratif dapat diterapkan sebagai dasar pelaksanaan pengendalian teknis. Dokumen-dokumen SOP yang diterbitkan tersebut juga telah mendapat evaluasi dari BAPETEN pada saat melakukan inspeksi keselamatan di Reaktor TRIGA 2000.

Pengendalian radiasi secara administratif termasuk mendokumentasikan hasil pelaksanaan pengawasan radiasi di Reaktor TRIGA 2000 merupakan dasar untuk meninjau ulang setiap tindakan dan sumber daya secara berkala. Selain hal tersebut juga dimaksudkan untuk mengidentifikasi setiap kegagalan dan kelemahan dalam tindakan dan sumber daya yang diperlukan. Sehingga dari pengendalian radiasi secara administratif diperoleh kesulitan atau kelemahan dalam penerapan di lapangan yang tidak sesuai dengan dokumen keselamatan yang berlaku. Dengan demikian maka dokumen SOP telah berperan sebagai pengendalian administratif untuk pengawasan keselamatan radiasi. Pengendalian administratif sangat penting untuk mewujudkan tujuan keselamatan radiasi pada pengoperasian Reaktor TRIGA 2000.

Pengendalian Teknis

Pelaksanaan dari SOP adalah tindakan teknis yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan keselamatan radiasi. Hasil pemantauan radiasi di reaktor pada daya rata-rata 700 KW selama tahun 2019 untuk laju dosis radiasi neutron dan gamma masing-masing ditunjukkan dalam Gambar 5.



GAMBAR 5. Laju dosis radiasi gamma (a) dan neutron (b) di reaktor pada daya rata-rata 700 kW

Gambar 5(a) menunjukkan data hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma rata-rata pada daya operasi sebesar 700 kW. Titik pengukuran no.1 adalah ruang kendali utama reaktor yang memiliki batasan administratif (BKO) sebesar $10 \mu\text{Sv/jam}$. Ruang kendali utama (*control room*) adalah ruang dimana supervisor, operator dan PPR melakukan kegiatan selama operasi. Batas keselamatan operasi $10 \mu\text{Sv/jam}$ adalah untuk total laju dosis gamma dan neutron. Di *control room* (lokasi no.1) laju dosis gamma terukur sebesar $2,1 \mu\text{Sv/jam}$ sedangkan laju dosis neutron sebesar $1 \mu\text{Sv/jam}$ yang ditunjukkan dalam Gambar 5. Dengan demikian total laju dosis di RKU sebesar $3,1 \mu\text{Sv/jam}$. *Control room* berada dalam kondisi aman karena laju dosis radiasi total tidak melebihi $10 \mu\text{Sv/jam}$.

Laju dosis radiasi di *control room* berasal dari paparan radiasi di daerah dek bawah (lokasi no.3) sebesar $29,4 \mu\text{Sv/jam}$, dek atas (lokasi no.4) sebesar $35,2 \mu\text{Sv/jam}$. Pada lokasi no.5 menunjukkan laju dosis di atas permukaan air tangki sebesar $66,3 \mu\text{Sv/jam}$. Laju dosis di titik ini dengan BKO $625 \mu\text{Sv/jam}$, menjadi indikator jika terjadi kenaikan laju dosis gamma melebihi nilai BKO, maka PPR memberitahukan operator atau supervisor reaktor bahwa kenaikan laju dosis harus ditindaklanjuti.

Dari 18 titik pengukuran laju dosis gamma dapat diamati bahwa laju dosis tertinggi terukur di daerah tengah *Bulk Shielding Facility* / BSF (lokasi no.8) sebesar $330,4 \mu\text{Sv/jam}$. Laju dosis di BSF ini mempengaruhi tingkat laju dosis di *control room*. Untuk mengurangi laju dosis di *control room* agar tetap dibawah nilai BKO-nya, di atas permukaan BSF telah dipasang lembar Pb (total ketebalan 45 mm) sebagai penahan radiasi gamma.

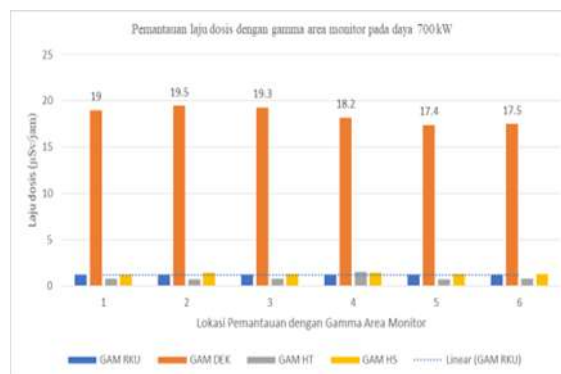
Sehingga laju dosis di *control room* untuk gamma sebesar $2,1 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ dan neutron sebesar $1 \mu\text{Sv}/\text{jam}$, diperoleh total laju dosis gamma dan neutron sebesar $3,1 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ (masih dibawah BKO $10 \mu\text{Sv}/\text{jam}$).

Demikian juga laju dosis dari pipa *inlet* dan *outlet* HE (lokasi no.15 s.d 18) di pipa HE ini letaknya sangat berdekatan. Pipa *outlet*

adalah pipa yang mengalirkan air primer setelah melalui pertukaran panas di HE dan tabung resin. Pipa *outlet* adalah pipa yang mengalirkan air primer reaktor yang telah terkontaminasi dengan zat radioaktif hasil aktivasi neutron menuju HE dan tabung resin. Laju dosis tertinggi dari area ini sebesar $123,8 \mu\text{Sv}/\text{jam}$. Laju dosis tersebut tidak memberi pengaruh laju dosis pada *control room* karena diantara pipa dan *control room* terdapat tangki reaktor yang berfungsi sebagai *shielding*.

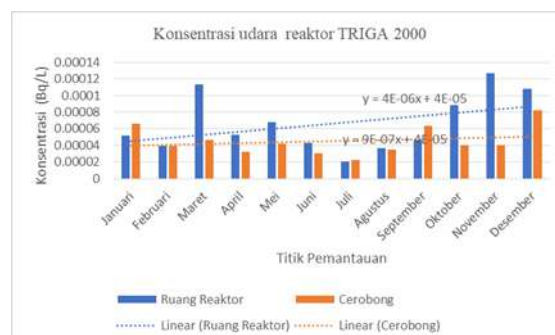
Pengukuran laju dosis gamma di titik akses reaktor *hall* sisi selatan (lokasi no.9; $1 \mu\text{Sv}/\text{jam}$), *hall* timur (lokasi no.10; $1,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$) dan *hall* utara (lokasi no.11; $1,9 \mu\text{Sv}/\text{jam}$) nilainya masih sangat rendah. Laju dosis radiasi di daerah ini berasal dari teras reaktor setelah melalui *shielding* di sekeliling tangki reaktor (ketebalan $91\text{cm} - 263 \text{cm}$) dan *shielding* parafin (ketebalan $29 \text{cm} - 81 \text{cm}$) yang mengelilingi seluruh *shielding* tangki reaktor dan dengan demikian laju dosis di area akses pekerja radiasi di *hall* menjadi rendah dengan dipasangnya *shielding*.

Laju dosis radiasi neutron tertinggi di depan *beamport* radiografi neutron ($12,4 \mu\text{Sv}/\text{jam}$; lokasi no.13). untuk mengurangi laju dosis neutron dari teras untuk area ini telah dipasang *shielding parafin* yang bersifat menyerap neutron. Selain titik tersebut semua laju dosis neutron lebih kecil dari $5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$. Untuk akses personel di lokasi no.9, 10 dan 11, laju dosis total gamma dan neutron masing- masing adalah $2,2 \mu\text{Sv}/\text{jam}$, $2,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ dan $5,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$. Dengan demikian laju dosis di area akses personel di *hall* reaktor sangat aman karena masih jauh lebih rendah dari $10 \mu\text{Sv}/\text{jam}$.



GAMBAR 6. Laju dosis radiasi gamma dengan pemantau stasioner di Reaktor TRIGA 2000

Pada ruangan reaktor pengendalian radiasi sangat penting, maka perlu di pasang pemantau radiasi stasioner yang terpasang di jalur area yang dilalui personel. Di Reaktor TRIGA 2000, telah dipasang GAM di akses lalu lintas personel di *hall* selatan, *hall* timur, dan *control room*. Ketiga GAM ini di-*setting* akan memberikan bunyi peringatan (*alarm*) pada laju dosis maksimum $10 \mu\text{Sv}/\text{jam}$. Tampak pada Gambar 6 bahwa laju dosis di GAM dek akan selalu jauh lebih tinggi dari GAM di ketiga area lainnya karena GAM di dek sebagai alat penunjuk laju dosis untuk keselamatan reaktor, sedangkan GAM lainnya bertujuan sebagai penunjuk laju dosis yang bertujuan untuk proteksi personal. Penunjukkan dari Gambar 6, GAM untuk area lalu lintas personel tidak ada yang melebihi $10 \mu\text{Sv}/\text{jam}$.



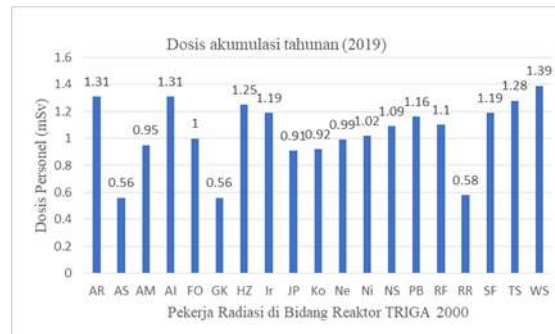
GAMBAR 7. Konsentrasi radioaktivitas udara di ruang reaktor dan cerobong Reaktor TRIGA 2000

Dalam Gambar 7 ditunjukkan konsentrasi radioaktivitas udara di ruang dan cerobong reaktor selama tahun 2019. Selama tahun 2019 terdapat kecenderungan konsentrasi udara di ruang reaktor menunjukkan tingkat radioaktivitas udara di ruang reaktor lebih tinggi daripada konsentrasi di cerobong. Berdasarkan persamaan garis dari pemantauan di ruang reaktor dan di cerobong, tampak bahwa konsentrasi radioaktivitas udara ruang reaktor sebanyak 4,4 kali lebih besar dari konsentrasi radioaktivitas udara di cerobong. Hal ini juga

menunjukkan bahwa cerobong memiliki filter yang mampu menyaring udara terkontaminasi sehingga udara yang keluar ke lingkungan sangat rendah, yaitu lebih kecil dari $8,2 \times 10^{-5}$ Bq/L selama setahun pemantauan.

Konsentrasi radioaktivitas udara tertinggi terjadi di bulan November 2019 di ruang reaktor sebesar $12,7 \times 10^{-5}$ Bq/L setelah keluar cerobong menjadi $4,3 \times 10^{-5}$ Bq/L. Penurunan konsentrasi yang baik ini disebabkan lepasan yang keluar di cerobong telah melalui filter (*pre-filter*, *charcoal* dan HEPA) dan ada waktu tunda (*delay*) sehingga radionuklida di udara dengan waktu paruh yang sangat singkat sudah meluruh terlebih dahulu sebelum mencapai cerobong.

Tujuan dari pengendalian radiasi adalah untuk keselamatan personel. Pemantauan dosis yang diterima operator dan supervisor serta pekerja radiasi lainnya di reaktor selama 2019 ditunjukkan dalam Gambar 8. Personil Bidang Reaktor yang dipantau sebanyak 19 personel.



GAMBAR 8. Dosis personel tahunan selama tahun 2019 untuk personel Bidang Reaktor.

Dari Gambar 8 dapat dihitung dosis kolektif untuk 19 pekerja sebesar $0,01976 \text{ manSv}$, dosis personel rata-rata sebesar $1,04 \text{ mSv}$, dosis personel kumulatif tahunan terendah sebesar $0,56 \text{ mSv}$ dan dosis tertinggi sebesar $1,39 \text{ mSv}$. Pada tahun 2017 dosis kolektif untuk Bidang Reaktor sebesar $0,018 \text{ manSv}$ [11] kenaikan sebesar $0,00176 \text{ manSv}$ menunjukkan adanya kenaikan terimaan dosis radiasi untuk pekerja. Dari aspek pengendalian radiasi, pemantauan terimaan dosis personel sangat penting tetap dijaga serendah mungkin. Tidak ada personel yang terpantau mendapat dosis melebihi NBD untuk satu tahun sebesar 20 mSv .

Berdasarkan hasil pemantauan di Reaktor TRIGA 2000 selama tahun 2019 untuk parameter laju dosis gamma dan neutron dengan cara survei dan pemantau terpasang, konsentrasi radioaktivitas udara dan dosis personel, tidak melampaui batasan BKO dan NBD. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian radiasi secara teknis telah dilakukan sesuai dengan regulasi nuklir terkait proteksi radiasi untuk pengoperasian Reaktor TRIGA 2000

KESIMPULAN

Telah dilakukan pengendalian radiasi secara administratif dan teknis di Reaktor TRIGA 2000 untuk pengoperasian pada daya 700 KW selama tahun 2019. Pengendalian administratif merupakan dasar pelaksanaan pengendalian teknis. Penetapan program proteksi radiasi, penerbitan SOP dan penetapan BKO telah dilaksanakan yang diterapkan dalam bentuk: pemantauan laju dosis radiasi gamma dan neutron di daerah kerja personel, laju dosis gamma di area lalu lintas personel, lokasi yang potensial dengan laju dosis tinggi (dek reaktor, BSF, HE, radiografi neutron dan SFSP), konsentrasi radioaktivitas udara di ruang reaktor dan cerobong.

Pemantauan dosis personel dilakukan untuk memastikan tidak ada pekerja radiasi yang mendapat efek kesehatan deterministik maupun stokastik. Pada daya 700 kW laju dosis di *control room* sebesar $3,1 \mu\text{Sv/jam}$, nilai tersebut tidak melebihi BKO dan NBD. Laju dosis di area akses personel untuk laju dosis total gamma dan neutron tertinggi sebesar $5,5 \mu\text{Sv/jam}$ yaitu di akses *hall* utara. Penunjukkan laju dosis dengan GAM sama tidak ada yang melebihi laju dosis $10 \mu\text{Sv/jam}$. Lepasannya cerobong 0,21 kali lebih kecil dari pada konsentrasi udara ruang reaktor.

Untuk pemantauan dosis personel di Bidang Reaktor selama tahun 2019 tidak ada yang menerima dosis melebihi NBD tahunan (20 mSv). Dosis kolektif selama tahun 2019 untuk total 19 personel Bidang Reaktor juga sangat rendah yaitu $0,01976 \text{ manSv}$ dan dosis rata-rata sebesar $1,04 \text{ mSv}$. Dengan demikian dapat disimpulkan pengendalian radiasi untuk Reaktor TRIGA 2000 yang dioperasikan pada daya 700 kW telah berjalan dengan baik.

ACKNOWLEDGEMENTS

Terima kasih kepada seluruh personel Bidang Keselamatan Kerja dan Keteknikan khususnya Sub Bidang Keselamatan Kerja dan Proteksi Radiasi, personel Bidang Reaktor, dan pihak lain yang telah membantu kelancaran proses penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Rakotovao L.O, Sidik Permana, Rini Heroe Oetami dan Rasito.2018. "Assessment of Gamma and Neutron Dose of Optimizing the Radiation Protection in TRIGA 2000 BATAN Bandung" in International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering (ICANSE), Bandung Institute of Technology, Bandung, 29-30 November 2018, pp.1-9.
- [2] BATAN-PSTNT.2016. Laporan Analisis Keselamatan Reaktor TRIGA 2000 Bandung, Dokumen No: R 093/KN 01 01/SNT 4. Bandung: BATAN-PSTNT
- [3] Oetami, R.H., Dadang Supriatna, dan Afida Ikawati. "Program Proteksi Radiasi Pada Pengoperasian Reaktor TRIGA 2000" di Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, BATAN, Bandung, 2017.
- [4] BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No.4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, BAPETEN Jakarta (2013).
- [5] IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3). International Atomic Energy Agency, Vienna (2014).
- [6] BAPETEN. Seri Pedoman Teknis, Pedoman Umum Optimisasi Proteksi Radiasi Untuk Pengendalian Paparan Kerja.BAPETEN, Jakarta (2013).
- [7] IAEA. Safety Standards for protecting people and the environment Specific Safety Requirements No. SSR-3 Safety of Research Reactors. International Atomic Energy Agency, Vienna (2016).
- [8] BATAN-PSTNT.2017.Program Proteksi Radiasi Reaktor TRIGA 2000, Dokumen No: R 003/KN 02 03 /SNT 5.1.Bandung:BATAN-PSTNT.
- [9] BATAN-PSTNT.2019.Standar Operasional Prosedur Pengawasan Radiasi Operasional di daerah Pengendalian di PSTNT, Dokumen SOP No: 246.3/KN 02 01/SNT 5.1, PSTNT, Bandung: BATAN-PSTNT.
- [10] BATAN-PSTNT.2019.Standar Operasional Prosedur Dekontaminasi Perlengkapan, Daerah kerja dan Personel SOP Dokumen No: 247.3/KN 02 01/SNT 5.1.Bandung:BATAN-PSTNT.
- [11] Oetami, R.H, Afida Ikawati dan Dadang Supriatna."Profile of Occupational Dose at TRIGA 2000 Nuclear Facility", in Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology,Bandung, 2019.
- [12] Hiswara, Eri.2015.Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit, Batanpress,Jakarta.
- [13] Kuntoro,Iman,dkk.2019."Overview of the Application of the Specific Safety Requirements to BATAN Research Reactors".Symposium of Emerging Nuclear Technology and Engineering Novelty,BATAN dan Universitas Sriwijaya,Palembang,4-5 Juli 2018, pp.1-7.
- [14] IAEA-TECDOC-1625, Research Reactor Modernization and Refurbishment, (2009).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



STUDI PENDAHULUAN IDENTIFIKASI PROSES DALAM PEMBUATAN APLIKASI SISTEM INFORMASI KESELAMATAN NUKLIR

Rahmat Edhi Harianto, M.Rifqi Harahap, Decky D. Dharmaperwira, Bintoro Aji

*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN
Jalan Gajah Mada No. 8 Jakarta, Indonesia*

Korespondensi email: r.eharianto@bapeten.go.id; rahmatedhiah@gmail.com

Abstrak Peraturan Presiden Nomor 60 tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi telah mengamanatkan pengembangan sistem informasi yang mendukung keselamatan nuklir dan radiasi. Saat ini pelaporan insiden nuklir akibat kejadian abnormal dan insiden dari umpan balik pengalaman operasi telah terbangun dalam forum reaktor riset dan instalasi nuklir non reaktor. Namun pelaporan ini masih manual sehingga, insiden yang pernah terjadi rentan hilang atau tidak terekam akibat pergantian koordinator di fasilitas dan badan pengawas. Dalam hal ini dibutuhkan sistem portal informasi keselamatan instalasi nuklir berisi laporan kejadian yang secara signifikan berdampak bagi keselamatan yang memuat penyebab, langkah solusi, upaya pencegahan yang diperlukan, dan pelajaran yang dapat diambil dari insiden atau kejadian yang terjadi di PLTN. BAPETEN selaku badan pengawas dalam hal ini merancang Sistem Informasi Keselamatan Nuklir guna meningkatkan dan memudahkan pengelolaan informasi terkait keselamatan nuklir di Indonesia. Oleh sebab itu, dilakukan studi identifikasi awal untuk merancang sistem informasi tersebut. Studi ini dilakukan untuk mengidentifikasi peta jalan dalam pembuatan aplikasi yang memenuhi persyaratan standar spesifikasi dalam pengembangan perangkat lunak berdasarkan ISO/IEC 25010. Studi pendahuluan menyimpulkan terdapat beberapa dokumen yang harus disusun oleh BAPETEN meliputi TOR dan URD. TOR berisi latar belakang dan proses bisnis SIKN yang menguraikan data flow diagram level 0 dan level 1 proses pengolahan data pada sistem-sistem yang terdapat dalam aplikasi SIKN. Selain TOR, BAPETEN perlu menyusun empat modul aplikasi meliputi modul sistem fasilitas, modul sistem kejadian, modul sistem laporan kejadian, dan modul sistem administrator. Kualitas perangkat lunak SIKN disusun mengacu kriteria ISO/IEC 25010.

Kata kunci: ISO/IEC 25010, sistem informasi keselamatan nuklir, umpan balik pengalaman operasi.

PENDAHULUAN

Kebutuhan sistem informasi telah tumbuh dan berkembang dengan pesat di beragam lini termasuk industri nuklir. Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi, Pasal 3, telah mengamanatkan agar pengembangan infrastruktur dalam rangka peningkatan keselamatan radiasi dilakukan dengan cara pengembangan sistem informasi yang mendukung keselamatan nuklir dan radiasi[1].

Saat ini kejadian/insiden nuklir di reaktor non daya dan instalasi nuklir non reaktor telah dilaporkan dalam forum internasional melalui sistem *Fuel Incident Notification and Analysis Systems* (FINAS) dan *Incident Reporting System for Research Reactor* (IRSRR), yang disampaikan oleh perwakilan koordinator lokal di fasilitas dan badan pengawas di setiap negara. Namun demikian kedua sistem pelaporan tersebut dari koordinator lokal kepada koordinator nasional masih manual. Sehingga, insiden yang pernah terjadi belum seluruhnya tercakup pada informasi umpan balik pengalaman operasi yang menjangkau periode waktu yang panjang dan menghimpun semua insiden yang pernah terjadi pada instalasi nuklir di Indonesia. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa hal diantaranya sering bergantinya koordinator lokal di tingkat fasilitas dan koordinator nasional di badan pengawas karena pergantian jabatan maupun pensiun, pemahaman budaya keselamatan yang rendah, dan sistem penyimpanan (*database*) informasi yang bersifat lokal dalam komputer koordinator tersebut.

Dari latar belakang tersebut, sekaligus sebagai infrastruktur mendukung pembangunan pembangkit listrik pertama di Indonesia, saat ini BAPETEN sedang melakukan kajian penyusunan *User Requirement Document* (URD) Sistem Informasi Keselamatan Nuklir (SIKN), sistem basis data pelaporan kejadian insiden di reaktor daya. Sistem ini berisi informasi laporan kejadian yang secara signifikan berdampak bagi keselamatan, yang memuat penyebab, langkah solusi, upaya pencegahan yang diperlukan, dan pelajaran yang dapat diambil dari insiden atau kejadian yang terjadi di PLTN. Sistem ini mengelola laporan kejadian sebelum dikirim ke sistem pelaporan internasional untuk pengalaman operasi PLTN (*International Reporting System for Operating Experience- IRS*, IAEA).

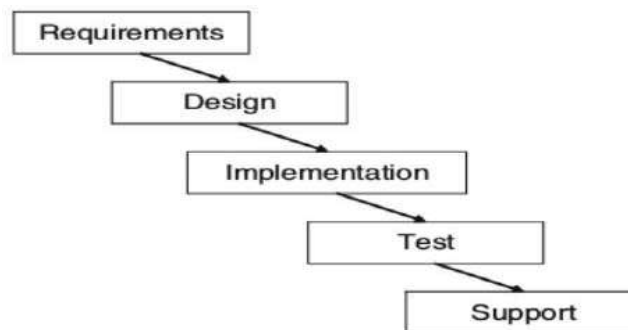
Tujuan kajian adalah mengidentifikasi rancangan peta jalan dalam pembuatan aplikasi SIKN yang sesuai dengan standar pengembangan perangkat lunak yang berlaku. Selain itu, dilakukan identifikasi dokumen-dokumen apa saja yang perlu disusun terlebih dahulu oleh BAPETEN sebelum melakukan pengembangan aplikasi SIKN.

POKOK BAHASAN

Sistem Informasi adalah sekumpulan komponen yang saling berinteraksi untuk mengumpulkan (input), memanipulasi (proses) dan menyimpan, serta menyebarkan data dan informasi yang menyediakan umpan balik bagi pemakai untuk mencapai tujuan tertentu. Saat ini sistem informasi telah berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses bisnis pada suatu organisasi. Pemanfaatan sistem informasi akan membantu organisasi dalam melakukan proses bisnis yang lebih kompetitif, dimana sistem informasi dapat memberikan manfaat dan menghasilkan suatu informasi yang memiliki nilai dalam meningkatkan bisnis.

Sebelum memulai merancang sistem informasi, terlebih dahulu disusun persyaratan sistem informasi. Pada fase ini, semua persyaratan kebutuhan didokumentasikan, dianalisis, dispesifikasi, dan divalidasi dari syarat-syarat apa saja yang dibutuhkan dalam sistem informasi yang akan dirancang. Persyaratan ini nantinya akan menjadi acuan awal dalam melakukan perancangan dan desain dari sistem informasi [2].

Dalam perancangan sistem informasi, dapat diterapkan alur kerja pengembangan perangkat lunak. Salah satu proses pengembangan perangkat lunak yang digunakan dalam hal ini adalah jenis *waterfall* pada gambar 1. Pada penggunaan pengembangan perangkat lunak jenis *waterfall*, semua proses pengembangan dilakukan secara runut, mulai dari menyusun persyaratan, mendesain perangkat lunak, menerapkan coding dan algoritma desain untuk membuat perangkat lunak, pengujian perangkat lunak, dan kegiatan pendukung untuk memfinalisasi perangkat lunak.



GAMBAR 1. Diagram Alir Proses Pengembangan Perangkat Lunak Jenis Waterfall

Model Evaluasi Kualitas Perangkat Lunak

Saat merancang sebuah sistem informasi, seorang pengembang akan menganalisis kebutuhan bisnis suatu perusahaan atau instansi untuk mencapai tujuannya. Menurut Simanungkalit dkk (2014) pada [3], ketika merancang sebuah sistem, kriteria untuk mendefinisikan sistem yang baik dan efektif adalah sistem yang dapat menghasilkan umpan balik positif dan memiliki fungsi yang sesuai dengan harapan pengguna. Dalam hal ini, standar mutu harus dijadikan acuan dalam perancangan sistem informasi untuk menciptakan sistem mutu/kualitas perangkat lunak. Umpan balik pengguna terkait kualitas produk dari perangkat lunak merupakan elemen kritis dari jaminan perangkat kualitas lunak. Hal ini penting untuk merepresentasikan kajian pokok dari spesifikasi, desain dan pengkodean.

Terdapat beberapa model evaluasi dalam mengukur kualitas perangkat lunak berdasarkan standar internasional, antara lain McCall, Boehm, FURPS dan ISO/IEC [5]. Model McCall dititikberatkan pada faktor kualitas perangkat lunak yang merefleksikan harapan pengguna dan prioritas pengembang. Tujuannya untuk menilai relativitas hubungan sosial antara faktor-faktor kualitas eksternal dan kriteria kualitas produk menggunakan 11 kriteria meliputi: *maintainability*, *flexibility*, *testability*, *portability*, *reusability*, *interoperability*, *correctness*, *reliability*, *usability*, *integrity*, *efficiency*.

Model Boehm menyempurnakan Model McCall melalui penambahan beberapa karakteristik dengan tujuan pada pemeliharaan produk perangkat lunak, antara lain jangkauan penggunaan perangkat lunak, kemudahan dilakukan perubahan ketika terdapat modifikasi, dan kemudahan perangkat lunak beradaptasi dengan

lingkungan baru [6]. Model FURPS diusulkan oleh Robert Grady dan Hewlett-Packard Co. Model ini menguraikan karakteristik dalam dua kategori yang berbeda dari persyaratan, meliputi persyaratan fungsional: menetapkan input dan output yang diharapkan; dan persyaratan non-fungsional, meliputi kegunaan (*usability*), kehandalan (*reliability*), kinerja (*performance*), daya dukung (*supportability*) [7].



GAMBAR 2. Unsur Model Kualitas Perangkat Lunak pada ISO 25010.

ISO/IEC 9126 merupakan standar internasional yang diterbitkan oleh ISO dalam melakukan evaluasi kualitas perangkat lunak. Dalam dokumen ini, terdapat empat kerangka kerja untuk melakukan evaluasi yakni metrik kualitas, metrik internal, metrik eksternal, dan metrik *quality in use*. Dalam hal mengevaluasi kualitas, digunakan metrik kualitas yang di dalamnya memiliki enam karakteristik yakni *functionality*, *reliability*, *usability*, *efficiency*, *maintainability*, dan *portability* [8].

Pada tahun 2011 melalui *Joint Technical Committee ISO/IEC JTC 1, Information technology, Subcommittee SC 7, Software and systems engineering*, diterbitkan ISO/IEC 25010 yang merupakan pengembangan dari versi ISO/IEC 9126. Pada ISO/IEC 25010 ini terdapat dua model yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas sistem, yaitu *quality in use model*, dan *software product quality model*. *Quality in use model* berisi lima karakteristik kualitas, sedangkan *software product quality model* terdiri dari delapan karakteristik. Terkait pengembangan perangkat lunak, lebih ditekankan pada karakteristik *Software Product Quality*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 [4].

Gambar 2 berisi karakteristik dan sub karakteristik pada *software product quality model*. Penjelasan terkait karakteristik *software product quality model* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik rinci kualitas produk perangkat lunak

Kualitas perangkat lunak	Karakteristik rinci
Stabilitas fungsional	sifat produk atau sistem menyediakan fungsi yang memenuhi kebutuhan yang ditetapkan ketika digunakan dalam kondisi tertentu.
Efisiensi kinerja	sifat kinerja relatif penggunaan sumber daya dalam kondisi tertentu.
Kesesuaian	sifat produk, sistem, atau komponen dapat bertukar informasi dengan produk, sistem, atau komponen lain, dan/atau menjalankan fungsi yang diperlukan sekaligus berbagi lingkungan perangkat keras atau perangkat lunak yang sama.
Penggunaan	sifat produk atau sistem dapat digunakan secara efektif, efisien, dan memuaskan bagi pengguna dan tujuan tertentu.
Kehandalan	karakteristik sejauh mana suatu sistem, produk atau komponen melakukan fungsi tertentu dalam kondisi tertentu untuk jangka waktu tertentu.
Keamanan	karakteristik sejauh mana suatu produk atau sistem melindungi informasi dan data sehingga orang atau produk atau sistem lain memiliki tingkat akses data yang sesuai dengan jenis dan tingkat otorisasi mereka.
Pemeliharaan	karakteristik tingkat efektivitas dan efisiensi dimana produk atau sistem dapat dimodifikasi untuk memperbaikinya, memperbaikinya atau menyesuaikannya dengan perubahan lingkungan, dan persyaratan.
Daya dukung (<i>Portability</i>)	tingkat efektivitas dan efisiensi dari sistem, produk atau komponen untuk dapat ditransfer dari satu perangkat keras, perangkat lunak atau lingkungan operasional atau penggunaan lainnya ke yang lain.

Persyaratan perangkat lunak yang terdefinisi dalam model kualitas perangkat lunak kemudian dituangkan dalam bentuk dokumen manajemen proyek perangkat lunak atau *Term of Reference (TOR)*. Dokumen ini juga memuat rangkuman proyek pengembangan perangkat lunak yang ingin dilakukan, referensi informasi, daftar

definisi, organisasi proyek, proses manajerial proyek, teknis pelaksanaan proyek, proses pendukung, dan proses tambahan [10].

Dalam menyusun *TOR*, perlu diputuskan metodologi yang diharapkan digunakan dalam mengembangkan perangkat lunak. Pengembangan perangkat lunak dalam hal ini terbagi dalam dua metode yakni metode *heavyweight* dan metode *agile*. Metode *heavyweight* dalam hal ini merupakan metode konvensional dalam pengembangan perangkat lunak yang menitikberatkan pada proses dengan langkah-langkah yang pasti. Di sisi lain, metode *agile* menitikberatkan pada adaptivitas dan hasil yang memungkinkan untuk dapat mengembangkan perangkat lunak dengan lebih cepat [11].

Dalam penggunaannya, metode *heavyweight* cocok untuk pengembangan perangkat lunak yang diharapkan memiliki fungsi dan persyaratan yang tetap dan tidak banyak berubah seiring berjalannya waktu. Sedangkan untuk metode *agile*, lebih cocok diterapkan pada pengembangan perangkat lunak yang adaptif dan tidak memiliki persyaratan awal yang cukup jelas [12].

Persyaratan yang terangkum dalam *TOR* kemudian dilakukan analisis dan telaah lebih jauh untuk mendapatkan daftar lengkap dari persyaratan yang dianggap penting oleh pengguna. Pada proses ini melibatkan baik pengguna maupun pengembang. Daftar lengkap persyaratan ini kemudian tersusun dalam dokumen *Software Requirement Specification (SRS)*. Dokumen ini berisi pendahuluan dan latar belakang perangkat lunak, deskripsi umum dari perangkat lunak yang akan dirancang, persyaratan spesifik yang dimiliki oleh perangkat lunak, serta informasi tambahan yang diperlukan [13].

Dalam perancangan aplikasi SIKN, langkah pertama yang harus dilakukan oleh badan pengawas selaku pengguna adalah merumuskan daftar kebutuhan dan informasi proyek perangkat lunak aplikasi terkait yang terangkum dalam dokumen *TOR*. Dalam penyusunan *TOR*, badan pengawas harus mampu mendefinisikan kebutuhan-kebutuhan penting yang nantinya akan menjadi persyaratan utama dalam dokumen *SRS*. Kebutuhan-kebutuhan ini diperoleh melalui telaah dan perbandingan kondisi pelaporan ideal dan realita pelaporan yang terjadi saat ini.

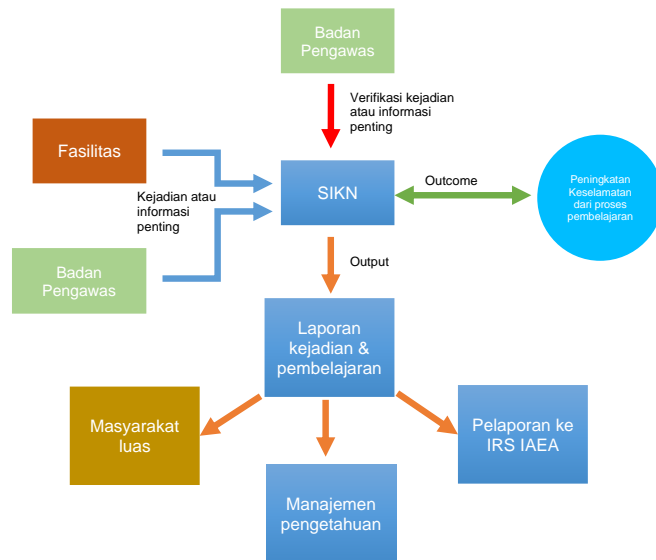
Sistem Informasi Keselamatan Nuklir

Sistem Informasi Keselamatan Nuklir (SIKN) merupakan sebuah sistem informasi terintegrasi yang menampilkan data pelaporan kejadian keselamatan nuklir yang terjadi pada reaktor daya, reaktor nondaya, dan instalasi nuklir nonreaktor. SIKN, selain memiliki fungsi sebagai basis data pelaporan kejadian keselamatan nuklir, juga memiliki fungsi sebagai pusat informasi keselamatan nuklir yang dapat diakses publik serta sebagai basis pelaporan kejadian instalasi nuklir terhadap sistem informasi internasional dalam *International Reporting System (IRS)* untuk insiden di reaktor daya.

Dalam pengoperasian instalasi nuklir lazim terjadi proses operasi yang menyimpang dari operasi normal yang diperkirakan terjadi paling sedikit satu kali selama umur operasi instalasi nuklir tetapi dari pertimbangan desain tidak menyebabkan kerusakan berarti pada peralatan yang penting untuk keselamatan atau mengarah pada kondisi kecelakaan [14]. Sesuai pasal 88 PP 54 Tahun 2012, pemegang izin wajib melapor kepada Kepala BAPETEN apabila terdapat kejadian operasi terantisipasi, kecelakaan dasar desain, dan kedaruratan nuklir.

Studi literatur di banyak negara menunjukkan bahwa badan pengawas menggunakan proses umpan balik pengalaman operasi sebagai pilar dasar peningkatan keselamatan [15]. Sejalan dengan referensi [1], BAPETEN perlu membangun SIKN dengan beberapa fungsi antara lain mendukung fungsi pengawasan: peraturan, perizinan dan inspeksi, meningkatkan budaya keselamatan fasilitas, sistem pelaporan ke lembaga internasional, dan menjadi basis data nasional insiden nuklir di Indonesia. Proses bisnis SIKN diberikan dalam Gambar 3.

Personil fasilitas yang terlibat atau telah ditunjuk harus memasukan informasi situasi atau kejadian penting yang terjadi dan yang dihadapi di dalam proses pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir secara real time atau dalam kurun waktu yang tidak terlalu jauh. Badan pengawas kemudian melakukan verifikasi terhadap kejadian tersebut, selanjutnya laporan tersebut setelah proses verifikasi dapat dipublikasi ke lembaga internasional sebagai media pembelajaran bersama dalam rangka peningkatan keselamatan, maupun disampaikan ke masyarakat.



GAMBAR 3. Proses Bisnis SIKN

PEMBAHASAN

SIKN dalam penggunaannya diharapkan menjadi sistem informasi basis data untuk kejadian keselamatan nuklir. Selain pelaporan bersifat manual pada reaktor nondaya dan instalasi nuklir nonreaktor saat ini, BAPETEN memulai untuk mengembangkan SIKN dalam rangka persiapan pengoperasian PLTN di Indonesia yang akan ditargetkan menjadi bauran energi pada 2035 [16]. Sehingga pada praktiknya PLTN yang nantinya dibangun akan memiliki sistem untuk meningkatkan kinerja operasi PLTN tersebut.

Dalam pengembangan SIKN, Indonesia sendiri belum memiliki PLTN yang menjadi sumber data utama penyusunan kebutuhan dan persyaratan SIKN. Namun, sistem pelaporan kejadian ke IAEA untuk reaktor nondaya dan instalasi nuklir nonreaktor mirip dengan PLTN, sehingga dapat dilakukan penyusunan kebutuhan dan persyaratan SIKN menggunakan data sekunder dengan mengadopsi metode evaluasi perangkat lunak dalam memetakan kebutuhan dan persyaratan dari SIKN.

Alur Kerja Pembuatan Aplikasi



GAMBAR 4. Alur Kerja Pembuatan Aplikasi

Seperti dalam Gambar 4, alur kerja pembuatan aplikasi terdiri dari lima tahap, meliputi persiapan awal, analisis kebutuhan, perancangan, konstruksi dan pengujian, serta perawatan dan jaminan kualitas. Dari kelima tahapan tersebut, pengguna diwajibkan menyusun TOR. Sementara dokumen *business solution design*, spesifikasi kebutuhan perangkat lunak, dan uji keberterimaan sistem, dikerjakan oleh pengembang atas masukan / diskusi intensif dengan pemilik aplikasi. Pengembang menyusun dokumen Software Project Management Plan, deskripsi perancangan perangkat lunak, penyimpanan aplikasi (*git repository*), uji coba aplikasi (*deployment*), menyusun manual penggunaan, serta melaksanakan perawatan berkala dan penyusunan manual jaminan kualitas[17].

Dokumen spesifikasi kebutuhan perangkat lunak / persyaratan pengguna (*User Requirement Document* (URD) / spesifikasi persyaratan pengguna (*User Requirement Specification* (URS)) adalah dokumen yang biasanya digunakan dalam rekayasa perangkat lunak yang menentukan apa yang diharapkan pengguna dapat dilakukan oleh perangkat lunak. Informasi yang diperlukan, dikumpulkan, didokumentasikan dalam URD, untuk menjelaskan dengan tepat apa yang harus dilakukan perangkat lunak dan menjadi bagian dari perjanjian kontrak. User tidak dapat meminta fitur yang tidak ada dalam URD, sedangkan pengembang tidak dapat mengklaim bahwa produk telah siap jika tidak memenuhi item URD. URD dapat digunakan sebagai panduan

untuk merencanakan biaya, jadwal, pencapaian, pengujian. Sifat eksplisit URD memungkinkan user untuk menunjukkannya kepada berbagai pemangku kepentingan untuk memastikan semua fitur yang diperlukan dijelaskan [18].

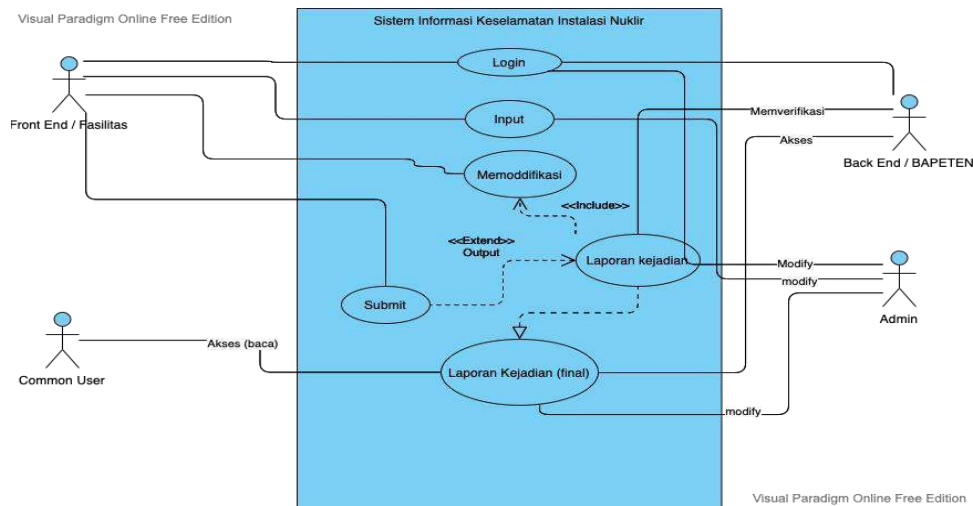
Tabel 2. Hubungan antara dokumen TOR, *Business Solution Design*, dan Spesifikasi Kebutuhan Perangkat Lunak

<i>TOR</i>	Isi Dokumen <i>Business Solution Design</i>	<i>URD</i>
a) Deskripsi Kebutuhan, meliputi Latar Belakang dan Proses Bisnis; b) Tujuan, Sasaran, Manfaat, Penerima Manfaat; c) Sumber Dana; d) Organisasi program/Pelaksana; e) Lingkup Pekerjaan; f) Spesifikasi Tenaga Ahli; g) Anggaran; h) Jadwal Umum; dan i) manajemen Risiko.	a) Pendahuluan / Latar belakang b) Usulan Solusi Bisnis c) Daftar Modul d) Detil Fitur dan pengguna per modul (beserta durasi pengerjaan dan SDM) e) Infrastruktur Aplikasi f) Alur Aplikasi ---> realisasi proses bisnis g) Konsep dan Metodologi Pengembangan h) Jadwal Aktivitas dan Capaian setiap periode waktu.	<ul style="list-style-type: none"> ● Persyaratan sistem dan fungsi <ul style="list-style-type: none"> ■ Persyaratan Fungsi ■ Persyaratan teknis <ul style="list-style-type: none"> ◆ Antarmuka Pemakai ◆ Antarmuka Perangkat Lunak ◆ Antarmuka Perangkat Keras ◆ Antarmuka Komunikasi Sistem Eksternal (API/ Web Service) ● Karakteristik Pengguna (hak akses, jabatan, jenjang organisasi) ● <i>Use Case Diagram</i> ---> jika besar, dibagi per modul (leveling) <ul style="list-style-type: none"> ■ Deskripsi Masing-Masing Kebutuhan Fungsional (input, output, actor, skenario, activity diagram) ■ Constraints And Assumptions setiap Kebutuhan fungsional ● Kebutuhan Basis Data <ul style="list-style-type: none"> ■ ER Diagram (desain terpisah atau mengambil diagram hasil generate DBMS) ■ Aturan Penamaan Database ● Diagram Arsitektur ● Deskripsi Kebutuhan Non Fungsional <ul style="list-style-type: none"> • Performance • Safety • Security • kualitas sistem: tergantung acuan ● Daftar Istilah dan singkatan

Oleh karena itu, pengguna perlu menyusun informasi TOR serinci mungkin, terutama bisnis proses aplikasi setidaknya hingga penyusunan data flow diagram level 0 dan level 1, karena pada umumnya penyusunan spesifikasi kebutuhan perangkat lunak / persyaratan pengguna dengan mengacu pada dokumen TOR.

Tipe dan Respon Entitas Pengguna SIKN

Dari Gambar 5 terlihat beberapa entitas yang akan terlibat dalam pengoperasian SIKN ini secara aktif meliputi: 1) pihak organisasi pengoperasi biasanya disebut koordinator lokal fasilitas yaitu personil fasilitas yang terlibat atau telah ditunjuk untuk memasukan informasi situasi atau kejadian penting yang terjadi dan yang dihadapi di dalam proses pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir secara real time atau dalam kurun waktu yang telah ditetapkan; 2) Koordinator nasional yang juga berfungsi sebagai admin sistem diampu oleh badan pengawas, akan melakukan verifikasi terhadap kejadian, informasi dan pembelajaran (lesson learned) dari instalasi, dan mengirimkan/meneruskan laporan kejadian, masalah, informasi penting dan pengalaman operasi yang relevan tersebut, dalam bentuk kode identifikasi kejadian ke sistem WBIRS (Web based IRS) setelah berdiskusi dan memperoleh persetujuan dari koordinator lokal fasilitas, mengelola sumber data dan informasi, termasuk memberikan hak akses, daftar (login), pemberian password, dan kegiatan lain yang terkait dengan administrator sistem aplikasi; 3) pihak lain, yakni masyarakat luas atau vendor, dapat melaporkan kejadian, informasi dan pembelajaran (lesson learned) di instalasi. Dengan demikian, setidaknya terdapat 3 (tiga) kegiatan dalam penyusunan aplikasi ini dijelaskan dalam Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7, serta respon dan tipe pengguna dalam Tabel 2.



GAMBAR 5. Use Case SIKN



GAMBAR 3. Data Flow Diagram SIKN Level 0 dan 1

Pada sistem pelaporan terdiri dua kegiatan, yakni pelaporan kejadian oleh fasilitas menggunakan format dan isi laporan tertentu, dan sistem validasi laporan kejadian oleh koordinator nasional BAPETEN, dengan alur proses pada Gambar 7 dan Gambar 8. Gambar 7 menggambarkan alur pemrosesan laporan yang diinput oleh koordinator lokal ke aplikasi SIKN, laporan kemudian diterima pada sistem I/O dan dikumpulkan dalam sistem basis data SIKN. BAPETEN kemudian validasi laporan melalui sistem validasi laporan yang terhubung dengan sistem basis data untuk menarik laporan dari fasilitas yang akan divalidasi. Hasil validasi kemudian diserahkan kembali ke sistem I/O laporan sehingga dapat diterima oleh pihak fasilitas dan masyarakat luas.

Pada Gambar 6, sistem Fasilitas, pengguna diharapkan menginput identitas fasilitas (misalnya kode negara, jenis reaktor, daya operasi, jenis bahan bakar, dll). Pada sistem kejadian, sebagai langkah awal penyiapan infrastruktur PLTN, SIKN dapat menggunakan panduan pelaporan kejadian yang diterbitkan IAEA-IRS dengan menginput setiap kejadian berdasarkan kategorisasi kejadian meliputi: 1) Lepasn material radioaktif atau paparan radiasi tak terantisipasi; 2) Degradasi penghalang dan sistem terkait keselamatan; 3) Penurunan/degradasi dalam desain, konstruksi (manufakturing), pemasangan dan komisioning, operasi (perawatan dan surveilan); 4) Permasalahan umum terkait keselamatan; 5) Tindakan konsekuensi yang diambil oleh Badan Pengawas; 6) Kejadian potensi keselamatan signifikan; 7) Dampak kejadian tak biasa akibat ulah manusia atau kejadian alam; dan 8) Temuan lainnya [19].

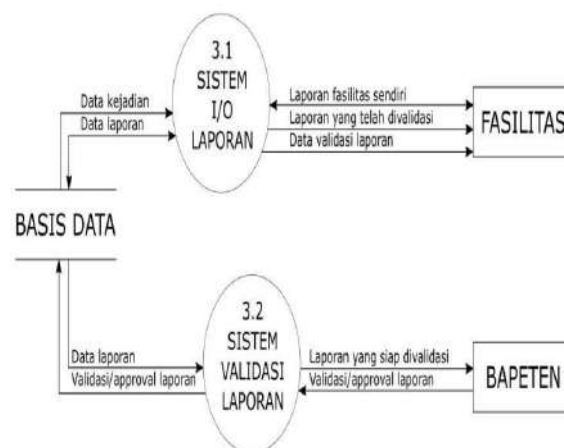
Pada sisi *back end* sendiri terdapat 2 pengguna yakni koordinator nasional dan admin yang keduanya diampu oleh badan pengawas, dalam hal ini BAPETEN. Pada sisi backend ini dilakukan pengelolaan akses pengguna oleh admin dan pengolahan informasi dari fasilitas untuk menghasilkan laporan akhir yang bisa diakses oleh masyarakat umum. Selain itu terdapa sistem administrasi yang mengelola otorisasi akses oleh pengguna dan mengelola tampilan data apa saja yang butuh ditampilkan untuk akun-akun yang memiliki wewenang otorisasi akses tertentu.

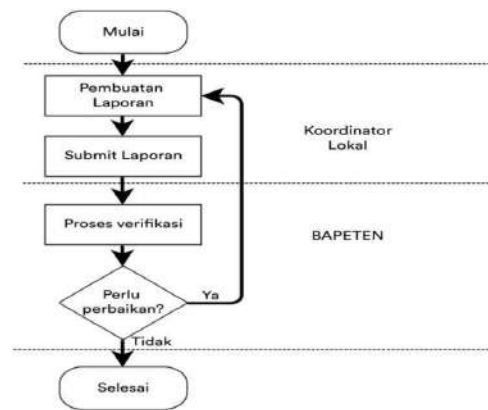
Laporan kejadian pada Gambar 8 disusun oleh koordinator fasilitas sesuai panduan [19] terdiri dari laporan pendahuluan, laporan utama, dan laporan tindak lanjut, dengan format dan isi tertentu. Laporan pendahuluan dalam hal ini merupakan laporan yang berisi tentang rangkuman dari informasi atau kejadian. Termasuk di dalamnya deskripsi singkat kejadian, evaluasi keselamatan awal, dan tindakan jangka pendek yang dilakukan. Laporan utama berisi informasi dasar yaitu judul dan tanggal kejadian, karakteristik instalasi, dan abstrak, termasuk uraian kejadian, penilaian keselamatan (penyebab langsung, konsekuensi, dan implikasi), hasil analisis akar masalah, tindakan korektif, pembelajaran yang didapat, dan kode pelaporan [20] sesuai panduan IRS sehingga kejadian akan mudah untuk dicari dan ditemukan datanya.

Tabel 3. Tipe dan Respon Entitas Pengguna SIKN

Entitas	Metode pengguna	Deskripsi Kegiatan
Koordinator lokal fasilitas	Akses login, Input,	<ul style="list-style-type: none"> ● Koordinator lokal dapat melakukan login dan mengakses sistem. ● Koordinator lokal yang telah ditunjuk dapat memasukkan informasi situasi atau kejadian penting yang terjadi dan yang dihadapi di dalam proses pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir secara real time atau dalam kurun waktu yang telah ditetapkan.
	Modifikasi, Kirim, View	<ul style="list-style-type: none"> ● Koordinator lokal juga dapat memodifikasi informasi/kejadian penting. ● Koordinator lokal dapat mengirimkan informasi/kejadian penting. ● Koordinator lokal dapat melihat status laporan kejadian.
Administrator (BAPETEN)	Akses login, modifikasi	<ul style="list-style-type: none"> ● Mengelola sumber informasi dan data yang digunakan dalam sistem dan perangkat SIKN ● Bertanggung jawab terhadap fungsionalitas sistem. ● Administrator dapat melakukan modifikasi sistem login, laporan kejadian awal, laporan kejadian akhir, dan laporan tindak lanjut.
Koordinator nasional (BAPETEN)	Verifikasi, submit	<ul style="list-style-type: none"> ● Melakukan verifikasi informasi kejadian yang dikirimkan koordinator lokal fasilitas atau pihak lain. ● Melakukan pengiriman laporan kejadian awal, laporan kejadian akhir, dan laporan tindak lanjut, ke sistem WBIRS.
Pihak lain (masyarakat, BAPETEN (non koordinator nasional, vendor)	Login, Input, Kirim, view	<ul style="list-style-type: none"> ● Pihak lain dapat melakukan login dan mengakses sistem. ● Pihak lain dapat memasukkan informasi situasi atau kejadian penting yang terjadi dan yang dihadapi di dalam proses pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir secara <i>real time</i> atau dalam kurun waktu yang telah ditetapkan. ● Pihak lain dapat mengirimkan informasi/kejadian penting. ● Pihak lain dapat melihat status laporan kejadian

Laporan tindak lanjut dalam hal ini merupakan laporan yang dibuat ketika tindakan perbaikan yang dilakukan kurang memadai atau terdapat informasi tambahan yang didapatkan. Laporan ini ditujukan untuk menjelaskan kegagalan dalam pemecahan masalah yang dilakukan. BAPETEN selaku badan pengawas dalam hal ini bertugas untuk memverifikasi laporan yang diserahkan oleh koordinator lokal di fasilitas. Verifikasi dilakukan untuk memeriksa validitas dan kesesuaian laporan. Negara pihak menyusun dan mengirimkan laporan utama dan laporan tindak lanjut apabila telah tersedia informasi tambahan yang relevan.

**Gambar 7.** Alur proses sistem pelaporan dan sistem validasi terkait kejadian/informasi yang penting



GAMBAR 8. Alur proses pembuatan dan pengiriman laporan kejadian/informasi penting

Penetapan Persyaratan Kualitas Perangkat Lunak

Seperti telah diuraikan dalam pokok bahasan dan Gambar 3, SIKN diharapkan memiliki beragam fungsi dalam penggunaannya, antara lain: 1) basis data nasional mengenai kejadian, informasi dan pembelajaran (*lesson learned*) instalasi PLTN di Indonesia; 2) pelaporan kejadian, masalah, informasi penting dan pengalaman operasi yang relevan, seperti: praktik yang baik, pelajaran yang diperoleh, atau temuan lainnya di instalasi PLTN; 3) rujukan sumber pengambilan keputusan pengawasan (penguatan standar regulasi dan peraturan, standar perizinan dan metode inspeksi); 4) repositori sarana manajemen pengetahuan PLTN.

Persyaratan kualitas perangkat lunak sesuai ISO 25010 dipilih dengan pertimbangan ISO/IEC 25010 memiliki seluruh karakteristik yang dibutuhkan dalam menentukan kualitas suatu sistem dibandingkan dengan model lainnya [3]. Sehingga penggunaan ISO/IEC 25010 sangat direkomendasikan sebagai panduan dalam perancangan suatu perangkat lunak.

Tabel 3. Hubungan antara Fungsi SIKN dan Persyaratan Kualitas Perangkat Lunak Sesuai ISO 25010

Atribut model kualitas perangkat lunak berdasarkan ISO 25010	Persyaratan SIKN
Stabilitas fungsional	Ya
Efisiensi kinerja	Ya
Kesesuaian	Ya
Penggunaan	Ya
Kehandalan	Ya
Keamanan	Ya
Pemeliharaan	Ya
Daya dukung (Portability)	Ya

Hubungan antara persyaratan kualitas perangkat lunak SIKN, dan keterwakilan satu atau lebih atribut dalam persyaratan kualitas perangkat lunak sesuai ISO 25010 diuraikan dalam Tabel 3. Aplikasi SIKN diharapkan memenuhi fungsi di atas ketika digunakan, sehingga sistem mutlak memenuhi persyaratan fungsi. Menurut studi referensi di beragam negara pengoperasi PLTN dan panduan IAEA, pelaporan kejadian disampaikan ke badan pengawas dan komunitas internasional dalam waktu tertentu dengan tepat waktu, sehingga diharapkan SIKN memiliki respons dan waktu pemrosesan serta tingkat keluaran produk atau sistem saat menjalankan fungsinya sesuai dengan persyaratan yang dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan kinerja.

Data pelaporan kejadian di fasilitas dapat digunakan bersama baik oleh fasilitas maupun badan pengawas, misalnya dokumen penilaian keselamatan berkala atau rekomendasi perbaikan peraturan, yang dapat diakses dengan mudah oleh orang yang telah memiliki akses guna memenuhi persyaratan kesesuaian.

Keamanan data menjadi faktor penting di instalasi nuklir. SIKN diharapkan memenuhi atribut tersebut guna memastikan bahwa data hanya dapat diakses oleh mereka yang berwenang untuk memiliki akses dan dapat mencegah akses tidak sah atau modifikasi program atau data komputer. Untuk memudahkan perawatan dan perbaikan, saat ini sistem atau program komputer dibuat dalam komponen-komponen terpisah sedemikian rupa sehingga perubahan pada satu komponen memiliki dampak minimal pada komponen lainnya sehingga dapat memenuhi persyaratan *maintainability* dan diharapkan dapat beroperasi menggunakan gawai dalam sistem berbasis *android* untuk memenuhi persyaratan *portability*.

KESIMPULAN

Terdapat beberapa dokumen yang harus disusun oleh BAPETEN meliputi TOR dan URD. TOR berisi latar belakang dan proses bisnis SIKN yang menguraikan data flow diagram level 0 dan level 1 proses pengolahan data pada sistem-sistem yang terdapat dalam aplikasi SIKN. Selain TOR, BAPETEN perlu menyusun empat modul aplikasi meliputi modul sistem fasilitas, modul sistem kejadian, modul sistem laporan kejadian, dan modul sistem administrator. Kualitas perangkat lunak disusun mengacu kriteria ISO/IEC 25010.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Manajemen P2STPIBN untuk dukungannya sehingga makalah ini dapat tersusun. Kami haturkan terima kasih kepada Bapak Arifin M.Susanto atas pemberian informasi, saran dan masukan, kepada penulis, dan Tim penilai telah memberikan masukan dan koreksi berharga. Makalah ini merupakan studi pendahuluan, bagian dari keluaran Laporan Hasil Kajian *User Requirement Document* (URD) Sistem Informasi Keselamatan Nuklir TA 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Presiden Nomor 60 tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi. Jakarta. 2019.
- [2] Bourque, P., Dupuis, R., Abran, A., Moore, J. W., & Tripp, L. "The Guide to The Software Engineering Body of Knowledge".in IEEE Software, 16(6).1999.pp 35–44.
- [3] Mulyawan, Made Dwi dkk, "Kualitas Sistem Informasi Berdasarkan ISO/IEC 25010: Literature Review", dalam Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, V.20 (1), mar.2021 DOI: <https://doi.org/10.24843/MITE.2021.v20i01.P02>.
- [4] Fadli H. Wattiheluw dkk, "Klasifikasi Kualitas Perangkat Lunak Berdasarkan ISO/IEC 25010 Menggunakan AHP dan Fuzzy Mamdani Untuk Situs Web E-Commerce" dalam, , Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Vol 17 (1), (Departemen Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019). hal. 73–83.
- [5] Muhammad Andryan Wahyu Saputra dkk, "Survei Teknik-Teknik Pengukuran Kualitas Perangkat Lunak, ILKOMNIKA" dalam Journal of Computer Science and Applied Informatics, Vol. 3(1), 2021. p.11–29, E-ISSN: 2715-2731.
- [6] Wayan Gede Suka Parwita dkk, "Komponen Penilaian Kualitas Perangkat Lunak Berdasarkan Software Quality Models", disampaikan pada Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2012 (Semantik 2012), Semarang.2012. ISBN 979 - 26- 0255 - 0.
- [7] Kartiko, C. "Evaluasi kualitas aplikasi web pemantau menggunakan model pengujian perangkat lunak ISO/IEC 9126". dalam Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), 8(1), 2019) p. 16-23.
- [8] Bourque, P., Dupuis, R., Abran, A., Moore, J. W., & Tripp, L. "The Guide to The Software Engineering Body of Knowledge".in IEEE Software, 16(6).1999.pp 35–44.
- [9] ISO/IEC 25010, "System and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuARE) – System and Software Quality Models", (Canadian Standards Association , 2012)
- [10] Awad, M. A. "A Comparison Between Agile And Traditional Software Development Methodologies"., 30, (University of Western Australia,2005).pp 1-69.
- [11] Despa, M. L. "Comparative Study on Software Development Methodologies".in Database Systems Journal, vol 5(3).2014. pp 37-56.
- [12] Doe, J. "Recommended Practice for Software Requirements Specifications In IEEE", (Midori, New York,2011). York.
- [13] Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. "Design Principles for Industries 4.0 Scenarios". (IEEE Computer Society, 2016)
- [14] Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Jakarta, 2012.
- [15] Update on the Use of International Operating Experience Feedback for Improving Nuclear Safety, Nuclear Regulation, NEA/CNRA/R(2015)1, September 2015.
- [16] Medrilzam."Pembangunan Rendah Karbon Indonesia & Net Zero Emission Menuju Ekonomi Hijau". disampaikan pada Seminar Daring Pertumbuhan Rendah Karbon yang Berkualitas dan Peluang Indonesia untuk Mencapai Netral Karbon Sebelum 2070.),(IESR.Jakarta.2021).
- [17] Raharjo A.B., "Software Engineering. Sistem Informasi Keselamatan Nuklir", disampaikan dalam Rapat Koordinasi BAPETEN - ITS, tanggal 31 Maret 2022, dapat diakses pada <https://cloud.bapeten.go.id/index.php/s/yYnxEWGyqkJ5f3X>.
- [18] Sudana AAKO, Presentasi Software Engineering. Sistem Informasi Keselamatan Nuklir, disampaikan dalam Rapat Koordinasi BAPETEN - Univ Udayana, tanggal 12 Mei 2022, dapat diakses pada <https://cloud.bapeten.go.id/index.php/s/yYnxEWGyqkJ5f3X>.

- [19] International Atomic Energy Agency, IRS Guidelines, Services Series No. 19 Rev. 1, (IAEA, Vienna 2022).
- [20] International Atomic Energy Agency, Manual for IRS Coding, Services Series No. 20 Rev 1, (IAEA, Vienna 2022).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENGAWASAN ASPEK LINGKUNGAN DARI LIMBAH PENCUCIAN FILM RADIOGRAFI PADA KEGIATAN SERTIFIKASI PERSONIL UJI RADIOGRAFI

Widjanarko^{1, a)}, Khusnul Khotimah^{2, b)}

^{1,2}*Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nukli, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, Banten 15314*

^{a)} widjanarko@brin.go.id

^{b)} khus003@brin.go.id

Abstract. Organisasi Riset Tenaga Nuklir Badan Riset dan Inovasi Nasional telah menerapkan standar Sistem Manajemen Lingkungan yaitu SNI ISO 14001:2015 melalui layanan kegiatan sertifikasi personil radiografi Level 1 dan Level 2 di Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan. Salah satu penerapan SNI ISO 14001:2015 pada klausul 4 adalah penetapan keamanan aspek lingkungan. Pelaksanaan ujian sertifikasi personil radiografi berupa ujian tertulis dan ujian praktikum. Dari pelaksanaan ujian praktikum menghasilkan limbah cair dalam proses pencucian film radiografi yang mengandung logam perak (Ag). Limbah yang dihasilkan sekitar 20 liter setiap 3 bulan. Jumlah tersebut perlu pengawasan agar tidak melewati ambang batas pencemaran lingkungan sesuai Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Kesehatan Lingkungan untuk parameter logam perak (Ag) adalah 0,005 mg/l, dan Standar Baku Mutu Tanah sebesar 180 mg/kg. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penerapan aspek lingkungan yang dipersyaratkan SNI ISO 14001:2015 dan PerMenKes RI No 7 Tahun 2019 dalam aktivitas ujian praktikum yang menghasilkan limbah pencucian film radiografi. Metode yang digunakan berupa penelitian kuantitatif dan kualitatif (mix method) jenis sequential explanatory dari data primer hasil ujian praktikum dengan meta analisis (kuantitatif-kualitatif). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa limbah proses film dari kegiatan ujian praktikum sertifikasi personil bisa mencemari lingkungan karena melebihi 0,005 mg/l dan ditindaklanjuti dengan penerapan SNI ISO 14001:2015 dalam keamanan aspek lingkungan agar kadar perak kurang dari 0,005 mg/l.

Kata kunci: Lingkungan, Limbah Pencucian Film, Radiografi

PENDAHULUAN

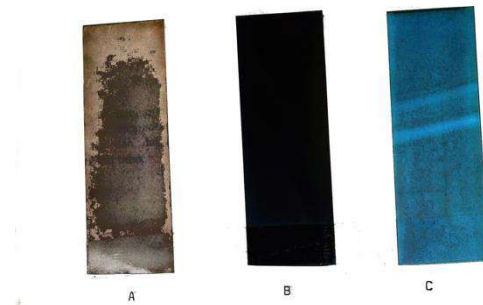
Badan Tenaga Nuklir (BATAN) melalui Unit Standardisasi dan Mutu Nuklir memiliki tugas dan fungsi melakukan kegiatan sertifikasi personil bidang ketenaganukliran dan membentuk lembaga sertifikasi personil bidang uji tak rusak yang disebut dengan Lembaga Sertifikasi Personil (LSP-BATAN) [1]. Namun, sejak meleburnya BATAN dalam Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) di Bulan September 2021, BATAN berganti nama menjadi Organisasi Riset Tenaga Nuklir (OR TN) dan masih tetap menjalankan fungsi layanan sertifikasi personilnya Level 1 dan Level 2.

Dalam pelaksanaan ujian sertifikasi yang terbagi atas ujian tertulis dan ujian praktikum. Pada pelaksanaan ujian praktikum, para peserta sertifikasi personil radiografi Level 1 melakukan pencucian film radiografi yang mengandung logam berat seperti perak (Ag) yang dibuang ke lingkungan. Limbah yang mengandung logam berbahaya bagi lingkungan karena efeknya dalam tubuh manusia berlangsung kumulatif dan bertahap yang sangat berpengaruh terhadap fungsi hati, ginjal dan otak.

Aspek lingkungan menjadi salah satu bagian penting dalam interaksi lingkungan yang sudah diterapkan di ketenaganukliran. Oleh karena itu, melalui penelitian ini perlu dilakukan pengawasan aspek lingkungan dari limbah pencucian film radiografi pada kegiatan sertifikasi uji radiografi untuk mengetahui kondisi pencemaran lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas pencucian film radiografi tersebut. Sebagaimana yang dipersyaratkan dalam Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001:2015 dan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Kesehatan Lingkungan untuk parameter logam perak (Ag).

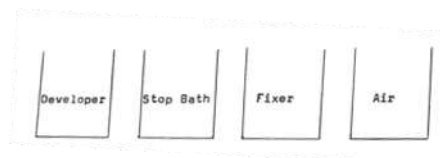
TINJAUAN PUSTAKA

Film radiografi merupakan salah satu bagian penting dalam uji tak rusak bidang radiografi. Film radiografi terdiri dari 3 lapisan, yaitu lapisan dasar, lapisan emulsi dan lapisan pelindung. Lapisan dasar terbuat dari bahan cellulose acetat yang bersifat transparan, fleksibel, ringan dan tidak mudah pecah (*unbreakable*). Pada kedua permukaan bahan dasar ini dilapisi dengan lapisan emulsi yang mengandung senyawa AgBr (Perak Bromida). Untuk melindungi lapisan emulsi agar tidak mudah rusak, maka di atasnya dilapisi lagi dengan suatu lapisan pelindung dari bahan gelatin. Secara umum, film radiografi dapat digambarkan sebagai berikut pada Gambar 1.



GAMBAR 1 Film radiografi

Film radiografi bagian gambar a yaitu contoh film radiografi yang sudah terkena sinar matahari, bagian b adalah contoh film radiografi yang sudah dilakukan *shooting* (penembakan) terhadap material dan dilakukan proses pencucian film pada larutan fixer, dimana pada film bagian b ini menunjukkan bahwa AgBr yang larut adalah bagian film yang terhalang oleh material (warna putih), sedangkan pada bagian c adalah contoh film radiografi yang dilakukan proses pencucian film (tanpa dilakukan *shooting*), AgBr pada seluruh permukaan bagian film ini jika di celupkan ke dalam larutan *fixer* maka akan larut di larutan *fixer*. Banyak sedikitnya logam Ag pada film yang terbentuk tergantung pada intensitas sinar yang mengenainya, makin banyak dikenai sinar maka makin banyak logam Ag yang terbentuk. Logam Ag ini akan membentuk bayangan hitam pada film. Untuk memproses film yang sudah dikenai sinar, maka diperlukan beberapa bahan pemroses yaitu larutan pengembang atau *developer*, *fixer*, *stop bath*, dan air bersih. Semua bahan-bahan pemroses ini ditempatkan pada tangki-tangki pemroses. Tahapan proses film radiografi terdapat dalam Gambar 2.



GAMBAR 2 Tangki proses film radiografi

Film yang telah di *expose* mula-mula dicelup dalam larutan *developer*. Film yang dicelup ini harus sering digoyang-goyang agar larutan *developer* teraduk merata, hingga daya pengembang atau *developingnya* pada semua bagian permukaan film juga akan merata. Proses pencian film ini sebaiknya dilakukan pada suhu 20°C. Bila suhu larutan *developer* ini 20°C, maka pencelupan dilakukan selama 5 menit dan apabila *developer* lebih dari 20°C, maka pencelupan dilakukan kurang dari 5 menit. Hal ini sesuai dengan sifat kimia, bahwa semakin tinggi temperatur maka reaksi akan semakin cepat. Didalam larutan *developer* bagian emulsi yang telah berinteraksi dengan sinar akan tereduksi hingga membentuk bayangan hitam logam Ag. Makin lama berada dalam *developer*, maka film akan makin menjadi hitam karena logam Ag yang terbentuk makin banyak. Apabila suhu larutan *developer* naik, maka reaksi bertambah cepat, sebaliknya bila suhu turun, maka reaksi menjadi lambat dan pembentukan logam akan lambat. Setelah dari *developer*, film dimasukkan dalam *stop bath* yang berisi larutan asam asetat yang sangat encer, yang berguna menghilangkan *developer* yang bersifat basa yang masih membasahi permukaan film. Film dimasukkan dalam larutan *stop bath* selama 1 menit sambil digoyang-goyang. Tahap berikutnya dari proses film ini adalah *fixation*, dimana film dimasukkan dalam larutan *fixer*. Tujuannya ialah untuk menghilangkan senyawa AgBr dalam lapisan emulsi yang belum berinteraksi dengan sinar (yang belum tereduksi), sehingga meninggalkan bayangan hitam sebagai hasil *developing*. Selain itu *fixer* digunakan untuk menguatkan lapisan gelatin. Proses *fixering* ini dilakukan selama 15 menit. Pada proses di *fixer* ini banyak senyawa AgBr yang larut ke dalam larutan *fixer*. Tahap terakhir dari proses film adalah mencuci film dengan air bersih yang mengalir

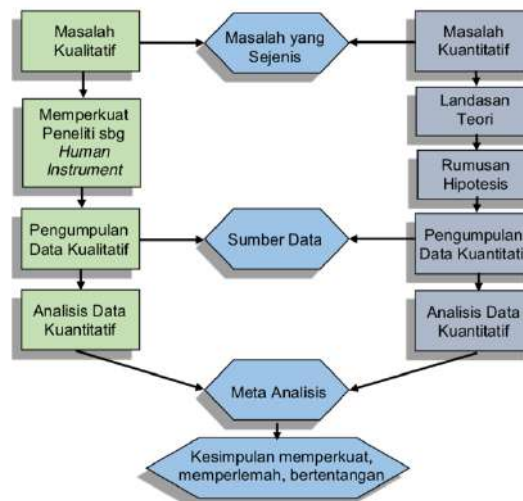
Beberapa regulasi yang mengatur aspek pengawasan lingkungan diantaranya: 1) Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.SK.63/Menlhk/Setjen/PKTL.4/2/2016 tentang Perubahan Izin Lingkungan Kegiatan Operasional Kawasan Nuklir dan Irradiator serta Fasilitas Lainnya disebutkan bahwa Penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan dalam melaksanakan kegiatannya wajib: (1) melakukan pengelolaan

dan pemantauan dampak lingkungan hidup; (2) melakukan pengelolaan dampak dengan pendekatan teknologi, sosial ekonomi dan institusi; (3) melakukan pengelolaan dan pemantauan dampak lingkungan [2], [3]; 2) Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Kesehatan Lingkungan untuk parameter logam perak (Ag) adalah 0,005 mg/l, dan Standar Baku Mutu Tanah sebesar 180 mg/kg [4].

SNI ISO 14001:2015 Tentang Sistem Manajemen Lingkungan melindungi lingkungan dan tanggap terhadap perubahan kondisi lingkungan dalam menyeimbangkan kebutuhan sosial-ekonomi. Standar ini menentukan persyaratan yang memungkinkan suatu organisasi untuk mencapai hasil yang diharapkan yang telah organisasi tetapkan untuk sistem manajemen lingkungannya. Konsep model Rencana (*Plan*) – Lakukan (*Do*) – Periksa (*Check*) – Tindakan (*Act*) (*PDCA*) mendasari pendekatan sistem manajemen lingkungan ini. Model *PDCA* menyediakan proses berulang yang digunakan oleh organisasi untuk mencapai perbaikan berkelanjutan. Hal ini dapat diterapkan untuk suatu sistem manajemen lingkungan dan untuk masing-masing unsur. Dalam klausul 4 poin 4.4 tentang Sistem Manajemen Lingkungan bertujuan untuk mencapai hasil yang diharapkan, termasuk meningkatkan kinerja lingkungannya, organisasi harus menetapkan, menerapkan, memelihara dan memperbaiki suatu sistem manajemen lingkungan secara berkelanjutan, termasuk proses dan interaksinya yang diperlukan, sesuai dengan persyaratan Standar tersebut [5].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian kombinasi (*mix methods*) kuantitatif dengan kualitatif menjadi pilihan dalam penelitian ini [6]. Adapun tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



GAMBAR 3 Tahapan penelitian kombinasi (kuantitatif dan kualitatif)

Instrumen pengumpul data pada penelitian ini menggunakan metode kombinasi model *sequential explanatory*, yakni metode kuantitatif pada tahap 1 dari data limbah radiografi yang dilakukan hasil praktikum dan metode kualitatif pada tahap 2 untuk memperluas, memperdalam, membuktikan hasil kuantitatif. Sampel dalam penelitian ini adalah limbah padat cair radiografi. limbah cair berupa larutan bekas cucian film yang banyak mengandung logam perak. Untuk mengetahui kadar perak yang terkandung pada larutan pemroses film yaitu larutan *fixer* dari hasil kegiatan praktikum sertifikasi personil radiografi adalah dengan pengambilan data menggunakan film Radiografi yang telah diproses dengan film berukuran 4" x 10" dengan material yang diradiografi adalah pipa dengan ukuran 2". Teknik Radiografi yang dipakai adalah DWDV (*Double Wall Double Viewing*) atau *ellips*. Sebanyak 10 buah pipa dengan rata rata dimensi yang diukur adalah diameter dalam, diameter luar, tebal pipa, tinggi las, lebar las. Film Radiografi yang digunakan adalah Rilm Agfa D7

HASIL DAN PEMBAHASAN

Larutan *fixer* terdiri dari komposisi Natrium Thiosulfat dan Amonium Thiosulfat. Bagian film yang tidak berinteraksi dengan sinar gelombang radiasi, jika dicelupkan ke dalam larutan *fixer* ini maka lapisan perak bromidanya akan larut pada larutan *fixer* sehingga dengan larutnya larutnya perak bromide pada larutan *fixer*, menjadikan limbah *fixer* mengandung *silver thiosulfate*, *silver halide* dan *silver sulfite*. Limbah yang mengandung logam berat ini akan berbahaya jika pembuangannya dalam jumlah banyak dan tidak dikelola dengan baik karena bisa menjadi pencemaran terhadap lingkungan.

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh adanya logam berat berakibat pada Kesehatan manusia, tata kehidupan, pertumbuhan flora dan fauna yang berada dalam jangkauan pencemaran [3] Efek logam berat dalam tubuh manusia berlangsung kumulatif dan bertahap yang sangat berpengaruh pada fungsi hati, ginjal dan otak [2]. Hasil praktikum kegiatan sertifikasi personil radiografi terdapat dalam Tabel 1.

TABEL 1. Kadar perak hasil pencucian radiografi

Jumlah film (lembar)	Kadar perak pada limbah fixer (mg/l)	Kadar perak rata-rata tiap lembar film (mg/l)
100	16,93	0,1693
110	17,05	0,155
126	22,24	0,1765
144	25,31	0,1757
150	26,36	0,1507
200	32,44	0,1622
250	38,35	0,1534
300	45,03	0,1501

Dari tabel 1 diperoleh informasi secara kuantitatif bahwa makin banyak film yang diproses, makin banyak pula kandungan perak di dalamnya. Di dalam limbah *fixer* yang telah memproses 100 lembar film radiografi mengandung kadar perak sebesar 16,93 mg/l. Sehingga dapat diketahui rata rata tiap lembar film Radiografi mengandung 0,1693 mg/l. Beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah perak yang terlarut dalam larutan *fixer* selain dimensi pipa, juga terdapat parameter lainnya seperti lamanya proses penembakan, jarak sumber radiasi dengan film, lamanya pemrosesan film di bak pemroses film. Limbah *fixer* bekas proses kegiatan Radiografi ini jika dibuang langsung ke lingkungan maka akan mencemari lingkungan karena kadar perak yang diizinkan adalah sebesar 0,005 mg/l [4].

Bukti penerapan SNI ISO 14001 tersebut dianalisis secara kualitatif melalui siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) meliputi tahap rencana (*Plan*) yakni adanya peran manajemen puncak dalam memperagakan kepemimpinan dan komitmennya yang tercantum dalam dokumen komitmen integritas sistem manajemen terhadap sistem manajemen lingkungan dengan membuat kebijakan dan menetapkan sasaran agar kegiatan sertifikasi radiografi tidak mencemari lingkungan. Upaya komitmen tersebut dibuktikan dengan tahap lakukan (*Do*) menyediakan sumberdaya manusia berupa personil yang kompeten dan tersertifikasi dengan kelengkapan SIB (Surat Izin Bekerja) dalam menangani lingkungan dan sarana prasarana yang memadai dalam mengelola limbah radiografi. Tahap periksa (*Check*) dengan melakukan pemantauan dan mengukur hasil aktivitas limbah dari praktikum kegiatan sertifikasi radiografi, serta tahap tindak (*Act*) melalui perbaikan berkelanjutan. Oleh sebab itu limbah radiografi telah di tangani secara terencana dan di kelola dengan baik yaitu dengan mengirim limbah radiografi ke unit pengelolaan limbah B3 secara periodik ke Pusat Riset dan Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif (PRTDBBNLR) OR TN BRIN yaitu bagian yang mempunyai tugas fungsi mengelola Limbah B3. Pada dokumen aspek lingkungan telah menghasilkan nilai dengan kategori aspek penting, karena limbah radiografi telah di tangani secara terencana dan di kelola dengan baik yaitu dengan mengirim limbah radiografi ke unit pengelolaan limbah B3 secara periodik sehingga menjalankan pengawasan aspek lingkungan dari limbah pencucian film radiografi pada kegiatan sertifikasi personil uji radiografi yang dipersyaratkan pada SNI ISO 14001:2015 dan regulasi PerMenkes.

KESIMPULAN

Pengawasan aspek lingkungan dari limbah pencucian film radiografi pada kegiatan sertifikasi personil uji radiografi telah dijalankan sesuai dengan persyaratan pada SNI ISO 14001:2015 dan regulasi PerMenkes. Kadar perak yang dihasilkan pada kegiatan praktikum sertifikasi personil radiografi rata-rata melebihi 0,005 mg/l sehingga perlu dilakukan pengawasan. Bukti pengawasan melalui penerapan SNI ISO 14001:2015 yang tercantum dalam dokumen komitmen integritas sistem manajemen terhadap sistem manajemen lingkungan dengan membuat kebijakan dan menetapkan sasaran agar kegiatan sertifikasi radiografi tidak mencemari lingkungan. dalam siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA).

UCAPAN TERIMA KASIH

Segecap pegawai layanan sertifikasi personil radiografi level 1 dan 2 Organisasi Riset dan Tenaga Nuklir Badan Riset dan Inovasi Nasional

DAFTAR PUSTAKA

- [1] LSP BATAN (2020). Pedoman Mutu. Tangerang Selatan: PSMN BATAN
- [2] Kusnoputro. (2009). Pencegahan dan Pengendalian Pencemaran Industri. Jakarta: Pustaka Sinar Harapan
- [3] Achmad R. (2004). Kimia Lingkungan. Andi Offset: Yogyakarta
- [4] Menteri Kesehatan RI. (2019). Peraturan Menteri Kesehatan RI No 7 Tahun 2019 Tentang Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Kementerian Kesehatan

- [5] BSN. (2016). Sistem manajemen lingkungan – Persyaratan dengan panduan penggunaan Environmental management systems – Requirements with guidance for use (ISO 14001:2015, IDT). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [6] Creswell, J.W. (2013). Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed. Terjemahan Fawaid, A. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENDEKATAN SIRKULAR NIRLIMBAH UNTUK HASIL SAMPING INDUSTRI PENGOLAHAN MINERAL

Farid Noor Jusuf^{1, a)}

¹Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jalan Gajdah Mada No. 8 Jakarta Pusat, 10120

^{a)} f.jusuf@bapeten.go.id

Abstract. Untuk mewujudkan visi Indonesia 2045, sumber daya alam akan berperan penting. Bertambahnya penduduk dunia, pertumbuhan ekonomi, serta modernisasi akan meningkatkan permintaan sumber daya alam dan menciptakan persaingan antar negara. Logam tanah jarang merupakan mineral yang akan memiliki penting dalam pertumbuhan ekonomi. Konsumsi logam tanah jarang diproyeksikan meningkat secara signifikan mengikuti perubahan dalam pola masyarakat modern. Logam tanah jarang digunakan secara luas pada peralatan yang menggunakan teknologi tinggi, medis, militer dan energi baru dan terbarukan. Pengembangan hilirisasi logam tanah jarang dapat menjadi suatu jalan dalam upaya untuk mengurangi dampak dari hasil samping dan sekaligus mendorong pertumbuhan ekonomi serta pengungkit dalam mewujudkan Visi Indonesia 2045. Tapi, dengan adanya Uranium dan Thorium yang bersamaan dengan logam tanah jarang, hasil samping digolongkan menjadi mineral ikutan radioaktif, sehingga hilirisasi logam tanah jarang perlu dilakukan dengan menerapkan prinsip yang menghilangkan potensi ancaman bahaya radiasi pengan dalam rangkaian proses pengolahan untuk produksi tanah jarang. Pengembangan hilirisasi dengan pendekatan sirkular nirlimbah terutama dalam minimisasi limbah dan pemenuhan baku mutu lingkungan serta meminimalkan paparan radiasi dan kontaminasi yang timbul, dapat menurunkan potensi kerusakan lingkungan hidup dan menciptakan pembangunan berkelanjutan. Penerapan pendekatan sirkular nirlimbah untuk pengolahan mineral diusulkan menjadi rantai dalam pengolahan mineral, seperti cassiterite sehingga hasil samping yang tersebar di Kepulauan Bangka Belitung dapat tertangani dengan tujuan utama menghilangkan risiko ancaman bahaya radiasi dan mengubah pola pemikiran penimbulan terhadap hasil samping. BAPETEN telah menerbitkan peraturan perundang-undangan yang komprehensif dalam mendukung pengembangan hilirisasi industri tanah jarang yaitu perizinan berusaha untuk pengolahan dan penyimpanan mineral ikutan radioaktif. Peraturan perundang-undangan disusun berdasarkan pada penyediaan perlindungan yang efektif bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup terhadap bahaya radiologi dan nonradiologi yang dihasilkan dari kegiatan pengolahan dan penyimpanan mineral ikutan radioaktif

PENDAHULUAN

Berdasarkan Pembukaan UUD 1945, visi Indonesia 2045 adalah berdaulat, maju, adil dan makmur, diharapkan dapat mewujudkan kesejahteraan dengan menjadikan Indonesia sebagai kekuatan ekonomi dunia yang ke-5 dan menjadi negara dengan pendapatan tinggi sekitar USD 23.300. Pertumbuhan manufaktur diharapkan berada pada rata-rata 6.3% yang akan menyumbang 26% PDB dengan menciptakan struktur ekonomi Indonesia akan menuju pada sektor industri yang memiliki nilai tambah tinggi. Fokus arah pembangunan dilakukan terhadap ketahanan ekonomi, infrastruktur untuk ekonomi dan lingkungan hidup. [1]

Pertumbuhan ekonomi dan industri nasional dalam mewujudkan visi Indonesia 2045 akan membutuhkan sumber daya alam dan energi dalam jumlah besar. Industri yang akan menjadi pengungkit untuk menuju kekuatan ekonomi dunia yang ke-5 akan memerlukan pasokan bahan baku dari hulu ke hilir yang terintegrasi dan diharapkan akan menjadi pemain utama dalam rantai nilai global. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, sumber daya alam baik untuk bahan baku maupun sumber energi perlu dikelola secara efisien dan berkelanjutan untuk memastikan pemenuhan kebutuhan terhadap sumber daya alam dan dukungan fungsi lingkungan hidup baik generasi sekarang dan mendatang.

Pertambahan penduduk dunia yang diikuti dengan pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat, dan perubahan pola hidup yang menjadi lebih modern akan meningkatkan konsumsi produk industri yang disertai dengan peningkatan terhadap kebutuhan sumber daya alam termasuk energi. Kebutuhan yang tinggi terhadap sumber daya alam akan menimbulkan persaingan untuk memperebutkan kekayaan sumber daya alam terhadap negara-negara penghasil bahan mentah dan energi, sehingga menimbulkan terjadinya eksploitasi secara besar-

besaran. Eksploitasi sumber daya alam yang dilakukan secara besar-besaran dalam memenuhi permintaan diperkirakan akan dapat menyebabkan degradasi fungsi lingkungan hidup dan menyebabkan generasi mendatang akan menanggung dampak.

Dalam tulisan ini akan diuraikan upaya untuk melakukan pengelolaan yang efisien secara sirkular nirlimbah dari sumber daya mineral: *cassiterite*. Pengolahan mineral *cassiterite* akan menghasilkan mineral utama timah dan hasil samping olahan berupa mineral ikutan radioaktif. Di Kepulauan Bangka Belitung, timbunan hasil samping dari pengolahan mineral *cassiterite* banyak tersebar dengan kondisi yang tidak memadai baik proteksi radiasi dan perlindungan lingkungan hidup. Hasil samping tersebut memiliki potensi bahaya radiasi pengion dan toksistas logam yang menimbulkan ancaman bahaya bagi masyarakat dan lingkungan hidup, sebagai contoh angka stunting pada anak yang tinggi. Umumnya hasil samping dianggap tidak memiliki nilai ekonomis karena mineral utamanya telah diambil sehingga penyimpanan atau penimbunan akhir yang dilakukan menjadi beban bagi pelaku usaha pengolahan dan ditinggalkan di lokasi penambangan. Kandungan dalam hasil samping pengolahan *cassiterite* mengandung logam tanah jarang serta uranium dan thorium yang dapat menjadi bahan baku dan sumber energi yang menjadi penggerak ekonomi.

Studi dalam rangan penulisan pendekatan sirkular nirlimbah untuk hasil samping pengolahan mineral dilakukan melalui studi lapangan dengan melakukan kunjungan dan diskusi pelaku usaha pengolahan mineral dan studi pustaka dengan tahapan pengumpulan dan penelaahan literatur, analisis, diskusi dan penyusunan tulisan.

LOGAM TANAH JARANG

Logam tanah jarang (LTJ) merupakan mineral yang dapat menjadi ‘*game changer*’ dalam pertumbuhan ekonomi. Konsumsi LTJ akan terus meningkat secara signifikan mengikuti perubahan dalam pola masyarakat modern yang menuju ke digitalisasi dan energi hijau. LTJ digunakan secara luas untuk peralatan yang menggunakan teknologi tinggi, medis, militer dan energi baru dan terbarukan, seperti turbin listrik untuk pembangkit angin, kendaraan listrik, lampu hemat energi dan konverter katalis. Keterbatasan logam tanah jarang di tengah iklim perkembangan ekonomi digital dan hijau telah memicu kekhawatiran terhadap rantai pasokan global. Kekhawatiran terhadap kelangkaan pasokan LTJ semakin meningkat karena pembatasan ekspor LTJ dari produsen utama Cina yang mengakibatkan produksi chip semikonduktor terganggu yang mengakibatkan beberapa industri menjadi terhambat dalam melakukan produksinya seperti otomotif perangkat elektronik.

LTJ mempunyai karakteristik yang sangat baik untuk elektronik, optik, katalisis dan magnetik. [2]. Diperkirakan kebutuhan dunia oksida LTJ per tahun sampai dengan 50.000 ton [2]. Menurut Connely (2005) [3], disebutkan LTJ terdiri atas unsur yang termasuk dalam kelompok lantanida serta skandium dan itrium. Uni Eropa telah menggolongkan logam-logam yang termasuk dalam LTJ sebagai *critical metal*. [4]

Upaya untuk memastikan ketersediaan pasokan LTJ yang dapat menjadi pengungkit untuk pertumbuhan ekonomi dalam mewujudkan visi Indonesia 2045 perlu dilakukan. Mineral tanah jarang yang banyak diolah untuk produksi tanah jarang antara lain: bastnasite, monasit dan senotim. [5] Monasit merupakan salah satu mineral penting yang menjadi sumber dari LTJ [5] Di Indonesia, khususnya Bangka-Belitung, monasit dan senotim ditemukan pada hasil samping pengolahan mineral *cassiterite* untuk produksi timah, selain zirkon dan ilmenit. Kegiatan pertambangan *cassiterite* yang dilaksanakan menimbulkan hasil samping dalam jumlah yang sangat besar dan mengancam fungsi lingkungan hidup. Dari cuplikan yang diambil pada hasil samping diperoleh informasi kandungan monasit sekitar 1.55-21.23 wt% dan senotime 0.79-17.55 wt%, selain itu terdapat juga kandungan Uranium 0.01-0.16 wt% dan Thorium 0.04-1wt% [6]

Selain dari hasil pengolahan *cassiterite* untuk produksi timah, Indonesia memiliki potensi lainnya sebagai sumber LTJ, yaitu *red mud* yang merupakan hasil samping dari pengolahan bauksit [7] sebagai contoh hasil samping pengolahan bauksit di Tayan Kalimantan Barat diperkirakan 300-350 kton *red mud* yang mengandung Ga, Ce, Sc, Pr, Gd, dan Tb dalam jumlah yang signifikan serta U dan Th. [8] Dengan adanya Uranium dan Thorium yang bersamaan dengan LTJ, hasil samping digolongkan menjadi mineral ikutan radioaktif dan memiliki potensi bahaya radiasi pengion.

POTENSI BAHAYA RADIASI PENGION DALAM INDUSTRI PENGOLAHAN

Pengolahan Monasit di Brazil

Pada tahun 1949 didirikan pabrik pengolahan monasit yang difungsikan untuk menghasilkan *lanthanide chloride* dan *tri sodium phosphate* di kota Sao Paulo Brazil. Dari pengolahan yang dilakukan limbah yang dihasilkan antara lain [9]:

- Mineral ringan dengan aktivitas konsentrasi 170-320 Bq/g dari pemurnian secara fisik
- *The cake* dengan aktivitas konsentrasi 1820 Bq/g dari pengolahan dengan metode basa dihasilkan sekitar 30.000 ton dihasilkan per tahunnya. *The cake* merupakan keluaran dari pengolahan basa monasit.
- *Mesothorium cake* dengan aktivitas konsentrasi 4360 Bq/g pada tahap akhir pengolahan 100.000 ton dihasilkan per tahunnya

Limbah yang dihasilkan dari hasil pengolahan disimpan dengan tidak mempertimbangkan dampak adanya unsur radioaktif dan tidak menerapkan upaya keselamatan sehingga efluen cair dapat terlepas ke lingkungan dan menimbulkan kontaminasi tanah di sekitar. Selain itu mineral ringan digunakan sebagai media penimbunan. [9]

Polusi radioaktif di atmosfer di Cina

Dalam penelitian yang dilakukan terhadap kegiatan pertambangan untuk LTJ di China, diperoleh informasi bahwa konsentrasi aktivitas dari Th^{232} lebih tinggi pada kegiatan pengolahan dibandingkan dengan penambangan. Tingginya konsentrasi pada kegiatan pengolahan diperkirakan dari kegiatan proses pengolahan bijih yang dilakukan. Kandungan konsentrasi Th^{232} dapat menyebar sampai dengan jarak 15 km. Penyebaran Th^{232} menimbulkan potensi bahaya kepada masyarakat yang berada di sekitar kegiatan pengolahan. [10]

Pengolahan amang di Malaysia

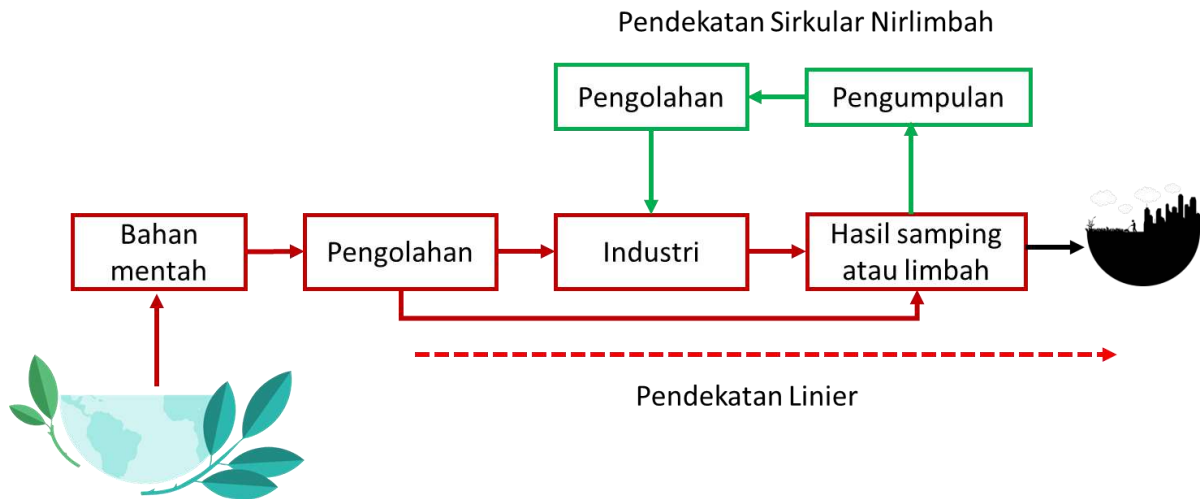
Amang merupakan istilah lokal di Malaysia untuk hasil samping dari pengolahan *cassiterite*. Amang diketahui memiliki kandungan mineral yang bernilai tinggi sehingga menarik untuk diolah lebih lanjut. Dengan tidak menerapkan upaya keselamatan terhadap bahaya paparan radiasi pengion mengakibatkan timbulnya paparan yang tinggi kepada pekerja dan kontaminasi pada lingkungan disekitar pada tanah dan badan air. Para pekerja dengan mempertimbangkan dampak dari inhalasi diperkirakan menerima dosis 5 mSv per hari. [11]

PENDEKATAN SIRKULAR NIRLIMBAH

Pertambangan *cassiterite* untuk produksi timah telah dimulai dari abad ke-18 di Kepulauan Bangka-Belitung dan berlangsung sampai dengan sekarang. [12]. Seiring dengan waktu masalah hasil samping yang ditimbulkan pengolahan *cassiterite* menjadi bertambah banyak dan makin sulit untuk ditangani. Langkah untuk melakukan penimbunan menjadi pilihan yang dipertimbangkan untuk menyelesaikan masalah penumpukan hasil samping atau sisa dari pengolahan mineral seperti monasit atau *red mud*.

Upaya perlu dilakukan untuk dapat mengurangi dampak dari hasil samping yang telah tersebar di kepulauan Bangka Belitung dan mengubahnya menjadi sesuatu yang memiliki nilai tinggi. Pengembangan hilirisasi LTJ di Indonesia dapat menjadi suatu jalan dalam upaya untuk mengurangi dampak dari hasil samping dan sekaligus memberikan keuntungan ekonomi yang sangat tinggi dan dapat menjadi pengungkit untuk mewujudkan visi Indonesia 2045, karena LTJ akan menjadi komoditas yang penting dan sangat dibutuhkan dalam industri maju dan kehidupan modern.

Pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup perlu untuk beralih dari pendekatan linier terbuka bahan mentah, diolah, dan limbah yang ditimbus menuju pendekatan yang dengan pola sirkular nirlimbah. Dalam pendekatan linier, kegiatan pengolahan atau produksi yang tidak dilakukan secara efisien akan menimbulkan hasil samping atau limbah dalam jumlah besar dengan kandungan berbahaya seperti radiasi pengion atau toksisitas logam. Hasil samping atau limbah umumnya memiliki tujuan akhir disposal atau penimbunan. Kebutuhan sumber daya alam di masa mendatang akan dapat diatasi apabila menggunakan pola sirkular nirlimbah dengan melakukan pemanfaatan sumber daya alam secara efisien. Pola sirkular nirlimbah akan dapat menciptakan suatu kegiatan proses produksi yang bercirikan *closing the loop* melalui implementasi konsep 5R (*reduce, reuse, recycle, recovery, revalue*). Pendekatan sirkular nirlimbah dapat dimulai dengan pengumpulan hasil samping atau limbah untuk menentukan skala ekonomi dari industri pengolahan. Industri pengolahan akan melakukan *recycle*, pengambilan (*recovery*), pemisahan, pengolahan dan peningkatan nilai (*revalue*) dari hasil samping atau limbah menjadi beberapa kali lipat, misalnya LTJ yang akan memiliki nilai berlipat apabila dibandingkan dengan hasil samping *cassiterite* yang belum diolah dan mengurangi (*reduce*) hasil samping atau limbah yang timbul. Sumber daya alam yang diambil dari bumi akan termanfaatkan secara optimal dan efisien melalui pendekatan sirkular nirlimbah, serta konservasi dan pemenuhan kebutuhan sumber daya alam di masa mendatang akan tetap terjaga. Penerapan pola sirkular nirlimbah seperti ditunjukkan pada Gambar 1 untuk kegiatan produksi akan dapat menciptakan pola reinvestasi yang lebih kompetitif dan berkelanjutan yang mempertahankan fungsi lingkungan hidup karena limbah yang dihasilkan dapat menjadi minimal.



GAMBAR 1. Pendekatan sirkular nirlimbah yang menciptakan suatu kalang tertutup dalam pengelolaan sumber daya alam.

Keberadaan kandungan thorium dan uranium dalam hasil samping monasit atau *red mud* akan menimbulkan potensi bahaya untuk pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup karena adanya bahaya radiasi pengion. Hilirisasi pengolahan untuk produksi LTJ menghadapi tantangan terkait dengan masalah pada lingkungan hidup dan kesehatan khususnya kehadiran bahaya paparan radiasi dan kontaminasi yang dapat timbul saat melakukan aktivitas pekerjaan. Proses pengolahan untuk produksi LTJ akan dapat meningkatkan potensi terjadi paparan radiasi pengion dan lepasan zat radioaktif ke lingkungan dan masyarakat seperti yang terjadi di Brasil, Tiongkok dan Malaysia yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya. Pencemaran dan kotaminasi baik melalui udara, air dan tanah dapat menjangkau mikroorganisma, hewan, dan tumbuhan yang ada di lingkungan dan dapat masuk dalam pasokan rantai makan masyarakat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

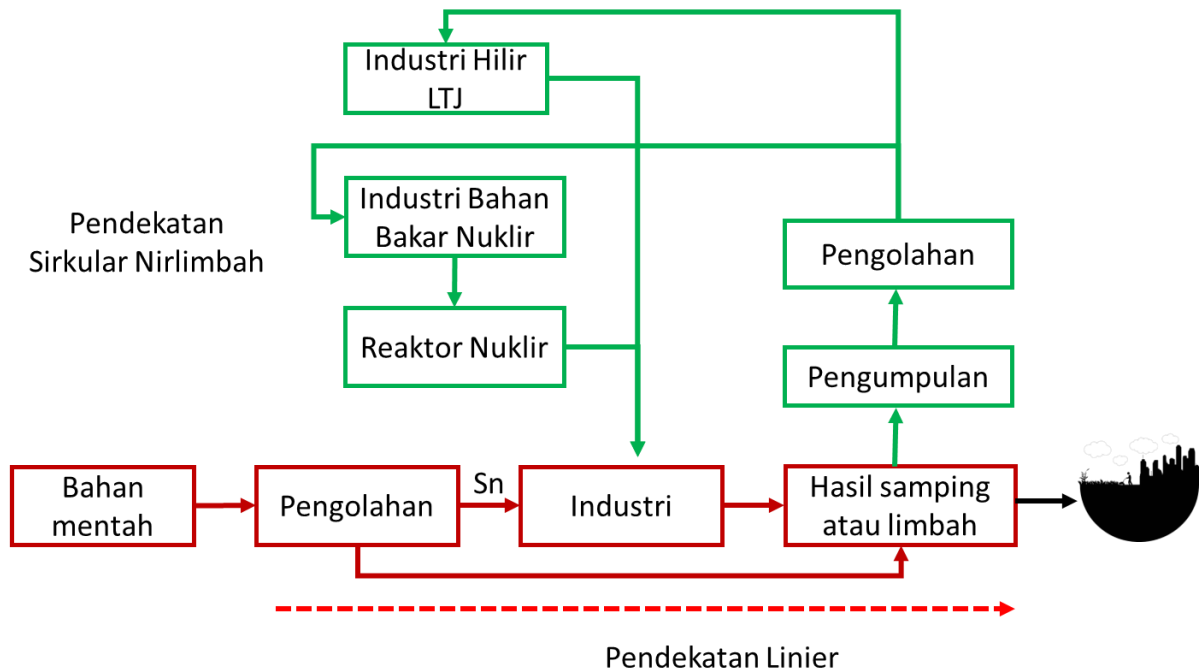


GAMBAR 2. Alur konseptual potensi bahaya dari radiasi pengion dari industri pengolahan tanah jarang yang dapat menjangkau rantai makanan di lingkungan hidup dan masyarakat.

Pengembangan hilirisasi LTJ khususnya pengolahan terhadap monasit atau *red mud* yang merupakan hasil samping dari pertambangan mineral utamanya, perlu dilakukan dengan menerapkan prinsip bahwa dapat mengurangi atau menghilangkan potensi ancaman bahaya radiasi pengion dan kontaminasi. Upaya tersebut perlu dilakukan dengan menerapkan strategi yang efektif dalam mengurangi potensi yang dapat timbul. Hilirisasi LTJ perlu dilakukan dengan fokus utama untuk proses produksi yang efisien dan nirlimbah, pemenuhan baku mutu lingkungan serta meminimalkan paparan radiasi dan kontaminasi yang timbul, sehingga menurunkan risiko kerusakan fungsi lingkungan hidup dan mewujudkan pola pembangunan yang berkelanjutan, yaitu pembangunan untuk pemenuhan kebutuhan baik generasi sekarang maupun generasi mendatang.

Penerapan pendekatan sirkular nir limbah untuk pengolahan *cassiterite* diusulkan menjadi rantai dalam pengolahan *cassiterite* sehingga hasil samping yang tersebar di Kepulauan Bangka Belitung dapat tertangani dengan tujuan utama menghilangkan risiko ancaman bahaya radiasi dan toksisitas logam dan juga mengubah pola pemikiran lama yaitu penimbunan terhadap hasil samping. Dengan menggunakan pendekatan sirkular nirlimbah terhadap hasil samping yang selama ini dianggap tidak memiliki nilai lagi karena mineral utamanya seperti timah atau bauksit telah diambil, dapat menjadi sumber daya yang memiliki potensi bernilai tinggi yang dapat direalisasikan. Pendekatan sirkular nirlimbah akan mengubah pola linier pemanfaatan sumber daya alam dengan mengubah arah penimbunan sebagai akhir dari penyelesaian penanganan hasil samping dari pengolahan *cassiterite* menjadi sebagai bahan baku untuk industri lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, hilirisasi logam tanah jarang dan industri nuklir. Kandungan uranium dan thorium dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam reaktor nuklir, selain dapat menghasilkan listrik, panas dari pembangkit dapat digunakan produksi hidrogen dan air bersih, industri semen, kertas atau farmasi serta digunakan dalam produksi radiofarmaka. Apabila dilanjutkan lagi pola sirkular nirlimbah terhadap industri nuklir, olah ulang bahan bakar nuklir yang teriradiasi dapat dilakukan untuk mengambil bahan fisil untuk menjadi bahan bakar nuklir dan mengurangi potensi bahaya limbah radioaktif tingkat tinggi. Melalui pendekatan sirkular nirlimbah akan dapat

mengurangi bahaya radiasi pengion dan toksisitas logam pada material yang digunakan untuk penimbusan dan dapat mengurangi penurunan fungsi lingkungan hidup.



GAMBAR 3. Pola pendekatan nir limbah untuk penanganan hasil samping dari industri pengolahan yang akan memberikan nilai berlipat-lipat apabila dibandingkan dengan pola linier yang berakhir pada penimbusan.

Hilirisasi LTJ diharapkan dapat mendorong pertumbuhan pendapatan melalui pertambahan nilai yang berlipat lipatan dan menciptakan lapangan kerja baru pada industri hilir yang juga akan mendukung perkembangan industri digital dan hijau, sekaligus mengurangi risiko kerusakan lingkungan dan mewujudkan suatu keseimbangan antara ekonomi dan lingkungan hidup. Untuk mewujudkan hilirisasi LTJ dengan penerapan pendekatan sirkular nirlimbah sehingga pertumbuhan ekonomi dan penciptaan lapangan kerja yang luas yang sekaligus dapat melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi pengion, BAPETEN telah menerbitkan peraturan perundang-undangan yang komprehensif untuk dapat mendukung pengembangan hilirisasi industri tanah jarang yaitu perizinan berusaha untuk pengolahan dan penyimpanan mineral ikutan radioaktif. Peraturan perundang-undangan disusun berdasarkan pada penyediaan perlindungan yang efektif bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup terhadap bahaya radiologik dan nonradiologik yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan bahan galian nuklir termasuk mineral ikutan radioaktif. Melalui kebijakan tersebut, telah ditetapkan beberapa peraturan perundang-undangan seperti ditunjukkan Gambar 4.



GAMBAR 4. Peraturan Perundang-undangan untuk perizinan berusaha dalam pengolahan dan penyimpanan mineral ikutan radioaktif.

Melalui Peraturan Pemerintah Nomor 5 tahun 2021 [13] yang merupakan amanah dari Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 [14] diuraikan persyaratan perizinan untuk pengolahan mineral ikutan radioaktif. Pengolahan mineral ikutan radioaktif dimaksudkan untuk mengambil uranium atau thorium yang terdapat misalnya pada hasil samping dari pengolahan *cassiterite* untuk dapat diolah lebih lanjut menjadi bahan bakar nuklir. Dengan telah diambilnya atau dipisahkan uranium dan thorium, pengolahan hilirisasi dari logam tanah jarang akan menjadi bebas dari bahaya radiasi pengion karena zat radioaktif yang ada bersama-sama dengan logam tanah jarang telah diambil.

Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 [13] menguraikan pengolahan mineral ikutan radioaktif dalam ruang KBLI 07210 dan penyimpanan mineral ikutan radioaktif dalam ruang KBLI 52107. Persyaratan teknis

dalam Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 diuraikan lebih rinci dalam Peraturan BAPETEN Nomor 3 Tahun 2021 [15] yang menguraikan secara rinci standar kegiatan usaha dalam perizinan berusaha, termasuk dalamnya pengusahaan untuk pengolahan dan penyimpanan mineral ikutan radioaktif. Untuk penatalaksanaan dalam proses perizinan berusaha diatur dalam Peraturan BAPETEN Nomor 1 Tahun 2022 [16] yang menguraikan tata cara perizinan baik pengolahan maupun penyimpanan mineral ikutan radioaktif dan persetujuan penting yang terkait keselamatan antara lain apabila akan melakukan perubahan desain atau modifikasi, pembuangan permanen dan dekomisioning pertambangan.

KESIMPULAN

Pemanfaatan sumber daya alam secara efisien dan keberlanjutan akan menjadi modal yang penting bagi perekonomian Indonesia agar terus tumbuh berkembang dan maju dalam jangka panjang. Pertambahan penduduk yang semakin tinggi diikuti pertumbuhan ekonomi, dan pola hidup yang modern akan menyebabkan peningkatan kebutuhan sumber daya alam dan perebutan sumber daya alam antar negara, sebagai contoh kebutuhan terhadap LTJ yang dibutuhkan pada industri digital atau energi hijau, serta kebutuhan terhadap sumber energi. Pola pendekatan linier dari bahan mentah, diolah, produk, limbah atau hasil samping yang berakhir dengan penimbunan telah menjadi praktik yang umum dilakukan dalam pengolahan *cassiterite*. Timbunan atau tumpukan dari hasil samping pengolahan *cassiterite* yang banyak tersebar di Kepulauan Bangka Belitung. Hasil samping dari pengolahan *cassiterite* yang mengandung uranium dan thorium secara bersamaan dengan LTJ, digolongkan menjadi mineral ikutan radioaktif dan memiliki potensi bahaya radiasi pengion dalam hilirisasi LTJ. Pencemaran dan kontaminasi baik pada udara, air dan tanah dengan zat radioaktif dapat terjadi yang menjangkau mikroorganisma, hewan, dan tumbuhan yang ada di lingkungan dan dapat mengancam pasokan untuk rantai makan masyarakat.

Hilirisasi yang dilakukan pada LTJ perlu dilakukan dengan menerapkan prinsip mengurangi atau menghilangkan ancaman bahaya radiasi pengion termasuk kontaminasi dari kandungan uranium dan thorium, dengan menerapkan strategi yang efektif, berwawasan lingkungan, meminimalkan limbah, pemenuhan baku mutu lingkungan. Penerapan pendekatan sirkular nirlimbah untuk pengolahan mineral *cassiterite* perlu menjadi bagian dari rantai proses. Hasil samping yang tersebar akan dapat tertangani dengan tujuan utama menghilangkan risiko ancaman bahaya radiasi dan mengubah pola pemikiran lama yaitu penimbunan terhadap hasil samping. Pendekatan sirkular nirlimbah menjadikan hasil samping pengolahan menjadi bahan baku pada industri lainnya dan akan meningkatkan nilai dari hasil samping menjadi berlipat, seperti memenuhi kebutuhan energi, radiofarmaka dan memasok industri LTJ. Pendekatan sirkular nirlimbah akan dapat mengurangi potensi bahaya radiasi pengion dari hasil samping pengolahan karena uranium dan thorium yang terdistribusi dalam hasil samping dapat diambil untuk digunakan menjadi bahan bakar nuklir. Untuk mewujudkannya pola pendekatan sirkular nirlimbah, BAPETEN telah menerbitkan peraturan perundang-undangan yang komprehensif untuk mendukung pengembangan hilirisasi industri tanah jarang melalui perizinan berusaha untuk pengolahan dan penyimpanan mineral ikutan radioaktif.

REFERENSI

- [1] Kementerian PPN/BAPPENAS, Indonesia 2045: Berdaulat, Maju, Adil, dan Makmur, 2019
- [2] B. Zhou, L. Zhongxue dan C. Congcong, Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies, *Minerals* 7(11) pp. 1–14, 2017
- [3] N.G. Connely, T. Damhus, R.M. Hartshorn, dan A.T. Hutton, *Nomenclature Of Inorganic Chemistry- International Union of Pure and Applied Chemistry*, RSC Publishing, 2005
- [4] , Critical raw materials for the EU. 2010 – Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Raw Materials Supply Group, Brussels, June 2010
- [5] Y. Kanazawa, Y dan Kamitani, M. Rare earth minerals and resources in the world. *Journal of Alloys and Compounds*. 408–412, 1339–1343. 2006
- [6] K. Zglinicki, R. Matek, K. Szamałek, dan S. Wołkiewicz, Mining Waste as a Potential Additional Source of HREE and U for the European Green Deal: A Case Study of Bangka Island (Indonesia). *Minerals* 2022, 12, 44. 2022
- [7] E. Dedy, E. Mouchos, K. Goodenough, B. Williamson, dan F. Wall, Rare Earth Elements in Karst-Bauxites: a Novel Untapped European Resource? ERES2014 1st Eur. Rare Earth Resour. Conf., Milos, Greece, 4–7 Sept. 2014
- [8] R. Damayanti dan H. Kaherunissa, Composition And Characteristics Of Red Mud: A Case Study On Tayan Bauxite Residue From Alumina Processing Plant At West Kalimantan, Retno Damayanti And Herni Khaerunissa, *Indonesian Mining Journal* Vol. 19, No. 3, October 2016 : 179 – 190, 2016
- [9] D.d C.Laura dan E. R. R. Rochedo, The Legacy of Monazite Processing in Brazil, *radiation protection dosimetry* (2005) vol. 114, no. 4, pp. 546–550, 2005
- [10] L. Wang, B. Zhong, T. Liang, B. Xing dan Yifang Zhu, Atmospheric Thorium Pollution And Inhalation Exposure in the Largest Rare Earth Mining And Smelting Area in China, *Science of the Total Environment* 572 (2016) 1–8, Elsevier, 2016

- [11] M.S.M. Sanusi, A.T. Ramli , S. Hashim, dan M.H. Lee, Radiological Hazard Associated with Amang Processing Industry in Peninsular Malaysia and Its Environmental Impacts, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 208 (2021) 111727, 2021
- [12] K. Szamałek, G. Konopka, K. Zglinicki, B. Marciniak-Maliszewska, New potential source of rare earth elements. *Miner. Resour. Manag.* 29, 59–76, 2013
- [13] Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko
- [14] Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja
- [15] Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2021 tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran
- [16] Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2022 tentang Penatalaksanaan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



STUDI LITERATUR PENENTUAN METODE IDENTIFIKASI RISIKO TAHAP OPERASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Yulaida Maya Sari^{1, a)}, Irvan Dwi Junianto^{2, b)}

^{1,2} Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Puspiptek Gedung 71, Tangerang Selatan, 15314, Banten, Indonesia

^{a)} Corresponding author: yulaida.maya.sari@brin.go.id

^{b)} irvan.dwi.junianto@brin.go.id

Abstrak. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) terus direncanakan oleh Pemerintah Republik Indonesia untuk menjawab kebutuhan energi dan meminimalisir energi yang dihasilkan dari bahan bakar fosil. Sejalan dengan isu terkini terkait pemanasan global yang dihasilkan dari pembakaran fosil untuk energi yang dapat melepaskan karbondioksida ke atmosfer sehingga secara signifikan dapat mengganggu siklus karbon alami. Indonesia merupakan negara yang masih belum memiliki PLTN dalam skala komersil. Ketika suatu saat akan dibangun PLTN maka diperlukan banyak referensi dalam pelaksanaannya. Penilaian risiko adalah proses untuk menentukan sifat dan tingkat risiko, dan sangat penting untuk meletakkan dasar untuk mengembangkan kebijakan dan strategi yang efektif untuk manajemen risiko sutau kecelakaan atau bencana. Tahap penilaian risiko dimulai dengan mengidentifikasi risiko yang didalamnya terdapat beberapa metode. Kegiatan identifikasi risiko pada tahap pengoperasian PLTN bertujuan untuk mengidentifikasi risiko-risiko yang dimungkinkan akan terjadi agar dampak yang dihasilkan tidak memicu kejadian yang lebih besar lagi serta sebagai acuan dalam melakukan kegiatan penilaian risiko yang nantinya akan dibutuhkan untuk menentukan atau mengambil keputusan terkait prinsip kerja yang paling aman untuk seluruh komponen PLTN ketika beroperasi. Studi dilakukan dengan menyediakan penelitian dan analisis secara kualitatif berbasis dari buku, jurnal dan referensi lainnya. Dalam makalah ini berfokus kepada studi penentuan identifikasi risiko di dalam pembangunan PLTN yang lebih lanjut terhadap tahap operasi yang akan digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan kegiatan penilaian risiko. Kegiatan identifikasi risiko didasarkan pada kombinasi evaluasi di setiap kategori fenomena kemungkinan kecelakaan yang akan terjadi di tiap-tiap kegiatan pengoperasian. Pendekatan-pendekatan diperlukan untuk menghasilkan daftar kejadian pemicu yang mencakup semua risiko. Pendekatan-pendekatan tersebut mencakup engineering evaluation, reference to previous lists, deductive analysis, operational experience. Pendekatan semua metode diperlukan dalam melakukan identifikasi risiko karena dari studi yang telah dilakukan beberapa kasus memerlukan kombinasi dari metode metode yang ada. Setiap pendekatan metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pemilihan metode juga harus didasarkan pada jenis reaktor PLTN yang akan di bangun nantinya berkaca pada studi yang telah dilakukan bahwa beberapa metode sangat aplikatif untuk beberapa jenis reaktor tertentu

PENDAHULUAN

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) terus direncanakan oleh Pemerintah Republik Indonesia untuk menjawab kebutuhan energi dan meminimalisir energi yang dihasilkan dari bahan bakar fosil. Sejalan dengan isu terkini terkait pemanasan global yang dihasilkan dari pembakaran fosil untuk energi yang dapat melepaskan karbondioksida ke atmosfer sehingga secara signifikan dapat mengganggu siklus karbon alami.

PLTN mampu memberikan daya listrik yang cukup besar, namun di samping itu juga tidak terlepas dari banyaknya risiko yang kemungkinan akan terjadi ketika dibangun fasilitas PLTN tersebut. Risiko-risiko yang dimungkinkan terjadi adalah di setiap tahap dari pembangunan PLTN itu sendiri, hingga beroperasi sampai pada tahap dekomisioning. Oleh karena itu, diperlukannya suatu metode dalam menentukan setiap risiko-risiko yang dimungkinkan akan terjadi.

Indonesia merupakan negara yang masih belum memiliki PLTN dalam skala komersil. Ketika suatu saat akan dibangun PLTN maka diperlukan banyak referensi dalam pelaksanaannya. Dalam makalah ini berfokus

kepada studi penentuan identifikasi risiko di dalam pembangunan PLTN yang lebih lanjut terhadap tahap operasi yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan kegiatan penilaian risiko.

Penilaian risiko digunakan untuk mengatasi tingkat keparahan konsekuensi dan kemungkinan kegagalan yang terjadi di PLTN. Tingkat keparahan dari konsekuensi digunakan untuk mengklasifikasikan kegagalan komponen dalam berbagai kategori risiko yang signifikan.¹

Kegiatan identifikasi risiko pada tahap pengoperasian PLTN bertujuan untuk mengidentifikasi risiko-risiko yang dimungkinkan akan terjadi agar dampak yang dihasilkan tidak memicu kejadian yang lebih besar lagi serta sebagai acuan dalam melakukan kegiatan penilaian risiko yang nantinya akan dibutuhkan untuk menentukan atau mengambil keputusan terkait prinsip kerja yang paling aman untuk seluruh komponen PLTN ketika beroperasi. Dengan melakukan identifikasi risiko dengan pendekatan metode yang ada maka akan didapatkan daftar risiko yang dapat digunakan untuk mengantisipasi kejadian risiko.

TEORI

Tahap Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Tahap operasi PLTN meliputi banyak kegiatan yang di dalamnya dilakukan untuk mencapai tujuan dimana fasilitas resmi dibangun termasuk di dalamnya kegiatan pemeliharaan, pengisian bahan bakar, inspeksi dalam pelayanan dan kegiatan terkait lainnya.²

Pengoperasian PLTN tentunya memberikan dampak-dampak terhadap lingkungan dan sekitarnya. Perlunya melakukan penilaian risiko terhadap proses pengoperasian PLTN ketika sudah dibangun dengan tujuan yang di dalamnya termasuk kepatuhan terhadap persyaratan peraturan sebagai pendukung kasus keselamatan, identifikasi dan pemahaman kerentanan instalasi utama, dan analisis dampak desain yang diusulkan atau perubahan operasional¹

Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Penilaian risiko adalah proses untuk menentukan sifat dan tingkat risiko, dan sangat penting untuk meletakkan dasar untuk mengembangkan kebijakan dan strategi yang efektif untuk manajemen risiko satau kecelakaan atau bencana. Proses melakukan penilaian risiko memungkinkan untuk identifikasi, estimasi dan peringkat risiko. Kegiatan ini juga termasuk kedalam potensi kerugian dari populasi yang terpapar, property, layanan, mata pencaharian dan lingkungan, dan penilaian potensi dampaknya pada masyarakat. Secara umum, klien, regulator, atau perwakilan terpilih atau pemerintah kemudian akan menggunakan penilaian ini untuk memutuskan tindakan yang akan diambil. Konsep dibalik penilaian risiko adalah bahwa ini adalah proses ilmiah yang terstruktur, transparan, dan independent dari politik. Kegiatan ini memungkinkan untuk diulang, ditambahkan, dan digunakan kembali ketika prioritas politik berubah.³

Kejadian Pemicu (*Initiating Events:IE*)

Tahap pengoperasian PLTN memberikan risiko-risiko yang di dalamnya merupakan sebuah peristiwa-peristiwa awal yang disebut dengan kejadian pemicu atau *initiating events* (IEs). *Initiating events* merupakan suatu peristiwa awal yang dapat memicu kerusakan teras atau mengganggu kegiatan normal operasi dan memerlukan mitigasi yang berhasil dengan menggunakan sistem *safety* ataupun *non safety* untuk mencegah kerusakan teras.⁴

Kejadian pemicu adalah suatu kejadian yang belum tentu terjadi, tetapi diasumsikan dapat terjadi di sepanjang umur instansi yang dapat memicu sederetan kemungkinan kecelakaan yang mempunyai dampak mulai dari yang paling tidak signifikan hingga ke dampak yang paling signifikan misalnya *fuel damage*. Kejadian pemicu dapat berupa kejadian tunggal dalam reaktor, kejadian akibat kegagalan suatu komponen atau system maupun kejadian lain seperti bencana alam.⁵

METODOLOGI

Studi dilakukan dengan menyediakan penelitian dan analisis secara kualitatif berbasis dari buku, jurnal dan referensi lainnya. Hasil dari studi digunakan sebagai masukan dalam proses pembangunan PLTN di Indonesia nantinya dalam proses kegiatan penilaian risiko saat tahap operasi PLTN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi risiko dalam kegiatan pengoperasian PLTN didasarkan pada kombinasi evaluasi di setiap kategori fenomena kemungkinan kecelakaan yang akan terjadi di tiap-tiap kegiatan pengoperasian tersebut. Identifikasi risiko ini dimaksudkan sebagai penentuan terhadap kejadian pemicu (IEs).

Penilaian risiko diawali dengan melakukan identifikasi dari kejadian pemicu yang kemudian diantisipasi dengan mengestimasi probabilitas serta menginvestigasi penyebab utama terjadinya kejadian pemicu tersebut. Beberapa pendekatan metode diantaranya *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Fault Tree Analysis*

(FTA), *probabilistic fracture mechanics analysis* atau dengan *engineering judgement*. Metode yang paling umum untuk mengevaluasi kejadian pemicu biasanya terdiri dari *fault tree analysis* dan *event tree analysis*.¹

Beberapa pendekatan dalam menentukan kejadian pemicu memiliki keterbatasan di setiap metode yang ada. Untuk menghasilkan daftar kejadian pemicu yang mencakup semua risiko maka disarankan agar semua pendekatan harus diikuti, meskipun satu dapat dipilih sebagai pendekatan utama.⁶ Pendekatan-pendekatan tersebut mencakup *engineering evaluation*, *reference to previous lists*, *deductive analysis*, *operational experience*.^{6,7}

Engineering Evaluation

Sistem instalasi (operasional dan keselamatan) dan komponen utama secara sistematis ditinjau untuk melihat apakah salah satu mode kegagalan dapat menyebabkan langsung, atau dalam kombinasi dengan kegagalan lain, ke kerusakan teras. *Engineering evaluation* disebut juga dengan analisis induktif.⁸ Variasi dari standar industri terkait analisis induktif ini adalah metode semi-terstruktur *Process Hazard Analysis* PHA (Sebagai contoh, *what-if analysis*), metode terstruktur PHA (Sebagai contoh, *Hazard and Operability*, HAZOP), dan analisis terstruktur *failure mode* (*Failure Modes and Effects Analysis*, FMEA)⁹. Analisis induktif berupa *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) juga dikenal sebagai *engineering evaluation* ini menjadi salah satu contoh dalam penentuan identifikasi risiko kejadian pemicu di tahap operasi pada PLTN, FMEA mengidentifikasi sebanyak mungkin bahaya internal dan kejadian terkait yang mungkin dan diterapkan dalam pendekatan ini untuk mengungkapkan kegagalan komponen yang dapat menimbulkan efek kritis pada kinerja sistem.¹

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Metode *failure modes and effects analysis* adalah suatu aktivitas rekayasa yang mapan dan juga mendukung desain toleransi kesalahan, kemampuan, pengujian, keselamatan, dukungan logistic, dan fungsi terkait. Teknik ini berakar pada analisis sirkuit elektronik yang terdiri dari komponen diskrit dengan mode kegagalan yang terdefinisi dengan baik.¹⁰

Penerapan *failure mode and effect analysis* pada PLTN dilakukan pada studi kasus turbin uap di Taiwan dengan melakukan survei data dengan melakukan investigasi terhadap PLTN tersebut dengan melibatkan tim FMEA yang terdiri dari analis, yang di dalamnya termasuk regulator pemerintah, professor di bidang terkait serta insinyur PLTN dan memiliki pengalaman setidaknya 10 tahun pekerjaan. Tim tersebut kemudian melakukan analisis terhadap komponen yang paling kritis pada turbin uap dan mengidentifikasi *failure mode* pada komponen tersebut hingga menemukan *major failure mode*. Setelah menentukan *major failure mode* maka tim akan melakukan pemeringkatan dan menentukan *failure mode* dengan tingkat risiko yang tertinggi. Hasil dari FMEA yang dilakukan tersebut memberikan petunjuk kepada para insinyur untuk memberikan tindakan pencegahan yang harus dilakukan sebelum kecelakaan terjadi.¹¹

Metode FMEA yang dilakukan di PLTN Taiwan ini, merujuk kepada satu komponen khusus sebagai *failure mode* dengan melibatkan tim-tim yang memiliki pengalaman. Tim pengambil keputusan atau analis risiko telah menggunakan peringkat risiko *failure mode* untuk menentukan bagian mana yang pertama kali dipertahankan dan ditingkatkan. Selain penilaian mode kegagalan turbin uap, metode yang diusulkan juga dapat diterapkan pada sistem atau komponen pembangkit listrik tenaga nuklir lainnya. Studi masa depan dapat menerapkan metodologi yang diusulkan di bidang interdisipliner lainnya.

Reference to Previous List

Pendekatan ini merujuk pada daftar kejadian pemicu pada instalasi serupa. Misalnya untuk kejadian pemicu yang dipostulasikan dan didefinisikan sebagai risiko kejadian yang ada di PLTN untuk suatu jenis reaktor. Sebagai contoh dari pendekatan ini adalah yang tercantum di dalam IAEA TECDOC No. 719 dimana kejadian pemicu untuk jenis reaktor *pressurized water reactor* (PWR) disediakan dengan mengacu pada daftar yang sudah ada.¹

Sebagai contoh dari *reference previous list* untuk jenis reaktor PWR dibagi ke dalam skenario saat reaktor sedang beroperasi yang di bagi ke dalam kegiatan inti *Full Power*, *Shutdown*, *Pressurized Thermal Shock* dimana setiap kegiatan tersebut memiliki kejadian pemicu. Skenario kegiatan inti tersebut di dapatkan data yang dihimpun dari reaktor PWR di PLTN yang berada di Amerika Serikat meliputi 2023 kejadian pemicu yang terjadi di 36 plant.¹²

Pendekatan dengan menggunakan referensi dari daftar kejadian pemicu yang sudah ada sebelumnya akan sangat relevan untuk digunakan dalam mengidentifikasi risiko. Namun perlu diperhatikan lagi bahwa pendekatan *reference to previous list* ini hanya bisa digunakan ke jenis PLTN yang memiliki kesamaan dengan instalasi sebelumnya.

Deductive Analysis

Kerusakan teras ditetapkan sebagai kejadian puncak. Kejadian puncak ini berturut-turut dipecah menjadi semua kategori kemungkinan peristiwa yang dapat menyebabkan terjadi. Operasi yang berhasil dari system keselamatan dan Tindakan pencegahan lainnya tidak disertakan. Peristiwa di tingkat paling mendasar kemudian dipilih sebagai kandidat untuk daftar kejadian pemicu di instalasi. Pendekatan ini menggunakan *Master Logic*

Diagram (MLD). Berdasarkan literatur bahwa pendekatan MLD telah diterapkan untuk mengidentifikasi kejadian pemicu PLTN di masa lalu¹³ dan telah diusulkan untuk mencari kejadian pemicu PLTN generasi berikutnya.¹⁴

Metode yang bersifat deduktif selanjutnya adalah metode *fault tree analysis* (FTA). Metode FTA adalah metode berbentuk grafik sederhana yang menggambarkan bagaimana sistem bisa mengalami kegagalan.⁵

Master Logic Diagram (MLD)

Master Logic Diagram (MLD) adalah diagram logika, yang mirip dengan pohon kegagalan tetapi tanpa sifat matematika formal¹³ Metode ini adalah metode analisis risiko kualitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya dan kemungkinan kejadian pemicu dari suatu sistem, melalui pendekatan deduktif terstruktur. Langkah-langkah utama dari metode ini dimulai dengan mengidentifikasi kejadian puncak dan dilanjutkan dengan dekomposisi kejadian puncak menjadi sub kejadian yang terperinci, setiap sub-kejadian menjadi kemungkinan penyebab dari kejadian puncak yang dipertimbangkan. Pengembangan berlanjut sampai tingkat detail yang memadai tercapai dan kejadian yang secara langsung mempengaruhi fungsi keselamatan diidentifikasi serta harus mempertimbangkan semua fenomena fisik yang mungkin sangat penting untuk kelengkapan pendekatan.¹³ Diagram disajikan dalam bentuk pohon kegagalan kualitatif berdasarkan logika Boolean yang dimulai dengan kejadian puncak dengan tingkat pohon yang lebih rendah menunjukkan kegagalan dasar.

Studi kasus dalam menentukan IE dengan menggunakan metode *Master Logic Diagram* adalah pada reaktor PLTN tipe HTGR yang dikupas oleh penelitian terdahulu terkait reaktor tipe ini. HTGR sebagai pembangkit listrik tenaga nuklir generasi berikutnya, yang memiliki data dan pengalaman operasi yang terbatas, dimana kejadian awal yang dapat menyebabkan pelepasan bahan radioaktif ke lingkungan perlu dibuatkan daftar. Proses menemukan dua kejadian awal HTGR, yaitu trip generator turbin listrik dan hilangnya daya di luar lokasi telah dilakukan studi dengan menggunakan metode ini. Beberapa langkah dalam menentukan kejadian pemicu untuk reaktor HTGR ini mampu memberikan data yang cukup relevan untuk digunakan dalam reaktor HTGR.¹⁵

Melalui penelitian sebelumnya, metode MLD ini cukup relevan untuk diimplementasikan dalam menentukan kejadian pemicu sebagai pendekatan identifikasi risiko ke PLTN dengan tipe terbaru yang masih belum memiliki pengalaman pengoperasian.

Analisis Pohon Kegagalan (*Fault Tree Analysis*)

Merupakan sebuah metode yang paling sering digunakan untuk mengevaluasi keandalan dan ketersediaan suatu sistem. Metode analisis pohon kegagalan adalah metode berbentuk grafik sederhana yang menggambarkan bagaimana sistem bisa mengalami kegagalan. Metode ini bersifat deduktif dimana analisis dimulai dengan mendefinisikan suatu kejadian yang bersifat umum dan kemudian dilanjutkan ke kejadian perantara yang menyebabkan kejadian umum tersebut. Analisis berlanjut ke kejadian berikutnya yang menjadi penyebab kejadian perantara. Analisis berakhir sampai pada tingkat kejadian paling mendasar yang tidak dapat dirinci lagi, seperti kejadian kegagalan komponen atau kegagalan manusia.⁵ Penerapan pendekatan FTA dalam PLTN dapat diatur menjadi dua kelompok, yaitu FTA konvensional dan FTA fuzzy, Perbedaan utama antara FTA konvensional dan FTA fuzzy adalah pada data yang digunakan untuk mewakili kemungkinan terjadinya peristiwa dasar individu yang membangun pohon kesalahan dari sistem yang diminati. Dalam FTA konvensional, reliabilitas peristiwa dasar diperkirakan secara probabilistik menggunakan data kegagalan historisnya. Sedangkan pada fuzzy FTA, reliabilitas kejadian dasar dikarakterisasi menggunakan probabilitas fuzzy.¹⁶

Implementasi dari pendekatan metode FTA dalam pengoperasian PLTN ini dilakukan terhadap reaktor PLTN tipe *Boiling Water Reactor* (BWR) dimana dilakukan dengan beberapa tahapan yang diantaranya, pertama, mendefinisikan semua potensi bahaya dan ancaman (kejadian awal) berdasarkan survei arsitektur sistem BWR standar. Kedua, mengidentifikasi opsi pengendalian risiko (kejadian antara) yang dapat ditetapkan untuk mengendalikan setiap elemen risiko. Secara khusus, frekuensi kejadian empiris dari peristiwa kegagalan awal dan frekuensi ketidaktersediaan yang sesuai dari setiap opsi pengendalian risiko ditentukan. Tugas terakhir dan utama adalah melakukan analisis mode dan efek kegagalan yang menggabungkan urutan kecelakaan menggunakan *event tree* dan *fault tree*, yang berfokus pada *fuzzy fault tree*.¹⁷

Dalam kasus reaktor BWR di atas, penentuan kejadian pemicu sebagai identifikasi risiko yang menggunakan pendekatan FTA fuzzy dengan mengkombinasikan terhadap pendekatan metode yang lainnya, yaitu analisis mode dan efek kegagalan dimana dalam perancangan urutan kecelakaan menggunakan FTA. Dapat dikatakan bahwa sebenarnya pendekatan metode-metode penentuan kejadian pemicu sebagai identifikasi risiko ini dapat dilakukan pengkombinasian untuk mendapatkan hasil semaksimal mungkin untuk selanjutnya dapat menentukan tindakan mitigasi.

Operational Experience

Sejarah operasional dari PLTN yang sudah ada sesuai dengan instalasi yang bersangkutan dan serupa, ditinjau untuk setiap kejadian yang harus ditambahkan ke daftar kejadian pemicu. Kegiatan ini merupakan tinjauan dari pengalaman-pengalaman yang sudah ada dengan mempertimbangkan segala kejadian pemicu yang pernah terjadi.⁴

IAEA selaku pemangku kepentingan menerima laporan dari 258 negara anggota terkait *International System for Operating Experience (IRS)* selama kurun waktu 2012-2014. Para peserta meninjau IRS yang dilaporkan kemudian melakukan identifikasi dan memilih kejadian-kejadian dengan informasi dan pelajaran terkait kepentingan PLTN yang lebih luas. Kejadian-kejadian yang terpilih kemudian dikelompokkan menjadi kategori umum seperti *Human performance, ageing management, leaks and leakage, seismic issues, fire issues, degrading cooling, ineffective use of operating experience, fuel damage or baffle jetting*.¹⁸

Studi terkait *risk assessment* yang di lakukan terhadap PLTN banyak diimplementasikan dan dilakukan seperti yang telah dipaparkan dalam makalah ini. Kegiatan *risk assessment* selalu diawali dengan identifikasi risiko dari kejadian pemicu, untuk menentukan metode *risk assessment* yang sesuai pada instalasi PLTN yang beroperasi. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, maka diperlukannya semua pendekatan dalam penentuannya agar saling melengkapi sebelum memilih metode mana yang paling mungkin diaplikasikan untuk pengoperasian instalasi PLTN sebagai tindakan mitigasi.

SIMPULAN

Perlunya dilakukan penilaian risiko dalam tahap pengoperasian PLTN guna meminimalisasi dampak yang dimungkinkan akan terjadi. Tahap penilaian risiko dimulai dengan mengidentifikasi risiko yang didalamnya terdapat beberapa metode. Kegiatan identifikasi risiko di dasarkan pada kombinasi evaluasi di setiap kategori fenomena kemungkinan kecelakaan yang akan terjadi di tiap-tiap kegiatan pengoperasian. Pendekatan-pendekatan diperlukan untuk menghasilkan daftar kejadian pemicu yang mencakup semua risiko. Semua pendekatan disarankan untuk diikuti ketika akan melakukan identifikasi risiko agar mendapatkan kejadian pemicu pada tahap pengoperasian PLTN. Sehingga ketika telah dibangun fasilitas PLTN di Indonesia nantinya, telah memiliki kemungkinan kejadian risiko yang bisa diantisipasi. Pendekatan semua metode diperlukan dalam melakukan identifikasi risiko karena dari studi yang telah dilakukan beberapa kasus memerlukan kombinasi dari metode metode yang ada. Setiap pendekatan metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pemilihan metode juga harus didasarkan pada jenis reaktor PLTN yang akan di bangun nantinya berkaca pada studi yang telah dilakukan bahwa beberapa metode sangat aplikatif untuk beberapa jenis reaktor tertentu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tim riset Mutu Nuklir, Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, yang telah mendanai penelitian ini serta seluruh kelompok riset mutu nuklir yang telah membantu dan mendukung penulis untuk bisa menghasilkan makalah ini.

REFERENSI

- [7] Applications of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants.; 2001.
- [8] IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2018 Edition. <https://www.iaea.org/resources/safety-standards>
- [9] Rovins JE (Jane E), Wilson TM (Thomas M, Hayes J (Joshua), et al. Risk Assessment Handbook.
- [10] IAEA Safety Standards Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants for Protecting People and the Environment No. SSG-3 Specific Safety Guide. <http://www-ns.iaea.org/standards/>
- [11] Dan D, Situmorang J, Pengembangan B, et al. Prosiding Seminar Nasional Ke-18 Teknologi Dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir Bandung.; 2012.
- [12] Safety P, Plants NP. O Procedures for Conducting.; 1992.
- [13] Kumar U, Ahmadi A, Kumar A, Prabhakar V, Editors V. Lecture Notes in Mechanical Engineering Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety An Industry Perspective. <http://www.springer.com/series/11236>
- [14] Maskin M, Charlie F, Hassan A, Prak Tom P, Ramli Z, Mohamed F. Selection of important initiating events for Level 1 probabilistic safety assessment study at Puspati TRIGA Reactor. *Annals of Nuclear Energy*. 2016;92:198-210. doi:10.1016/j.anucene.2016.01.047
- [15] American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis.
- [16] Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry SEMATECH Technology Transfer #92020963B-ENG.; 1992.
- [17] Lo HW, Liou JJH, Yang JJ, Huang CN, Lu YH. An Extended FMEA Model for Exploring the Potential Failure Modes: A Case Study of a Steam Turbine for a Nuclear Power Plant. *Complexity*. 2021;2021. doi:10.1155/2021/5766855
- [18] Defining Initiating Events for Purposes of Probabilistic Safety Assessment JAIA.; 1993.
- [19] Papazoglou IA, Aneziris ON. Master Logic Diagram: Method for Hazard and Initiating Event Identification in Process Plants. Vol 97.; 2003.

- [20] Holbrook M, Kinsey J, Mills P, Gibbs G. Next Generation Nuclear Plant Probabilistic Risk Assessment White Paper. 2011;(September). <http://large.stanford.edu/courses/2015/ph241/al-alam1/docs/11-21270.pdf>
- [21] Purba JH. Master Logic Diagram: An Approach to Identify Initiating Events of HTGRs. In: Journal of Physics: Conference Series. Vol 962. Institute of Physics Publishing; 2018. doi:10.1088/1742-6596/962/1/012036
- [22] Purba JH, Tjahyani DTS, Deswandri. The implementation of fault tree analysis approaches in nuclear power plant probabilistic safety assessment. In: AIP Conference Proceedings. Vol 2180. American Institute of Physics Inc.; 2019. doi:10.1063/1.5135519
- [23] Li J. Fault-Event Trees Based Probabilistic Safety Analysis of a Boiling Water Nuclear Reactor's Core Meltdown and Minor Damage Frequencies. Safety. 2020;6(2). doi:10.3390/safety6020028
- [24] Nuclear Power Plant Operating Experience from the IAEA/NEA International Reporting System for Operating Experience.; 2012.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



THE URGENCY OF DEVELOPING A REFERENCE STANDARD DATABASE FOR COMPUTATIONAL HUMAN PHANTOMS IN INDONESIA

Francesca Putri^{b)}, Muhammad Arya Hanif^{c)}, Sita Gandes Pinasti^{a)}

Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Senolowo, Sinduadi, Mlati, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia

a) Corresponding author: sita.gandes.p@ugm.ac.id

b) cesca.valen@gmail.com

c) aryasenaria@mail.ugm.ac.id

Abstract. Computational Human Phantoms (CHPs) are made to replace the actual human body by mimicking the tissue's characteristics to measure radiation dose safely. The development of CHP from the first ORNL model to 4D NCAT and XCAT explains that CHP is a high-demand research topic because of its ability to have more detailed and realistic anatomical and physiological. In recent years, the way CHP that commonly used is by modifying the present computational model and changing the height, weight, and organ mass accordingly to the desired model. This method may be quick and effective but has a complex step. Countries in Asia like Korea, Japan, and China already developed CHP using the representation of their population. The Indonesian representation has different values on the median body weight and height but the latest study in anthropological research was in 1996. This paper will briefly explain why Indonesia must have a database for standard reference CHP and its urgency based on the vast applications in environmental radioactivity, radiation exposure in nuclear reactors, radiodiagnosis, and treatment planning in radiotherapy. But before creating the reference CHP, the study for body representation must be held first.

Keywords: phantoms, computational modeling, Indonesia, radiation dosage, reference standards

INTRODUCTION

The human body is made using various inhomogeneous tissues with various geometric shapes and densities. Considering its characteristics, the radiation interaction in the human body is highly complex. Each internal organ might receive different absorbed doses from the same radiation source. It is difficult and unattainable to do a direct measurement. Phantoms are made to replace the natural human body by mimicking the tissue's characteristics to measure radiation dose safely.

Phantoms vary from a simplified geometry to a complex one. Phantom can be divided into a computational phantom and a physical phantom. The computational phantoms can be developed without the cost of manufacturing

and are more flexible to modify. The constructions of computational phantoms need to consider the anatomy of the body, radiosensitivity of each tissue, computational efficiency, and geometrical compatibility by using a Monte Carlo code [2]. Simulation using CHP could simulate thousands and even millions of scenarios using different types of source particle and energy.

Nuclear technology applications such as radiotherapy in medicine field, TRIGA 2000, Kartini, Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) nuclear reactor, and the impact on environmental radiation have vastly developed, especially in Indonesia. Alongside any radioactive source, the terms as low as reasonably achievable (ALARA) must be ensured in every personal. Especially during radiotherapy, only a specific absorbed dose is allowed to meet the conjunction of the need to cure it and the increasing damage to other tissue. Usually, a reference CHP is used for simulation. However, demographics in the world have significant differences among races, gender, and age. CHPs are made based on reference man physical, which statistically represents the most common people in the country. The impact on differences in characteristics of reference man will be discussed later in this paper.

This paper summarizes the historical background of CHP, the latest development and research in Indonesia and other countries, a brief explanation of why Indonesia must have a database for CHP, and an overview of CHPs applications. According to the International Commission of Radiological Protection (ICRP) recommendation, for the term phantom is used for experimental physical phantoms. In contrast, the term model is used to define a computational model that is made on a computer [3].

HISTORICAL BACKGROUND

CHP development first started in 1960 by Oak Ridge National Laboratory (ORNL). The model was made by adjusting simple shape such as elliptical cylinders and cones. It's made to represent a healthy Caucasian man living in North America and Europe which was 70 kg in weight with 170 cm in height. In 1969, first homogeneous tissue composing a skeleton, a pair of lungs, and the remainder (soft tissue) is made and called as "MIRD-5 Phantom". The attempt to develop the first realistic is made after a few years, but only made available to the Space Radiation Dosimetry Community [2].

In the mid 1970s, Poston and others managed to develop individualized pediatric phantoms of one year old, five years old, ten years old and 15 years old. This model is not widely adopted due to its complex geometric shapes. It's then replaced with by Cristy and Eckerman's "family" of phantoms which also consist of a female adult. The effort is continued by Stabin and his colleagues, introducing a pregnant woman at end of each trimester of pregnancy. In the 1980s, powerful computers open the path for creating voxel phantom, which is not consisting of reformed simple shape, but ones that is closer to realistic. The boost of CT and Magnetic Resonance (MR) imaging technique made it possible to do so and not just the capability to show, but also modified due to its digital format nature [2].

The method could easily be breakdown into four step : (1) Getting a tomographic images (e.g., CT, MRI, or anatomical photography) on the man's entire body; (2) Identify the organ to then could be input to having different parameters; (3) Insert the parameter (e.g., soft tissue, hard bone, air, etc.) and the chemical composition of organs and tissues; and (4) Register the segmented into a 3D for visualization and Monte Carlo calculations, as shown in Figure 1 below.

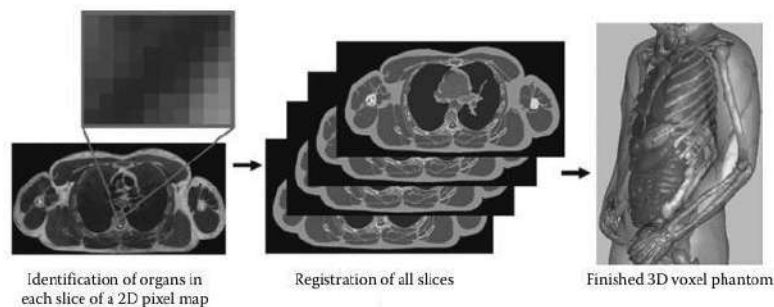


FIGURE 1. Steps to create a voxel phantom [2]

In the 2000s, however, CHP developed into several groups that managed to demonstrate the feasibility of creating phantoms using the boundary representation (BREP) modeling technique which has include topological and geometric information that explains the connectivity and position of objects in human anatomy. 4D NCAT phantom offers a vast improvement by allowing a simulation of cardiac and respiratory motions and has widespread usage, especially in nuclear medicine imaging research for evaluation and improving myocardial SPECT imaging. 4D NCAT later evolved to XCAT phantom that is more detailed and realistic in anatomical and physiological. It is suitable for higher-resolution imaging applications [2].

COMPUTATIONAL HUMAN PHANTOM DATABASE

Reference Phantom in Other Countries

Many countries are developing a phantom database. In Asia, countries like Korea, Japan, and China have developed CHP using the representation of their population [3]–[7]. These body representations, as shown in Table 1 are used to develop a reference phantom.

Table 1. Mean body weight and height of adult male reference from CHP in different countries

	Korean	Japanese	Chinese	ICRPs Caucasian Man	Indonesia
Body weight (kg)	67.8	65	65	73	55.73
Body height (cm)	171	172.8	170	176	160.9

Absorbed dose in a target is influenced by cumulated activity (A) and S-value. It is described in Eq. (1) below.

$$D = A \times S \quad (1)$$

The shape, size, and mass of the target regions contribute to the S-value [8]. Which may determine the accuracy of the dose calculations. The Caucasian model and Indonesian model have different values on the median body weight and height. For better accuracy, it is supposed to use the specific model with more accurate body model representations. It needs to be stated that such a comparison did not include the variation in bone mass, density, and volume that could differ. This comparison is only made to roughly describe the differences between adult man references.

COMPUTATIONAL HUMAN PHANTOM IN INDONESIA

Currently, there is no available reference man and phantom that could represent the common Indonesian man to be used in the simulation. Anthropological data to select a man representation is also vital. The last study is done in 1996 by sampling 1,157 males and 1,108 people living in Java [7]. There is also research to create CHP to represent Indonesian man. The ORNL model is used to replicate it closer to the Indonesian's height and weight [9]. However, the CHP used is already outdated compared to the 4D CHP.

But making the reference man couldn't be said as starting from scratch. Some reports such as Riskesdas and PMK could make a rough estimation of how a reference man would be made. But considering the advancement in recent years, creating a model without a solid basis of statistical data is something that's not going to be able to fully benefit from the advancement.

APPLICATIONS OF COMPUTATIONAL HUMAN PHANTOM

Applications in Environmental Radiation

Environmental radiation exposure comes from naturally occurring radioactive materials (NORM) and technology-enhanced naturally occurring radioactive materials (TENORM). TENORM exposure comes from mining activity, oil and gas exploration, processing, and chemical processing of nuclear material. To ensure the safety of the employee and the near-live public, a radioecological assessment must be done.

In dosimetry, dose coefficient is a quantity which describe a tissue equivalent dose per unit acute intake. Dose coefficient is different for each radionuclide. It could be determined by the type of radiation, radiation intensity, energy emitted by radioactivity, and anatomical characteristic of the target. The dose coefficient incorporates the transport of emitted radiation in the environment, human anatomy simulation, and the transport of radiation in the body. The air kerma strength per unit of activity sourced from air and ground is calculated using simplified and idealized exposure geometries, usually from semi-infinite volume source in the air or ground, and infinite plane source in the ground.

The result of the dosimetry calculation is then used to calculate the secondary source that located around the computational phantom in the form of a slightly bigger cylinder using a photons with precise probability distribution functions as derived from the initial gamma-ray ray fields, with respect to height, energy, and angle. These height- dependent double differential gamma-ray fields were then incorporated into the organ dose calculation with the CHP.

APPLICATIONS TO RADIATION EXPOSURES IN NUCLEAR REACTORS

Two-dosimeter method is used to monitor personal dose which is also called as personal dose equivalent $H_p(d)$. $H_p(10)$ or having 10mm depth below body surface is used to approximate the effective dose or EDE taken from external exposure. But this would only work if the radiation is coming to the detector instead of passing through the body and got annuated first before reaching the detector. That's why two dosimeter is attached on the chest and back of radiation worker.

A simulation is then could be held to calculate the distribution of radiation dose. Effective and radiation doses to organ/tissues and personal desimeter for external photon exposure could be made using PRDC. There is also EPRI EDE calculator to search for the effective dose and EDE from the hot particles in skins.

APPLICATIONS IN MEDICINE

Radiodiagnosis

The largest source of man-made radiation exposure is coming from diagnostic medical examinations [2]. This happens because to get a good view that would actually be understandable and helpful, beam parameters needs to be set. Such method is hard to optimize because:

1. The quality of the resulted x-ray imaging chain contains many variable that affect the result such as : The anatomy variations, The detection system, scatter removal grid etc.
2. The sole indicator, which is Effective dose could only be count using a whole=body computational phantom of delineated organs.
3. The result of diagnostic x-ray is greatly counting on involving various body sites and tasks.
4. An evaluation is needed after a quantitative image is made to determine whether the image has met the criteria or not.

Utilizing repeated computerized observations on an imaging process using Monte Carlo can be repeated many times. This research field mostly made 2,500,000 images in the process [2], which is unattainable using human volunteers. Formulas to determine image quality analysis have also been made: observer computational system, Hotelling Observer, Channelized and Laguerre-Gauss Hotelling Observers, etc. Such methods have allowed researchers to understand the relationship between x-ray beam characteristic, detector efficiency, lesion characteristics, patient dose, and lesion detection threshold. For example, it has been made clear that optimal x-ray energy is on the range of to 65 KeV. This method minimized human labor with effective cost and time.

Treatment Planning in Radiotherapy

The use of phantom greatly helps create an adaptable Image-Guided Radiation Treatment Planning. The treatment would be able to predict accurately and prepare for the intrafraction motion, primarily due to the patients respiratory motion. Adaptive radiation therapy also helps to adapt to the patients setup uncertainty resulting in a closer treatment delivered dose. The tool is necessary to simulate an extremely complex spatial and temporal distribution. A motion-simulating, the phantom is a unique tool for investigating extremely complex spatial and temporal distributions of radiation in the patient body. Radiation dosimetry using radiation transport simulations using human phantom. It could also variate radiation fluence, energy deposition density, and dose per decay [10].

CONCLUSION AND FUTURE DIRECTIONS

In recent years, CHP is commonly used by modifying the present computational model and changing the height, weight, and organ mass according to the desired model. This method may be quick and effective but has a complex step. CHP is one of the keys to some research topic of computational life science applications that will benefit safety and efficacy assessments, including radioecological evaluations, the development radiotherapy and biomedical devices, personalized medicine for treatment, and more accurate calculation in personal dosimetry. In the future, CHPs will becoming more precise to the actual human body. For the purpose to allowing more complex simulations, it is essential to achieve a sufficient population representations for a first step in Indonesia. The more similarity the phantom represents one human body, the more excellent way to enhance the nuclear safety system by simulating a possible exposure and predicting potential danger, and hazards.

With a integration of accurate and realistic computer-generated models of human, distinct radiation sources and distributions, transport of radiation through biological tissues, characteristics of the imaging system, and physics of the image formation process will give more precise radiation dose distributions that are closer to those obtained from clinical and experimental laboratory studies [11].

To develop a standard reference CHP, anthropological research to obtain mean distribution data of human body characteristics from specific gender, age, and health conditions must be held. After receiving the data, the volunteer with the particular features needs to take its tomographic images and then construct a visualization CHP file format. With the vast racial diversity in Indonesia, it is not accurate to use a reference CHP with only one type of race. It is recommended for future research to develop a CHP reference from another race that lives in Indonesia.

REFERENCES

- [25] C.K. McGarry, L.J. Grattan, A.M. Ivory, F. Leek, G.P. Liney, Y. Liu, P. Miloro, R. Rai, A. Robinson, A.J. Shih, B. Zeqiri, and C.H. Clark, *Phys. Med. Biol.* (2020).
- [26] X.G. Xu and K.F. Eckerman, editors, *Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry* (CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2010).
- [27] C.H. Clement and International Commission on Radiological Protection, editors, *Adult Reference Computational Phantoms: Joint ICRP/ICRU Report* (Elsevier, Amsterdam, 2009).
- [28] C.H. Kim, S.H. Choi, J.H. Jeong, C. Lee, and Chung, *Physics in Medicine & Biology* 53, 4093 (2008).
- [29] T. Nagaoka, S. Watanabe, K. Sakurai, E. Kunieda, S. Watanabe, M. Taki, and Y. Yamanaka, *Phys. Med. Biol.*
- [30] 49, 1 (2004).
- [31] L. Liu, Z. Zeng, J. Li, B. Zhang, R. Qiu, and J. Ma, *Physics in Medicine and Biology* 54, 6675 (2009).
- [32] M. Syaifudin, Z. Alatas, T. Rahardjo, and Mugiono, (1996).

- [33] D.L. Bailey and American Association of Physicists in Medicine, editors, Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students (International Atomic Energy Agency, Vienna, 2014).
- [34] L. Miska, R. Safitri, I. Irwandi, and E. Yusibani, JRE 15, (2019).
- [35] K. Talaat, J. Xi, P. Baldez, and A. Hecht, Sci Rep 9, 17450 (2019).
- [36] H. Zaidi and B.M.W. Tsui, Proc. IEEE 97, 1938 (2009).



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



REVIEW KEAMANAN SIBER FASILITAS NUKLIR DARI SUDUT PANDANG FUNGSI DAN ZONA KRITIS

Dian Septikasari^{1,a)}

1Badan Pengawas Tenaga Nuklir

^{a)}d.septikasari@bapeten.go.id

Abstrak. Penulisan makalah Review Keamanan Siber Fasilitas Nuklir Dari Sudut Pandang Fungsi Dan Zona Kritis bertujuan untuk menambah wawasan kesadaran kita terhadap bahaya siber terutama untuk peralatan-peralatan instrumen dan kontrol (I&C) digital serta bagaimana cara pencegahan dan penanggulangan serangan siber. Dalam makalah ini dijelaskan mengenai *Sensitive Digital Assets* (SDAs), jenis-jenis ancaman siber pada fasilitas nuklir, *Shapash Nuclear Research Institute* (SNRI), kategori keamanan siber fasilitas nuklir berdasarkan fungsi dan zona kritis ancaman siber, serta ketentuan-ketentuan yang harus dipatuhi dalam setiap level keamanan siber, engan menggunakan ilustrasi fasilitas nuklir dari SNRI kita dapat mengelompokan level keamanan berdasarkan setiap zona pada fasilitas nuklir dan menerapkan sistem pengamanan terhadap ancaman serangan siber yang memungkinkan untuk setiap fungsi-fungsi sistem pada fasilitas nuklir, dari hasil review didapatkan bahwa setiap zona pada level keamanan harus dilakukan pembatasan dalam hal aliran data, hak akses data, hak akses fisik, hak akses pengendalian jarak jauh serta pencatatan setiap aktifitas, dengan melakukan pembatasan-pembatasan tersebut dapat meminimalkan resiko ancaman keamanan siber terhadap fasilitas nuklir.

Kata Kunci. Nuclear Cybersecurity, I&C Cyber Security, Level dan Zona Keamanan

PENDAHULUAN

Dalam era revolusi industri 4.0 sekarang ini, peranan teknologi dan sistem berbasis komputer menjadi sangat penting dalam proses otomasi manufaktur, dengan melibatkan teknologi canggih seperti *Internet of Things* (IoT), *Industrial Internet of Things* (IIoT), *Cyber Physical System* (CPS), *Artificial Intelligence* (AI), *Cloud Computing* dan sebagainya. Implementasi teknologi tersebut pada industri manufaktur salah satu nya adalah dengan pemanfaatan sensor-sensor pada peralatan produksi yang digunakan untuk memantau dan memonitor setiap proses yang terjadi pada peralaan produksi.

Demikian pula pada industri ketenaganukliran, fasilitas nuklir generasi terbaru menggunakan sistem instrumentasi dan kontrol (I&C) digital yang saling terintegrasi untuk mendukung berbagai operasi di pembangkit listrik tenaga nuklir, reaktor penelitian, fasilitas limbah radiologi, dan dalam banyak aplikasi lain dari penggunaan teknologi nuklir. Namun, penerapan teknologi digital dalam sistem I&C telah membuat sistem ini rentan terhadap serangan siber.

Serangan siber adalah tindakan jahat yang dilakukan oleh individu atau organisasi yang menargetkan informasi sensitif atau aset informasi sensitif dengan tujuan mencuri, mengubah, mencegah akses ke atau menghancurkan target tertentu melalui akses tidak sah ke (atau tindakan di dalam) sistem yang rentan. Aset informasi sensitif mencakup sistem kontrol, jaringan, sistem informasi, dan media elektronik atau fisik lainnya. Salah satu contoh serangan siber pada fasilitas nuklir yaitu serangan siber *Stuxnet*, serangan yang diarahkan pada sistem I&C sehingga menyebabkan kerusakan peralatan di fasilitas nuklir.

Serangan siber pada sistem I&C dapat membahayakan keselamatan dan keamanan fasilitas nuklir dengan cara sabotase atau membantu pemindahan bahan nuklir secara tidak sah. Efek serangan cyber pada sistem I&C yang terkait dengan keselamatan dapat mengakibatkan berbagai konsekuensi, seperti hilangnya kontrol proses sementara atau konsekuensi yang lebih buruk seperti kecelakaan nuklir. Serangan siber terhadap I&C juga dapat merusak kepercayaan masyarakat terhadap keselamatan dan keamanan fasilitas nuklir.

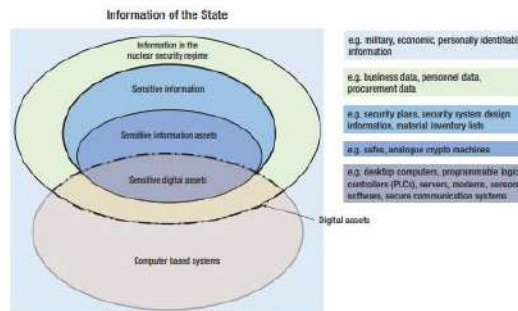
Sensitive Digital Assets (SDAs)

Aset digital diartikan sebagai teknologi dan sistem berbasis komputer, yang menciptakan, menyediakan akses, menghitung, mengkomunikasikan, menyimpan informasi digital, atau melakukan, mengontrol layanan

yang melibatkan informasi tersebut baik secara fisik atau virtual [1]. Sistem ini termasuk desktop, laptop, tablet, komputer pribadi lainnya, smartphone, mainframe, server, aplikasi perangkat lunak, database, removable media, perangkat I&C digital, pengontrol logika yang dapat diprogram, printer, jaringan perangkat, dan komponen dan perangkat yang disematkan. Beberapa sistem berbasis komputer dapat diprogram, sehingga dimungkinkan untuk memodifikasi langkah pemrosesan tanpa mengubah perangkat keras. Sistem berbasis komputer rentan terhadap serangan cyber. [1]

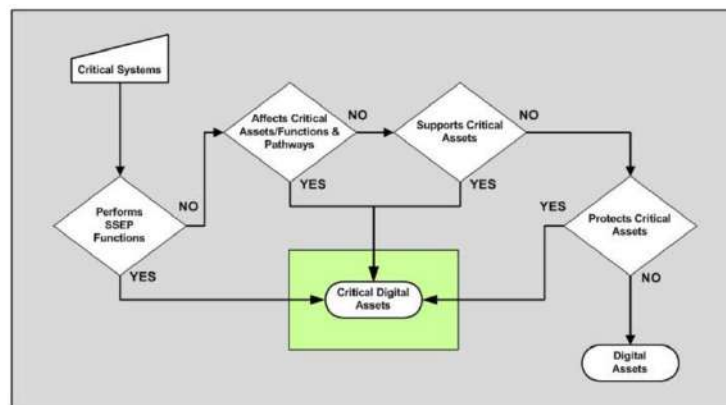
Aset digital dalam bidang ketenaganukliran dapat diartikan sebagai sistem berbasis komputer yang berhubungan dengan fasilitas nuklir. Secara singkat dapat dikatakan bahwa SDAs merupakan sistem/teknologi berbasis komputer yang memiliki atau berisi informasi sensitif atau kritis, sehingga apabila terjadi perubahan atau penyalahgunaan akan berdampak pada fasilitas nuklir. [1], [2]

Keterkaitan antara keamanan informasi, informasi sensitif, aset informasi sensitif, aset digital dan SDAs dapat dilihat pada **GAMBAR 1** berikut.



GAMBAR 1. Posisi SDAs pada cakupan informasi dan sistem berbasis komputer dalam area keamanan nuklir

Identifikasi *Critical Digital Aset (CDA)* atau SDAs mencakup aset digital yang (1) menjalankan fungsi *Security and Emergency Preparedness (SSEP)*, (2) dapat berdampak buruk Fungsi SSEP atau CS dan/atau CDA yang menjalankan fungsi SSEP, (3) menyediakan jalur ke *Critical System (CS)* dan/atau CDA yang dapat digunakan untuk mengkompromikan, menyerang, atau menurunkan fungsi SSEP, (4) mendukung CS dan/atau CDA, atau (5) melindungi salah satu hal di atas dari serangan dunia maya hingga dan termasuk *Design Basis Threat (DBT)*. Evaluasi dan proses identifikasi CDA dapat dilihat pada **GAMBAR 2** berikut. [3]



GAMBAR 2. Evaluasi dan proses identifikasi CDA

Ancaman Siber pada Fasilitas Nuklir

Beberapa macam ancaman siber terhadap peralatan instrumen dan kontrol (I&C) pada fasilitas nuklir diantaranya adalah *Spoofing, Tampering, Repudiation, Information Disclosure, Denial of Service, Elevation of Privilege (STRIDE)*: [4]

1. *Spoofing* (memalsukan identitas).

Contoh spoofing identitas adalah mengakses secara ilegal dan kemudian menggunakan informasi otentikasi pengguna lain, seperti nama pengguna dan kata sandi.

Selain itu, spoofing juga dapat digunakan untuk mendapatkan akses ke informasi pribadi target, menyebarkan malware melalui tautan atau lampiran yang terinfeksi, melewati kontrol akses jaringan, atau mendistribusikan ulang lalu lintas untuk melakukan serangan penolakan layanan. Karena itu spoofing sering kali merupakan cara attacker mendapatkan akses untuk melakukan serangan yang lebih besar seperti ancaman terus-menerus yang canggih atau serangan man-in-the-middle.

2. *Tampering* - merusak data

Serangan *tampering* merupakan upaya merusak atau memanipulasi data dan parameter yang berasal dari sinyal peralatan instrumen dan kontrol (I&C) seperti *Alter parameter values*, *Tamper Data at Rest*, *Tamper Data Flow*.

3. *Reputation* - penolakan

Serangan penolakan terjadi ketika aplikasi atau sistem tidak dapat melacak dan mencatat tindakan pengguna dengan benar, sehingga memungkinkan manipulasi berbahaya atau memalsukan identifikasi tindakan baru. Serangan ini dapat digunakan untuk mengubah informasi authoring dari tindakan yang dilakukan oleh pengguna jahat untuk mencatat data yang salah ke file log. Penggunaannya dapat diperluas ke manipulasi data umum atas nama orang lain, dengan cara yang sama seperti pesan email spoofing. Jika serangan ini terjadi, data yang disimpan pada file log dapat dianggap tidak valid atau menyesatkan.

4. *Information Disclosure* - keterbukaan informasi

Ancaman pengungkapan informasi melibatkan pemaparan informasi kepada individu yang tidak seharusnya memiliki akses, misalnya, kemampuan pengguna untuk membaca file yang aksesnya tidak diberikan kepada mereka, atau kemampuan penyusup untuk membaca data saat transit antara dua komputer.

5. *Denial of Service (DoS)* - kegagalan layanan

Serangan DoS difokuskan pada sumber daya (situs, aplikasi, server) sehingga layanan tidak tersedia. Ada banyak cara untuk membuat layanan tidak tersedia yaitu dengan memanipulasi paket jaringan, pemrograman, logika, atau kerentanan penanganan sumber daya. Serangan DoS secara signifikan dan terus menerus dapat menyebabkan penundaan respons dan gangguan layanan, yang berdampak langsung pada ketersediaan layanan.

6. *Elevation of Privileges* - memperoleh hak istimewa yang lebih tinggi

Dalam jenis ancaman ini, pengguna yang tidak memiliki hak akses mendapatkan hak istimewa yang lebih tinggi dan dengan demikian memiliki akses yang cukup untuk berkompromi, memanipulasi, merusak atau menghancurkan seluruh sistem. Peningkatan ancaman hak istimewa termasuk situasi di mana penyerang telah secara efektif menembus semua pertahanan sistem keamanan dan menjadi bagian dari sistem tepercaya.

Shapash Nuclear Research Institute (SNRI)

Shapash Nuclear Research Institute (SNRI) merupakan sebuah ilustrasi fasilitas nuklir yang diterbitkan dalam bentuk buku oleh *International Atomic Badan Energi* (IAEA) pada tahun 2013. Pada Mei 2017, IAEA menguji coba penggunaan model tiga dimensi (3D) dan interaktif dari SNRI dan digunakan sebagai model untuk pelatihan-pelatihan terhadap keamanan fasilitas nuklir. Model ini memungkinkan pengguna untuk bergerak di sekitar fasilitas seolah-olah mereka adalah pekerja atau pengunjung di fasilitas nyata. Aset model digambar menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D standar dan umumnya jenis file yang didukung. Perangkat lunak interaktif *open source* yang memungkinkan pengguna untuk menjelajahi model dibangun di atas *OpenSceneGraph* dan *Delta3D open source*. [5]

SNRI memiliki 6 fasilitas/gedung operasional nuklir utama, yaitu :

1. Gedung Reaktor Penelitian;
2. Gedung Penampungan Limbah;
3. Fasilitas Sinar-X;
4. Bunker Penyimpanan Oksida;
5. Bangunan Pabrikasi Bahan Bakar;
6. Fasilitas Pengukuran Sampah; dan
7. Area Pengiriman & Penerimaan.

Area SNRI dibagi menjadi dua daerah utama yaitu :

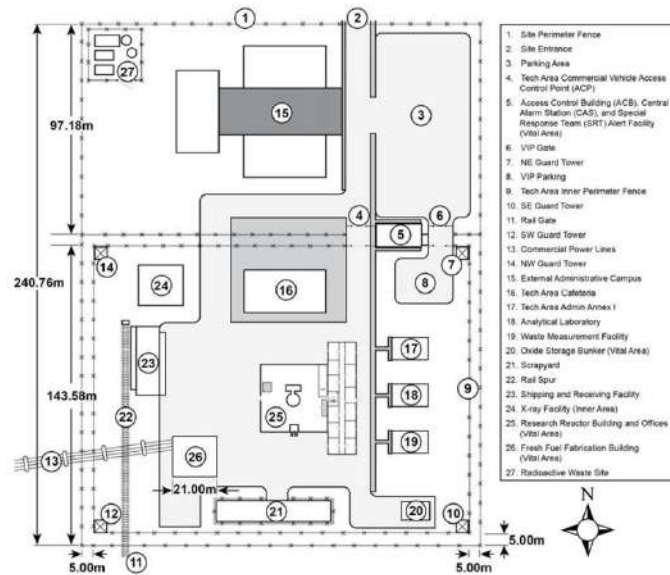
1. Area Administrasi (AA) dengan keamanan rendah

Pada Area Administrasi di mana sebagian besar kegiatan nonproduksi berlangsung, berisi gedung administrasi, bangunan pendukung teknis, dan Tempat Limbah Radioaktif. Sekitar 20% staf bekerja di AA.

2. Kawasan kedua adalah Kawasan Perimeter (PA).

Area dengan keamanan sangat tinggi ini berisi Gedung reaktor riset, gedung fabrikasi bahan bakar, gedung pendukung, bunker penyimpanan oksida, terminal transportasi jalan dan kereta api, dan kafetaria utama.

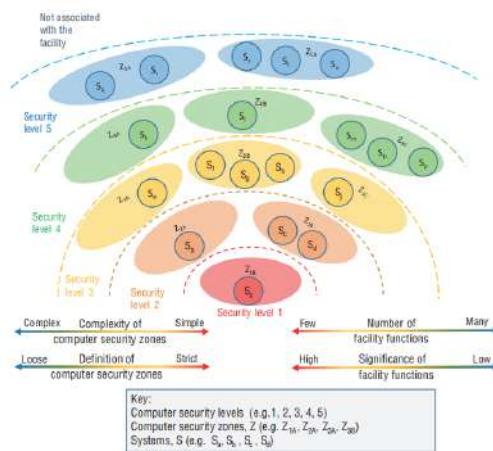
SNRI juga memproduksi bahan bakar untuk reaktor SNRI serta fasilitas lainnya. Fungsi utama SNRI adalah reaktor penelitian nuklir dengan beberapa fasilitas utama SNRI dapat dilihat secara detail pada **GAMBAR 3** berikut.



GAMBAR 3. Fasilitas utama SNRI

Fungsi dan Level Keamanan Fasilitas Nuklir [6]

Pada GAMBAR 4 dapat dilihat hubungan antara level keamanan, zona keamanan serta fungsi sistem yang ada pada fasilitas nuklir. Untuk setiap level keamanan pada zona keamanan nuklir, terdapat persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu persyaratan secara umum yang berlaku untuk setiap level keamanan dan persyaratan khusus yang berbeda-beda tergantung level keamanan, perbandingan persyaratan khusus untuk setiap level keamanan dapat dilihat pada TABEL 1.



GAMBAR 4. Hubungan antara fungsi, level dan Zona Keamanan

Persyaratan umum untuk setiap sistem dan level Keamanan

- a. Semua tindakan keamanan teknis, fisik, personil dan organisasi untuk sistem dan jaringan dirancang dan diimplementasikan secara sistematis dan sesuai dengan proses dan prosedur yang disetujui.
- b. Kebijakan dan praktik ditetapkan untuk setiap tingkat keamanan komputer.
- c. Pengguna wajib mematuhi kebijakan keamanan dan pengoperasian prosedur keamanan.
- d. Staf yang diizinkan mengakses sistem memiliki kualifikasi dan pengalaman yang sesuai serta dapat dipercaya.
- e. Pengguna dan administrator hanya memiliki akses ke ke sistem sesuai dengan fungsi-fungsi yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan. Akumulasi akses hak oleh seseorang individu dihindari.
- f. Fungsionalitas dan antarmuka sistem dibatasi sejauh mungkin, dengan tujuan mengurangi kerentanan sistem.
- g. Kontrol akses dan otentikasi pengguna yang sesuai telah tersedia.
- h. Ada perlindungan terhadap infeksi dan penyebaran malware.
- i. Pencatatan dan pemantauan keamanan, termasuk prosedur untuk respon, berada di tempat.
- j. Kerentanan aplikasi dan sistem dipantau, dan sesuai tindakan diambil.
- k. Kecukupan dan efektivitas tindakan ditinjau secara berkala.
- l. Penilaian kerentanan sistem dilakukan secara berkala.

- m. Media yang dapat dilepas dikendalikan sesuai dengan operasi prosedur keamanan.
- n. Perangkat milik pribadi tidak diizinkan untuk dihubungkan ke sistem dan jaringan.
- o. Aset digital dan langkah-langkah keamanan komputer terkait sangat ketat dipelihara dengan menggunakan prosedur manajemen perubahan yang berlaku.
- p. Prosedur pencadangan dan pemulihan yang tepat tersedia.
- q. Perangkat layanan ditetapkan ke tepat satu tingkat keamanan komputer.
- r. Akses fisik ke komponen dan sistem, termasuk perangkat layanan, adalah dibatasi sesuai dengan fungsinya.
- s. Tindakan untuk mencegah masuknya sistem secara tidak sah ke dalam komputer zona keamanan ada.
- t. Hanya pengguna yang disetujui dan memenuhi syarat yang diizinkan untuk membuat modifikasi pada sistem.

TABEL 1. Persyaratan khusus (minimal) untuk setiap level keamanan

	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Aliran data	Tidak ada aliran data apapun	Aliran data searah dari level 2 ke level 3	Terbatas, protokol jaringan	Terbatas	Normal
Hak akses data	Prosedur (sangat) ketat	Terbatas	Penggunaan Firewall	Penggunaan Firewall	Terbatas, Leveling
Hak akses fisik	Sangat terbatas	Terbatas	Terbatas	Dikendalikan	Dikendalikan
Akses pemeliharaan jarak jauh	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	Sangat terbatas	Terbatas	Terbatas
Log/pencatatan aktifitas	Semua aktivitas dan peristiwa keamanan potensial dicatat dan dipantau	Dikontrol dan didokumentasikan secara ketat	Logging dan audit untuk sumber daya utama dipantau	Loging sistem	Loging sistem
Akses Administrasi	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	Tidak disarankan (otentikasi dua faktor).	Terbatas	Normal
Akses internet	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	Tidak disarankan (sangat terbatas)	Diperbolehkan

Arsitektur Zona Pertahanan Keamanan Siber

Zona pertahanan keamanan siber pada fasilitas nuklir seperti terlihat pada **GAMBAR 5**, terbagi menjadi 5 level kategori, yaitu :

1. Level 5: Zona Perusahaan

Level 5 adalah tempat sistem dan aplikasi infrastruktur TI perusahaan berada. Biasanya, akses jarak jauh VPN dan layanan akses Internet perusahaan berada di level ini. Komunikasi langsung antara sistem di zona perusahaan dan ICS lingkungan biasanya tidak disarankan berdasarkan tingkat risiko yang akan mengekspos organisasi untuk. Pendekatan yang lebih baik adalah mengelola akses ke lingkungan ICS melalui Zona Demiliterisasi (DMZ)

2. Level 4: Zona Perencanaan dan Administrasi Perusahaan

Level 4, sering dilihat sebagai perpanjangan dari Level 5, menampung sistem TI yang menangani pelaporan, penjadwalan, manajemen inventaris, perencanaan kapasitas, operasional dan manajemen pemeliharaan, e-mail, telepon dan layanan pencetakan. Layanan, sistem dan aplikasi di Level 4 dan 5 biasanya dikelola dan dioperasikan oleh organisasi TI

3. Level 3: Zona Monitoring

Sistem di Level 3 sering bertanggung jawab untuk mengelola kontrol operasi untuk menghasilkan produk akhir yang diinginkan. Aplikasi, layanan, dan sistem yang ditemukan pada tingkat ini meliputi: *Plant historian*, Sistem pelaporan produksi, Sistem penjadwalan produksi, Jaminan keandalan, Stasiun kerja teknik, Server File Jaringan, Layanan TI seperti DNS, DHCP, Active Directory, dan NTP, Layanan akses jarak jauh, Area pementasan. Sistem dan aplikasi di Level 3 berkomunikasi dengan sistem di Zona Perusahaan melalui DMZ (sangat terbatas). Komunikasi langsung antar sistem dalam Zona Manufaktur dan Perusahaan tidak disarankan. Selain itu, sistem di Level 3 dapat berkomunikasi dengan sistem di Level 2 (satu arah/read)

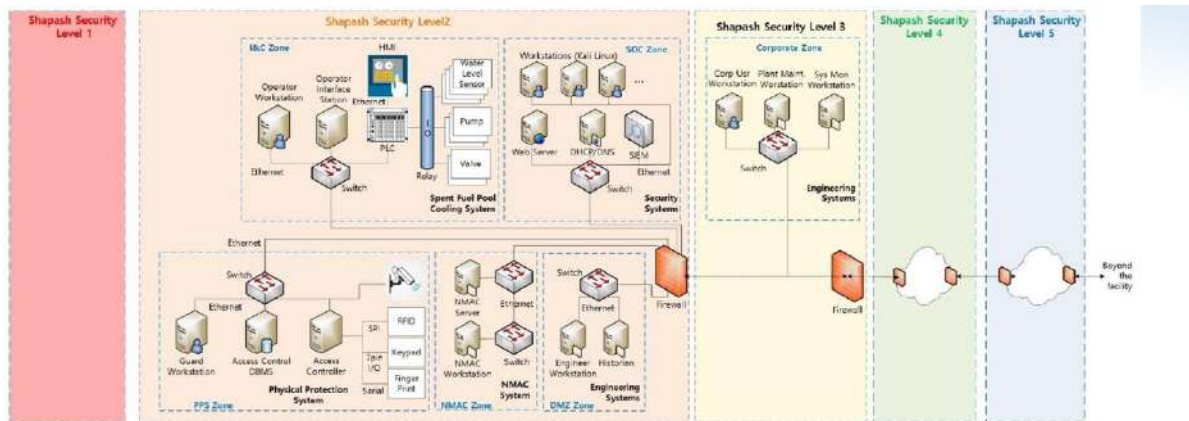
4. Level 2: Zona Operasi

Sistem ini dapat berkomunikasi dengan sistem di Level 1. Selain itu, mereka mungkin juga berinteraksi dengan sistem di zona monitoring melalui DMZ (sangat terbatas), sistem Level 2 mencakup peralatan operasi manufaktur untuk individu di area produksi. Level 2 biasanya meliputi:

- Antarmuka Mesin Manusia (HMI)
- Sistem Alarm/Peringatan
- Ruang kontrol stasiun kerja

5. Level 1: Zona Instrumen

Level 1 mencakup peralatan kontrol proses/instrumen yang menerima input dari sensor, memproses data yang dimasukkan dengan menggunakan algoritma kontrol, dan mengirimkan data yang dikeluarkan ke elemen terakhir. Perangkat di tingkat ini bertanggung jawab atas kontinuitas, urutan, batch, dan kontrol diskrit. Beberapa perangkat yang ada di level tersebut adalah *Distributed Control System (DCS)*, *Programmable Logic Controllers (PLC)*, dan *Remote Terminal Units (RTU)*. Perangkat ini menjalankan sistem operasi khusus vendor dan diprogram serta dikonfigurasi dari workstation teknik.



GAMBAR 5. Arsitektur Zona Pertahanan Keamanan Siber

PEMBAHASAN

Menggunakan visualisasi dari *Shapash Nuclear Research Institute (SNRI)*, berdasarkan fungsi-fungsi sistem pada fasilitas nuklir SHAPASH, terdapat 5 level zona keamanan siber yaitu :

Shapsh security level 1, terdiri dari zona instrument, tidak ada aliran data melalui jaringan yang terjadi pada zona ini, seluruh peralatan instrument fasilitas nuklir menerima input dari sensor-sensor dan bekerja pada sistem khusus dan tertutup, biasanya dikelola oleh vendor. Pada security level 1 berlaku pengamanan secara fisik dan memenuhi persyaratan keselamatan, pertahanan keamanan siber pada zona ini tidak dapat dijalankan karena dapat mengganggu fungsi sistem instrument

Shapsh security level 2, terdiri dari zona *Security Operation Center (SOC)* di dalam nya terdapat server-server dan aplikasi tools monitoring keamanan; pada zona DMZ, yang terdiri dari server/PC historian, PC teknisi, fungsi sistem bahan bakar dan sistem pendingin ada pada zona I&C, didalam nya terdiri dari sensor ketinggian air, pompa dan pipa yang terhubung dengan PLC dan HMI, serta PC operator; zona *Physical Protection System (PPS)* ada pada zona PPS, yaitu sensor kamanan akses fisik seperti RFID, Keypad, Finger Print yang terhubung dengan database kontrol akses dan PC penjaga. Ketentuan atau persyaratan keamanan yang dapat diterapkan pada security level 2 diantaranya adalah sistem historian menerima data log dari proses yang ada di zona I&C akan tetapi tidak dapat melakukan perintah/kontrol terhadap PLC yang ada di zona I&C; pada zona SOC terdapat tool monitoring dan analisa keamanan berdasarkan trafik jaringan yang dikirm dari setiap zona (*read*), sehingga perilaku tidak normal/anomali dapat diketahui lebih dini, untuk kemudian melakukan pengecekan langsung ke zona yang terindikasi anomali

Shapsh security level 3 terdiri dari zona corporate berisi fungsi sistem engineering, masih diperbolehkan untuk mengakses sistem engineering di zona DMS Shapsh Security level 2 menggunakan sisitem remote jarak jauh dengan akses sangat terbatas, fungsi sistem engineering pada Shapsh Security level 3 tidak diperkenankan untuk terkoneksi dengan jaringan internet maupun jaringan zona corporate lain nya.

Shapsh security level 4 terdiri dari zona administrasi perusahaan, pengoperasian dan pengelolaan sistem keamanan pertahanan siber dikelola oleh organisasi IT perusahaan, penggunaan akses IT diperbolehkan dengan tetap melakukan pengaturan-pengaturan pembatasan hak akses pada firewall perusahaan

Shapsh security level 5 terdiri dari zona perusahaan, dimana para pekerja atau staf perusahaan menjalankan proses bisnis perusahaan secara general atau umum, penggunaan akses internet diperbolehkan dengan tetap menjalankan standar keamanan IT

KESIMPULAN

Untuk dapat menentukan pengaturan penanggulangan keamanan siber pada fasilitas nuklir, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya adalah fungsi atau sistem yang berjalan, pengelompokan zona dan level keamanan berdasarkan berdasarkan analisa resiko yang ditimbulkan apabila terjadi ancaman siber. Isu keamanan siber pada infrastruktur kritis di Indonesia sudah mulai menjadi prioritas, hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi BAPETEN sebagai badan pengawas pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia yang memegang peranan penting dalam hal membuat kebijakan-kebijakan terkait keamanan siber khususnya pada fasilitas nuklir, untuk dapat membuat kebijakan terkait keamanan siber pada fasilitas nuklir, selain diperlukan pengetahuan terhadap fungsi operasi pada fasilitas nuklir diperlukan juga pengetahuan teknis terkait mekanisme aliran dan hak akses data untuk setiap fungsi operasi, sehingga ancaman-ancaman siber yang mungkin terjadi dapat diketahui dan ditanggulangi sedini mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Atomic Energy Agency., "IAEA Nuclear Security Series No. 17-T (Rev. 1), Technical Guidance Computer Security Techniques for Nuclear Facilities," 2021.
- [2] International Atomic Energy Agency., IAEA Nuclear Security Series No. 42-G Implementing Guide Computer Security for Nuclear Security. International Atomic Energy Agency, 2011.
- [3] USNRC, "Regulatory Guide 5.71, 'Cyber Security Program for Nuclear Facilities'.," 2010. [Online]. Available: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/>
- [4] IEEE Power & Energy Society and Institute of Electrical and Electronics Engineers, STRIDE-based Threat Modeling for Cyber-Physical Systems. 2017.
- [5] R. K. Larsen, "Title: Hypothetical Facility Data Book: The Shapash Nuclear Research Institute (SNRI) Intended for," 2013.
- [6] International Atomic Energy Agency., "IAEA Nuclear Security Series No. 33-T, Technical Guidance Computer Security of Instrumentation and Control Systems at Nuclear Facilities," 2018.
- [7] C. M. Hurd and M. v Mccarty, "A Survey of Security Tools for the Industrial Control System Environment," 2017. [Online]. Available: <http://www.inl.gov>
- [8] L. Obregon and B. Filkins, "SANS Institute Information Security Reading Room Secure Architecture for Industrial Control Systems," 2020.
- [9] K. Stouffer, V. Pillitteri, S. Lightman, M. Abrams, and A. Hahn, "NIST Special Publication 800-82 Revision 2, Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security," Gaithersburg, MD, Jun. 2015. doi: 10.6028/NIST.SP.800-82r2.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENENTUAN STRATEGI PENGAWASAN PLTN DI INDONESIA MENGGUNAKAN METODE ANALISIS SWOT

Winda Sarmita¹, Danung Rismawan¹, Rizal Palapa¹, Anggoro Septilarso²

¹Direktorat Inspeksi Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

²Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta

E-mail: w.sarmita@bapeten.go.id

Abstrak. Untuk menuju Indonesia bebas emisi karbon, pemerintah memproyeksikan PLTN menjadi salah satu pilihan energi yang dipertimbangkan dalam rencana pemenuhan pasokannya. Tentunya hal ini harus menjadi perhatian serius bagi seluruh pemangku kepentingan termasuk BAPETEN yang merupakan pihak yang harus terlibat didalamnya terkait pengawasan. Oleh karena itu, diperlukan suatu strategi dalam pengawasan PLTN. Strategi pengawasan PLTN dilakukan melalui metode analisis SWOT yang mengidentifikasi potensi kekuatan dan kelemahan dari sisi internal BAPETEN serta peluang dan ancaman yang mungkin terjadi berasal dari faktor eksternal BAPETEN. Dengan metode ini didapatkan kerangka besar kegiatan yang harus dilakukan dalam menyiapkan pengawasan PLTN pertama di Indonesia melalui strategi-strategi kegiatan yang teridentifikasi dari hasil analisis. Analisis SWOT yang dilakukan telah menghasilkan beberapa strategi untuk mencapai tujuan pengawasan PLTN yang diharapkan, yaitu terjaminnya kesejahteraan, keamanan dan ketenteraman masyarakat; menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup; memelihara tertib hukum dalam pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir; meningkatkan kesadaran hukum pengguna tenaga nuklir untuk menimbulkan budaya keselamatan dibidang nuklir; mencegah terjadinya perubahan tujuan pemanfaatan bahan nuklir; dan menjamin terpeliharanya dan ditingkatkannya disiplin petugas dalam pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir dengan terbangunnya PLTN di Indonesia melalui sistem pengawasan ketenaganukliran yang kuat dan komprehensif.

Kata Kunci: Strategi, PLTN, Analisis SWOT.

Abstract. To achieve the Indonesia net zero emission, the government set nuclear power plants one of part of the options that considered in the electrical supply fulfillment plan. It is needs to be considered and paid attention by stakeholders including BAPETEN which has supervision duties of nuclear technology implementation. Therefore, a strategy is needed to ensure that the nuclear power plants is well implemented and meets the requirements. The nuclear power plant supervision strategy is carried out through the SWOT analysis method which identifies potential strengths and weaknesses originating from within BAPETEN as well as opportunities and threats identified from BAPETEN outside. Through this method, a broad framework of activities that must be carried out is obtained in order to ensure the readiness of BAPETEN to supervise the first nuclear power plant in Indonesia through the identification and analysis of its implementation strategy. The SWOT analysis that has been carried out has resulted in several implementation strategies to achieve the expected goals of nuclear power plant supervision, ensuring the health and safety of workers and the public as well as protection of the environment, maintain the rule of law and increase legal awareness in the use of nuclear technology, preventing the misuse of nuclear materials, and ensure the maintenance and improvement of officer discipline in the implementation of the use of nuclear technology for the establishment of the first nuclear power plant in Indonesia through a strong and comprehensive regulatory system for supervising the use of nuclear technology.

Keywords: strategy, nuclear power plant, SWOT analysis, net-zero emission.

PENDAHULUAN

Reaktor nuklir merupakan salah satu jenis instalasi nuklir. Reaktor nuklir dioperasikan menggunakan bahan bakar nuklir yang dapat menghasilkan reaksi inti berantai yang terkendali dan digunakan untuk pembangkitan daya atau penelitian, dan/atau produksi radioisotop. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir atau PLTN adalah sebuah pembangkit daya thermal yang menggunakan satu atau beberapa reaktor nuklir sebagai sumber panasnya. Prinsip kerja sebuah PLTN dengan tipe berpendingin air hampir sama dengan sebuah Pembangkit

Listrik Tenaga Uap, menggunakan uap bertekanan tinggi untuk memutar turbin. Putaran turbin inilah yang diubah menjadi energi listrik. Perbedaannya ialah sumber panas yang digunakan untuk menghasilkan panas.

Berdasarkan artikel tentang pengenalan PLTN yang ditulis dalam laman www.batan.go.id, diinformasikan bahwa sampai tahun 2015 terdapat 437 PLTN yang beroperasi di dunia, yang secara keseluruhan menghasilkan daya sekitar 1/6 dari energi listrik dunia. Sampai saat ini sekitar 66 unit PLTN sedang dibangun di berbagai negara, antara lain Tiongkok 28 unit, Rusia 11 unit, India 7 unit, Uni Emirat Arab 4 unit, Korea Selatan 4 unit, Pakistan dan Taiwan masing-masing 2 unit. [15]

Seperti halnya program lain, program Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah merupakan pekerjaan besar yang membutuhkan perencanaan, persiapan, dan investasi yang cermat terhadap waktu dan sumber daya manusia. Lebih lanjut, program PLTN ini memiliki perbedaan yang mencolok karena adanya persyaratan keselamatan, keamanan dan garda-aman terkait dengan penggunaan bahan nuklir.

Saat suatu negara memutuskan untuk memulai program PLTN maka itu harus didasarkan pada komitmen untuk menggunakan tenaga nuklir secara selamat, aman dan damai. Komitmen besar ini membutuhkan pembangunan infrastruktur nasional yang berkelanjutan dari banyak pihak yaitu pemerintah, pengusaha instalasi nuklir, badan pengawas dan para pemangku kepentingan sepanjang siklus hidupnya.

Infrastruktur yang dibutuhkan ini tidak hanya terbatas pada fasilitas dan peralatan fisik, tetapi juga sumber daya manusia dan keuangan serta kerangka hukum dan peraturan nasional. Dengan adanya infrastruktur yang memadai, barulah kepatuhan terhadap standar keselamatan dan keamanan nuklir yang diterima secara internasional dapat ditunjukkan guna pemanfaatan tenaga nuklir yang bertanggung jawab.

Merujuk pada publikasi IAEA NG-G-3.1 (Rev.1) *Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power*, ada 3 organisasi utama yaitu pemerintah (*Nuclear Energy Programme Implementing Organization* - NEPIO), pengusaha instalasi nuklir, dan badan pengawas yang harus memastikan ketersediaan infrastruktur program PLTN. Dalam perjalanannya diperlukan suatu forum berbagi informasi terkait capaian dari masing-masing organisasi dan pihak berkepentingan lainnya [1].

Kemudian, pada Peraturan Presiden No. 18 tahun 2020 tentang RPJMN Tahun 2020 – 2024, di bagian Lampiran 3, disebutkan mengenai Pembangunan PLTN Komersial (Tambahan Baru), yaitu [2]:

- 2020 : Pengembangan teknologi PLTN disertai aspek-aspek keekonomian dan keselamatan
- 2021 : Mendorong penguasaan teknologi PLTN sejalan dengan perkembangan terkini kemajuan teknologi PLTN di dunia
- 2022 : Membangun kerja sama internasional terkait studi pengembangan PLTN
- 2023 : Melakukan analisis multikriteria terhadap implementasi PLTN mencakup kepentingan mendesak, skala besar, jaminan pasokan, keseimbangan pasokan energi, pengurangan emisi karbon, faktor keselamatan dan skala keekonomian dengan melibatkan berbagai pandangan dari berbagai stakeholder
- 2024 : Menyusun peta jalan (roadmap) implementasi PLTN sebagai pilihan terakhir dalam prioritas pengembangan energi nasional

Lebih jauh lagi, Indonesia berkomitmen mencapai target net zero emission (NZE). Untuk menuju kesana ada berbagai kebijakan skenario untuk mendukung pencapaian NZE, mulai dari bidang energi, lahan, limbah, termasuk juga fiskal. Untuk di bidang energi, pemerintah berupaya untuk melakukan skenario penurunan intensitas energi berbahan bakar fosil secara bertahap dari 1 persen hingga 6 persen per tahun. Pemerintah serius mewujudkan komitmen net zero emission (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat. Dalam mencapai target nol emisi, pemerintah tengah menerapkan lima prinsip utama, yaitu peningkatan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT), pengurangan energi fosil, kendaraan listrik di sektor transportasi, peningkatan pemanfaatan listrik pada rumah tangga dan industri, dan pemanfaatan Carbon Capture and Storage (CCS). Untuk itu, pemerintah tengah menyusun peta jalan (roadmap) demi menghadapi berbagai tantangan serta risiko perubahan iklim di masa mendatang. Pengurangan emisi karbon melalui peningkatan pemanfaatan EBT salah satunya adalah dengan pemanfaatan tenaga nuklir melalui PLTN [3]. Seiring dengan kebutuhan akan energi yang bersih dan ekonomis di Indonesia maka dimungkinkan PLTN dapat menjadi salah satu alternatif pilihan yang menarik untuk dibangun di Indonesia. Dalam rangka persiapan tersebut maka BAPETEN perlu menyiapkan infrastruktur dan Sumber Daya Manusia (SDM) dalam melakukan pengawasan PLTN.

Untuk melakukan pengawasan PLTN tersebut, terdapat beberapa tantangan yang perlu dihadapi antara lain ketersediaan regulasi yang mampu terap dalam pengawasan pembangunan PLTN, kurangnya kompetensi SDM dalam melakukan pengawasan PLTN, dan belum tersedianya infrastruktur kesiapan pengawasan PLTN. Oleh karena itu, makalah ini ditujukan untuk memberikan usulan strategi dalam pengawasan PLTN melalui analisis SWOT.

LANDASAN TEORI/POKOK BAHASAN

Manajemen Strategi

Strategi sangat diperlukan bagi suatu perusahaan dan organisasi untuk dapat menjadi lebih aktif dan peka terhadap ancaman di masa depan. Untuk faktor eksternal, ketidakpastian lingkungan perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan strategi suatu perusahaan dan organisasi [4]. Manajemen strategis dapat didefinisikan

sebagai seni dan ilmu merumuskan, mengimplementasikan, dan mengevaluasi keputusan lintas fungsi yang memungkinkan organisasi mencapai tujuannya. Manajemen strategis berfokus pada mengintegrasikan manajemen, pemasaran, keuangan dan akuntansi, produksi dan operasi, penelitian dan pengembangan, dan informasi sistem untuk mencapai keberhasilan organisasi. istilah manajemen strategis dalam teks ini digunakan sinonim dengan istilah perencanaan strategis. istilah yang terakhir ini lebih sering digunakan dalam dunia bisnis, sedangkan yang pertama sering digunakan di dunia akademis. Terkadang istilah strategis manajemen digunakan untuk merujuk pada perumusan strategi, implementasi, dan evaluasi dan perencanaan strategis hanya mengacu pada perumusan strategi. Tujuan manajemen strategis adalah untuk mengeksplorasi dan menciptakan peluang baru dan berbeda untuk hari esok; serta perencanaan jangka Panjang. Proses manajemen strategis terdiri dari tiga tahap: perumusan strategi, strategi implementasi, dan evaluasi strategi. Perumusan strategi termasuk mengembangkan visi dan misi, mengidentifikasi peluang dan ancaman eksternal organisasi, menentukan kekuatan dan kelemahan, menetapkan tujuan jangka panjang, menghasilkan strategi alternatif, dan memilih strategi [5].

Analisis SWOT

Analisis SWOT adalah bagian dari proses perencanaan suatu kegiatan. Analisis ini akan membantu dalam penyusunan strategi agar suatu institusi dapat memulai kegiatan dengan langkah yang benar dan mengetahui arah yang akan dituju. Analisis SWOT (kekuatan, kelemahan, peluang, ancaman) adalah pendekatan yang kuat untuk mengevaluasi kekuatan dan kelemahan organisasi dengan perspektif internal. Pendekatannya juga memperhitungkan peluang dan ancaman dari sudut pandang eksternal. Fitur-fitur SWOT adalah pendekatan yang umum digunakan dalam manajemen strategis [6]. Analisis SWOT merupakan suatu instrumen pengidentifikasian berbagai faktor yang terbentuk secara sistematis yang digunakan untuk merumuskan strategi. Pendekatan analisis ini didasarkan pada logika yang dapat memaksimalkan kekuatan dan peluang sekaligus dapat meminimalkan kelemahan dan ancaman. Secara singkat analisis SWOT dapat diterapkan dengan cara menganalisis dan memilah hal-hal yang memengaruhi keempat faktornya. Dengan demikian, hasil dari analisis dapat membentuk perencanaan strategi berdasarkan hasil analisis terhadap faktor-faktor strategis perusahaan (kekuatan, kelemahan, peluang dan ancaman) [7].

Analisis SWOT digunakan dalam proses manajemen strategis. Dia berdasarkan matriks mengenai faktor internal dan eksternal. Faktor internal terdiri dari kekuatan dan kelemahan, sedangkan faktor eksternal meliputi peluang dan ancaman. Strategi yang berbeda dapat dikembangkan berdasarkan faktor-faktor tersebut. Struktur utama matriks SWOT diberikan dalam Gambar 1. Matriks ini membantu untuk melihat kemampuan atau kekurangan suatu organisasi sambil mempertimbangkan peluang dan ancaman pasar untuk masa depan. Setiap dimensi SWOT terdiri dari faktor-faktor yang berbeda. Selanjutnya, matriks SWOT mungkin berisi strategi yang berbeda memperhatikan dimensi dan faktornya [8].



GAMBAR 1. Matriks SWOT [8]

Sesuai Gambar 1 di atas, untuk menentukan strategi yang harus dikerjakan oleh suatu organisasi maka keputusan strategi dapat dilakukan melalui hubungan dari beberapa komponen dalam analisis SWOT. Penentuan strategi berdasarkan analisis SWOT yaitu [9]:

- Strategi SO adalah strategi yang ditetapkan berdasarkan jalan pikiran organisasi yaitu dengan memanfaatkan seluruh kekuatan untuk merebut dan memanfaatkan peluang sbesar-besarnya.
- Strategi WO adalah strategi yang ditetapkan berdasarkan pemanfaatan peluang yang ada dengan cara meminimalkan kelemahan yang ada.
- Strategi ST adalah strategi yang ditetapkan berdasarkan kekuatan yang dimiliki organisasi untuk mengatasi ancaman.

- d. Strategi WT adalah strategi yang ditetapkan berdasarkan kegiatan yang bersifat defensif dan berusaha meminimalkan kelemahan yang ada serta menghindari ancaman.

Pengawasan Tenaga Nuklir

Ketenaganukliran adalah kegiatan pemanfaatan, pengembangan, dan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir serta pengawasan kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir. Tenaga nuklir selain dapat meningkatkan kesejahteraan dan daya saing bangsa juga dapat memiliki risiko bahaya radiasi. Oleh karena itu, dalam pengembangan dan pemanfaatan tenaga nuklir harus dilakukan secara tepat dan manajemen kehati-hatian dengan prioritas utama pada keselamatan, keamanan, kesehatan pekerja dan masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Untuk memastikan keselamatan, kesehatan pekerja dan masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup, maka harus dilakukan pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997, Pasal 14 dijelaskan bahwa pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir melalui perizinan, inspeksi, dan peraturan. Kemudian, dalam Pasal 15 dari UU tersebut dinyatakan bahwa pengawasan dilakukan untuk menjamin keselamatan, keamanan, dan safeguards bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Selanjutnya, Pasal 4 menjelaskan bahwa pengawasan tenaga nuklir dilaksanakan oleh Badan Pengawas, dimana pengawasan tenaga nuklir tersebut dilakukan melalui 3 pilar utama yaitu pembuatan peraturan, proses perizinan, dan pelaksanaan inspeksi [10].

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Resiko untuk dapat memperoleh perizinan berusaha di sektor ketenaganukliran, termasuk pembangunan PLTN, Pelaku Usaha wajib untuk memenuhi persyaratan dasar Perizinan Berusaha terlebih dahulu. Persyaratan dasar Perizinan Berusaha tersebut meliputi kesesuaian kegiatan pemanfaatan ruang, persetujuan lingkungan, persetujuan bangunan gedung, dan sertifikat laik fungsi [11]. Lebih jauh, selain persyaratan tersebut di atas, pada Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir telah diidentifikasi tentang ketentuan persyaratan administrasi lainnya untuk pembangunan reaktor nuklir dari lembaga pemerintah lainnya seperti menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang kehutanan, pekerjaan umum, ketenagakerjaan, ketenagalistrikan, dan pemerintah daerah setempat [12].

Selain itu, di dalam Peraturan Presiden No 60 Tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi telah ditetapkan kebijakan dan strategi nasional keselamatan nuklir dan radiasi untuk jangka waktu 15 (lima belas) tahun terhitung sejak tahun 2020 sampai dengan tahun 2035. Pada Butir I.C.2.a.(I) telah ditetapkan Rencana Program Menyiapkan Infrastruktur Pengawasan Pembangunan Reaktor Daya dimana BAPETEN bertindak sebagai sektor utama yang didukung oleh Kementerian Perindustrian, Kementerian ESDM, dan BATAN yang pada saat ini telah bergabung dalam BRIN. Dalam rencana ini ditargetkan pada tahun 2024 telah tersedia infrastruktur pengawasan pembangunan reaktor daya [13].

PEMBAHASAN DAN HASIL

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

Analisis SWOT pengawasan PLTN diidentifikasi berdasarkan komponen SWOT yaitu kekuatan (strength), kekurangan (weakness), kesempatan (opportunity), dan ancaman (threat). Untuk dapat mengidentifikasi komponen tersebut maka harus diuraikan mengenai kedudukan badan pengawas tenaga nuklir di Indonesia, tugas dan fungsi, visi-misi, serta tujuan strategi. BAPETEN adalah Lembaga Pemerintah Non-Kementerian (LPNK) yang berada di bawah dan bertanggung jawab langsung kepada Presiden, yang dibentuk berdasarkan Pasal 4 Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 sebagaimana telah diubah dengan Pasal 43 angka 2 UU 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja, dan dilaksanakan pertama kali melalui Keputusan Presiden Nomor 76 Tahun 1998 yang selanjutnya dicabut dan terakhir diatur dengan Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja LPND, yang beberapa kali telah diubah terakhir dengan Peraturan Presiden RI Nomor 145 Tahun 2015. Di dalam Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tersebut disebutkan bahwa tugas pokok BAPETEN ialah melaksanakan tugas pemerintahan di bidang pengawasan tenaga nuklir melalui peraturan, perizinan dan inspeksi. Pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia didasarkan pada Pasal 14 Undang-Undang Nomor 10 tahun 1997 yang menyebutkan bahwa pengawasan terhadap tenaga nuklir dilaksanakan oleh Badan Pengawas melalui peraturan, perizinan dan inspeksi dari aspek keselamatan (*safety*), keamanan (*security*) dan garda-aman (*safeguards*). Untuk itu diharapkan dalam melaksanakan tugasnya BAPETEN dapat memberikan rasa aman dan tenteram bagi pekerja dan masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup [14].

Sesuai dengan Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001, dalam melaksanakan tugas pengawasannya BAPETEN menyelenggarakan fungsi:

- a. Pengkajian dan penyusunan kebijakan nasional di bidang pengawasan tenaga nuklir;
- b. Koordinasi kegiatan fungsional dalam pelaksanaan tugas BAPETEN;
- c. Fasilitasi dan pembinaan terhadap kegiatan instansi pemerintah di bidang
- d. pengawasan tenaga nuklir; dan

- e. Penyelenggaraan pembinaan dan pelayanan administrasi umum di bidang perencanaan umum, ketatausahaan, organisasi dan tata laksana, kepegawaian, keuangan, kearsipan, hukum, persandian, perlengkapan dan rumah tangga.

Dalam menyelenggarakan fungsinya, sesuai dengan Keputusan Presiden Nomor 103 tahun 2001, BAPETEN mempunyai wewenang:

- a. Penyusunan rencana nasional di bidang pengawasan tenaga nuklir;
- b. Perumusan kebijakan di bidang pengawasan tenaga nuklir untuk mendukung pembangunan nasional;
- c. Penetapan persyaratan akreditasi dan sertifikasi di bidang pengawasan tenaga nuklir; dan
- d. Kewenangan lain yang melekat dan telah dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku yaitu:
 - i. Perumusan dan pelaksanaan kebijakan tertentu di bidang pengawasan tenaga nuklir;
 - ii. Perumusan kebijakan pengawasan pemanfaatan teknologi tinggi yang strategis di bidang pengawasan tenaga nuklir;
 - iii. Penetapan pedoman pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir;
 - iv. Penjaminan kesejahteraan, keamanan, dan ketenteraman masyarakat dari bahaya nuklir;
 - v. Penjaminan keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan lingkungan hidup dari bahaya nuklir; dan
 - vi. Pencegahan terjadinya perubahan tujuan pemanfaatan bahan nuklir.

Berdasarkan tugas pokok, fungsi, wewenang, serta untuk menjawab perkembangan permasalahan dan tantangan yang ada, maka ditetapkan Visi BAPETEN pada tahun 2020 – 2024 sebagai berikut:

Visi : Menjadi Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang andal, profesional, inovatif, dan berintegritas dalam pelayanan kepada Presiden dan Wakil Presiden untuk mewujudkan Visi dan Misi Presiden dan Wakil Presiden: " Indonesia Maju yang Berdaulat, Mandiri, dan berkepribadian berlandaskan Gotong Royong.

Dalam rangka mewujudkan visi tersebut, maka Misi BAPETEN adalah mendukung misi Presiden dan Wakil Presiden yaitu:

Misi: Menjamin keselamatan, keamanan, dan garda-aman dalam pemanfaatan tenaga nuklir sesuai standar internasional dalam rangka meningkatkan daya saing; dan
Meningkatkan kapasitas organisasi

Dalam rangka mencapai visi dan misi BAPETEN seperti yang dikemukakan di atas, maka visi dan misi tersebut dirumuskan ke dalam bentuk yang lebih terarah dan operasional berupa perumusan tujuan strategis (strategic goals). Dalam rangka memecahkan permasalahan yang dihadapi seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya dalam rangka mewujudkan visi dan melaksanakan misi BAPETEN, maka Tujuan Strategis yang harus dicapai adalah:

“Terwujudnya pengawasan ketenaganukliran yang efektif untuk memastikan kondisi keselamatan, keamanan dan ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan lingkungan hidup.”

Analisis SWOT Pengawasan Tenaga Nuklir

Analisis SWOT merupakan suatu instrumen pengidentifikasian berbagai faktor yang terbentuk secara sistematis yang digunakan untuk merumuskan strategi. Pendekatan analisis ini didasarkan pada logika yang dapat memaksimalkan kekuatan dan peluang sekaligus dapat meminimalkan kelemahan dan ancaman. Secara singkat analisis SWOT dapat diterapkan dengan cara menganalisis dan memilah hal-hal yang memengaruhi keempat faktornya. Dengan demikian, hasil dari analisis dapat membentuk perencanaan strategi berdasarkan hasil analisis terhadap faktor-faktor strategis organisasi (kekuatan, kelemahan, peluang dan ancaman). Analisis SWOT ini dilakukan untuk mewujudkan visi-misi secara umum dan khususnya untuk mencapai tujuan strategis yang telah ditetapkan. Analisis SWOT diidentifikasi sesuai dengan tugas, fungsi, dan wewenang BAPETEN.

Kekuatan (*Strengths*)

BAPETEN melakukan pengawasan tenaga nuklir melalui pembuatan peraturan, perizinan, dan inspeksi. Kekuatan yang dimiliki terkait dengan PLTN yaitu memiliki peraturan terkait reaktor daya yang telah mengatur semua aspek keselamatan pada setiap tahap perizinan hingga dapat digunakan dalam implementasi pengawasan PLTN, memiliki SDM yang berpengalaman dalam melakukan pembuatan peraturan terkait reaktor non daya, evaluasi izin pada tahap tapak untuk reaktor daya dan perizinan untuk reaktor non daya, serta inspeksi pada seluruh instalasi nuklir yang ada di Indonesia yang terdiri dari reaktor non daya dan instalasi nuklir non reaktor, kemudian pengalaman dalam berbagai peran dalam responder nuklir dan penggunaan alat pendukung pengawasan. Untuk mendukung semua kegiatan pengawasan telah dilengkapi dengan dokumen teknis baik berupa prosedur, pedoman, maupun SOP dalam melakukan kegiatan pengawasan PLTN, dan memiliki perangkat keras komputasi yang memadai berupa Laboratorium Komputasi dan High Performance Computing serta memiliki personil yang berpengalaman dalam komputasi bidang neutronik dan termohidrolik reaktor riset.

Kekuatan ini akan menjadi dasar BAPETEN dalam meningkatkan dan mengembangkan apa yang sudah dimiliki untuk mempersiapkan pengawasan PLTN.

Kelemahan (*Weakness*)

Kelemahan yang diidentifikasi terkait PLTN yaitu peraturan yang terbit kurang fleksibel terhadap perkembangan teknologi PLTN dan beberapa belum digunakan karena PLTN di Indonesia sampai saat ini tidak ada, peraturan selain tapak masih kurang memadai untuk tiap tahapan pembangunan PLTN, belum tersedia program pengembangan SDM pengawasan PLTN yang terintegrasi, dokumen teknis yang telah dibuat oleh masing-masing unit kerja merupakan dokumen teknis yang dibuat tahun yang sudah lama dan belum pernah digunakan, keterbatasan SDM yang memahami tentang PLTN, serta beberapa sarana dan prasarana yang masih belum tersedia dalam pengawasan PLTN. Kelemahan yang telah diidentifikasi menjadi dasar BAPETEN dalam memperbaiki, meningkatkan dan mengembangkan agar kekurangan tersebut dapat segera diatasi, sehingga BAPETEN lebih siap dalam pengawasan PLTN.

Peluang (*Opportunity*)

Kesempatan yang diidentifikasi adalah adanya rencana terkait PLTN dalam Peraturan Presiden Nomor 18 Tahun 2020 tentang RPJMN Tahun 2020-2024, adanya program pemerintah untuk menerapkan zero carbon di Indonesia, ketersediaan tenaga ahli di tingkat nasional maupun internasional dalam mendukung implementasi PLTN, dukungan pemerintah dalam program pengembangan SDM, bantuan Lembaga internasional (IAEA, NEA-OECD) serta kerja sama dengan badan pengawas dan lembaga teknis dari negara termuka dalam pengawasan PLTN.

Ancaman (*Threat*)

Ancaman yang diidentifikasi adalah belum adanya kebijakan pemerintah untuk Go Nuklir, teknologi PLTN yang akan digunakan belum diputuskan secara resmi, kondisi ideologi, politik, ekonomi, sosial, budaya dan keamanan sekitar tapak PLTN dalam rangka identifikasi kajian kerawanan, penerimaan Masyarakat masih rendah yang dipengaruhi oleh faktor-faktor pengetahuan yang cukup terhadap implementasi PLTN, belum tersedia TSO didalam negeri yang dapat sepenuhnya memenuhi kebutuhan pengawasan PLTN, serta belum tersedia perangkat lunak komersial yang tersedia untuk reaktor Gen. IV non LWR.

Penentuan Strategi Pengawasan PLTN

Untuk mewujudkan visi-misi dan tujuan strategis BAPETEN yang telah ditetapkan terutama untuk pengawasan PLTN, maka dalam implementasinya perlu dibuat program kerja untuk Bapeten terkait pengawasan PLTN. Program kerja berdasarkan analisis SWOT dan Renstra Bapeten tahun 2020-2024 adalah:

PELAKSANAAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PENGAWASAN PLTN

Dari program tersebut akan diturunkan menjadi strategi-strategi yang akan dilakukan agar program kerja tersebut dapat tercapai. Strategi ditetapkan berdasarkan faktor internal dan eksternal lembaga (BAPETEN), sebagaimana telah diidentifikasi menggunakan analisis SWOT. Metode penentuan strategi berdasarkan pada strategi kombinasi SWOT yaitu antara lain:

a. Strategi kekuatan dan kesempatan (SO)

Pada strategi ini dilakukan pemanfaatan kekuatan dan peluang yang dimiliki BAPETEN sebagaimana telah diuraikan pada bagian 2. Analisis SWOT Pengawasan Tenaga Nuklir diatas seoptimal mungkin untuk mencapai tujuan dari program yang direncanakan.

b. Strategi kelemahan dan kesempatan (WO)

Pada strategi ini diupayakan untuk meminimalkan kelemahan berdasarkan peluang yang dimiliki BAPETEN sebagaimana telah diuraikan pada bagian 2. Analisis SWOT Pengawasan Tenaga Nuklir diatas. Peluang dimanfaatkan untuk mereduksi kelemahan untuk mencapai tujuan.

c. Strategi kekuatan dan ancaman (ST)

Pada strategi ini digunakan kekuatan serta sumber daya yang ada untuk mengatasi ancaman, sehingga mampu untuk mereduksi ancaman terhadap tujuan yang ingin dicapai.

d. Strategi kelemahan dan ancaman (WT)

Pada strategi ini diupayakan untuk meminimalkan kelemahan serta menghindari ancaman agar tujuan dapat tercapai.

Strategi pengawasan PLTN yang di dapatkan melalui kombinasi dari unsur-unsur SWOT dielaborasi menjadi sebuah rumusan strategi pelaksanaan untuk mencapai tujuan pengawasan ketenaganukliran yang efektif dan berkesinambungan, dan diperoleh rumusan sebagaimana tercantum pada matriks sebagaimana dideskripsikan pada Gambar 2 dibawah ini.

	Strengths (S)	Weakness (W)
Opportunities (O)	Strategi SO 1. Pengembangan sistem pengawasan PLTN melalui peraturan, perizinan dan inspeksi 2. Kerjasama nasional dan internasional terkait Pengawasan PLTN melalui peraturan, perizinan dan inspeksi	Strategi WO 1. Peningkatan kompetensi SDM di perizinan dan inspeksi 2. peningkatan sarana dan prasarana pengawasan PLTN
Threats (T)	Strategi ST 1. Pelaksanaan peraturan, perizinan, dan inspeksi 2. Peningkatan Komunikasi Publik terkait Sistem Pengawasan PLTN melalui perizinan dan inspeksi	Strategi WT 1. Peningkatan kompetensi SDM di perizinan dan inspeksi 2. Pengembangan sistem pengawasan PLTN melalui peraturan, perizinan dan inspeksi

GAMBAR 2. Matriks SWOT dalam Penentuan Strategi Pengawasan PLTN

Berdasarkan Gambar 2 di atas, maka strategi yang harus diterapkan untuk mewujudkan program pengawasan PLTN adalah sebagai berikut:

- a. Pengembangan sistem pengawasan PLTN melalui peraturan, perizinan dan inspeksi
 Pengembangan sistem pengawasan disini berupa dokumen teknis yang dikembangkan sebagai pendukung dalam penyusunan peraturan, proses perizinan, dan pelaksanaan inspeksi. Dokumen teknis tersebut dibuat melalui analisis dan kajian dari unit kerja terkait yang ada di BAPETEN.
- b. Kerjasama nasional dan internasional terkait Pengawasan PLTN melalui peraturan, perizinan dan inspeksi
 Dalam pengawasan PLTN diperlukan banyak disiplin ilmu, tidak hanya ilmu nuklir atau radiasi, namun disiplin ilmu lain mulai dari tahap tapak sampai ke pengoperasian reaktor nuklir. Tidak semua SDM BAPETEN memiliki kompetensi yang diperlukan dalam pengawasan PLTN mulai dari tahap tapak sampai ke pengoperasian, sehingga diperlukan tenaga ahli, akademisi dan Lembaga terakreditasi yang diperlukan dalam pengawasan tersebut. Selain itu, untuk melakukan pengujian-pengujian, BAPETEN memerlukan Lembaga uji terakreditasi. Oleh karena itu, kerjasama nasional dan internasional diperlukan terkait pengawasan PLTN baik dalam hal penyusunan peraturan, proses perizinan, dan pelaksanaan inspeksi.
- c. Peningkatan kompetensi SDM di perizinan dan inspeksi
 Kompetensi SDM pengawas tentu saja harus dijaga dan ditingkatkan. Langkah awal dalam kompetensi SDM dilakukan melalui identifikasi kebutuhan dan kompetensi SDM pengawas PLTN, penguatan dan pengembangan kompetensi di bidang tapak, penguatan dan pengembangan kompetensi di bidang konstruksi, penguatan dan pengembangan kompetensi di bidang komisioning, dan penguatan dan pengembangan kompetensi di bidang operasi. Peningkatan kompetensi ini dapat dilakukan melalui pelatihan, workshop, loka karya, seminar, maupun on job training (OJT). Peningkatan kompetensi SDM ini sangat penting dalam penyusunan peraturan, proses perizinan, dan pelaksanaan inspeksi.
- d. Peningkatan sarana dan prasarana pengawasan PLTN
 Sarana dan prasarana yang mendukung pengawasan PLTN seperti pembangunan laboratorium kanal termohidrolik, pembangunan laboratorium uji dan analisis material, pembangunan laboratorium kimia radiasi dan lingkungan, melakukan upgrade High Performance Computing, dan pengadaan Software analisis pada tiap tahap izin PLTN. Selain itu, pengembangan dan peningkatan peralatan dan perlengkapan sistem pengawasan juga diperlukan seperti alat ukur radiasi sebagai perlengkapan inspeksi, internet, laptop, dan infrastruktur lainnya.

KESIMPULAN

Analisis SWOT yang dilakukan telah menghasilkan beberapa strategi untuk mencapai tujuan pengawasan PLTN yang diharapkan, yaitu terjaminnya kesejahteraan, keamanan dan ketentraman masyarakat; menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup; memelihara tertib hukum dalam pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir; meningkatkan kesadaran hukum pengguna tenaga nuklir untuk menimbulkan budaya keselamatan dibidang nuklir; mencegah terjadinya perubahan tujuan pemanfaatan bahan nuklir; dan menjamin terpeliharanya dan ditingkatkannya disiplin petugas dalam pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir dengan terbangunnya PLTN di Indonesia melalui sistem pengawasan ketenaganukliran yang kuat dan komprehensif. Melalui strategi-strategi pengawasan maka dapat ditetapkan kegiatan apa saja yang dibutuhkan dalam rangka pengawasan PLTN oleh BAPETEN serta waktu pelaksanaannya dengan tepat sesuai dengan kebutuhan sistem, sehingga dapat terbentuk suatu sistem pengawasan PLTN yang efektif dan efisien.

Secara lengkap strategi dalam pengawasan PLTN melalui analisis SWOT dapat dilihat pada dokumen Roadmap Pengawasan PLTN yang disahkan oleh Plt. Kepala BAPETEN pada tanggal 31 Desember 2021 dan diterbitkan sebagai Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor: 0528/K/III/2022 Tentang Peta Jalan Pengawasan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Tahun 2022–2035.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA. (2015) Milestones In The Development Of A National Infrastructure For Nuclear Power. IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1 (Rev. 1), Vienna.
- [2] RI. (2018) Peraturan Presiden No. 18 tahun 2020 tentang RPJMN Tahun 2020 – 2024.
- [3] <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/ini-prinsip-dan-peta-jalan-pemerintah-capai-net-zero-emission>. Diakses pada 14 Juni 2022.
- [4] Kurnia, Ary dan Nurcahyo, Rahmat. [2018]. Business Strategy with Uncertainty and Performance in Freight Forwarding Industry. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung, Indonesia, March 6-8, 2018.
- [5] David R., Freed dan David R., Forest. [2015]. Strategic Management concepts and cases. Authorized adaptation from the United States edition, entitled Strategic Management: A Competitive Advantage Approach, Concepts & Cases, 15th Edition, ISBN 978-0-13-344479-7.
- [6] Gülçin Büyüközkan and Öykü Ilicak. [2019] Integrated SWOT analysis with multiple preference relations Selection of strategic factors for social media. Kybernetes London Vol. 48 No. 3, pp. 451-470.
- [7] Vlado, Charis. [2019]. On a correlative and evolutionary SWOT analysis. Journal of Strategy and Management; Bingley Vol. 12, Iss. 3: 347-363. DOI:10.1108/JSMA-02-2019-0026.
- [8] Gülçin Büyüközkan, dkk. [2021] An integrated SWOT based fuzzy AHP and fuzzy MARCOS methodology for digital transformation strategy analysis in airline industry. Journal of Air Transport Management 97, 102142.
- [9] Fajar Nur'Aini DF. [2020] Teknik Analisis SWOT: Pedoman menyusun strategi yang efektif dan efisien serta cara mengelola kekuatan dan ancaman. ISBN-el: 978-623-244-404-1.
- [10] RI. (1997) Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
- [11] RI. (2021) Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Resiko.
- [12] RI. (2014) Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir.
- [13] RI. (2019) Peraturan Presiden No 60 Tahun 2019 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi.
- [14] Keputusan Presiden Nomor 76 Tahun 1998 yang selanjutnya dicabut dan terakhir diatur dengan Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja LPND, yang beberapa kali telah diubah terakhir dengan Peraturan Presiden RI Nomor 145 Tahun 2015.
- [15] <https://www.batan.go.id/index.php/id/infonuklir/pltn-infonuklir/generasi-pltn/924-pengenalan-pembangkit-listrik-tenaga-nuklir>



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



KAJIAN KELAYAKAN DAN KESELAMATAN PEMANFAATAN TANGKI PELARUTAN YELLOW CAKE DI-301 SEBAGAI EVAPORATOR LIMBAH CAIR DI PILOT CONVERSION PLANT (PCP)

Putra Oktavianto¹, Ade Saputra¹, Anita Sari², Nelsa Rahmita², Imam
Abdurrosyid¹, Mu'nisatun Sholikhah¹

¹PRTDBBNLR-BRIN, Serpong, Banten, Indonesia

²DPFK-BRIN, Serpong, Banten, Indonesia

putr008@brin.go.id

Abstrak. Limbah cair hasil samping dari seksi 400 dan 500 masih mengandung kadar uranium yang cukup tinggi sehingga tidak bisa langsung dilimbahkan ke fasilitas pengolahan limbah. Limbah ini juga tidak bisa dibuang ke lingkungan karena tidak memenuhi standar baku tingkat radioaktivitas di air (lingkungan). Hal ini menjadi masalah karena volume limbah tersebut cukup besar sehingga membuat tangki penyimpanan limbah di PCP penuh isinya. Maka dari itu perlu dilakukan pengurangan volume limbah tersebut salah satunya dengan cara evaporasi menggunakan evaporator. Pembuatan evaporator baru tentu akan membutuhkan biaya yang cukup besar sehingga perlu alternatif lain selain membuat evaporator baru yaitu memanfaatkan tangki proses di PCP sebagai evaporator. Salah satu tangki yang bisa digunakan untuk melakukan evaporasi adalah tangki pelarutan DI-301 di seksi 300 (unit proses pelarutan). Namun perlu dilakukan pengkajian kelayakan dan keselamatan terhadap pemanfaatan ini agar tidak menimbulkan efek yang dapat membahayakan baik operator maupun lingkungan sekitar. Kajian kelayakan dilakukan dengan menganalisa apakah tangki pelarutan DI-301 bisa dimanfaatkan sebagai evaporator atau tidak. Kajian kelayakan ini dilihat dari ketersediaan perangkat yang dimiliki oleh tangki pelarutan DI-301 apakah mendukung untuk dijadikan sebuah evaporator. Sedangkan kajian keselamatan dilakukan dengan menganalisa kemungkinan bahaya yang bisa terjadi saat dilakukan proses evaporasi serta ketersediaan sistem kendali proses pada tangki pelarutan DI-301 dalam mencegah terjadinya bahaya yang mungkin terjadi sehingga proses evaporasi bisa dilakukan dengan aman. Dari kajian kelayakan didapatkan hasil bahwa tangki pelarutan DI-301 memiliki perangkat utama yang dapat mendukung untuk dijadikan sebagai evaporator yaitu ketersediaan sistem pemanas dan pendingin serta kondensor. Sedangkan dari kajian keselamatan didapatkan hasil bahwa tangki pelarutan DI-301 memiliki beberapa sistem kendali proses yang dapat mencegah terjadinya bahaya karena kecelakaan proses. Dari hasil kajian kelayakan dan keselamatan dapat disimpulkan bahwa tangki pelarutan DI-301 bisa dimanfaatkan menjadi evaporator untuk mengurangi volume limbah cair hasil samping dari seksi 400 dan 500 setidaknya 80% dari volume total maksimal volume tangki pelarutan DI-301 (400 L) dalam satu kali proses.

Kata Kunci : Limbah Cair, Evaporasi, Evaporator, Tangki Pelarutan DI-301, Kajian Kelayakan dan Keselamatan

Abstract. The liquid waste side product from sections 400 and 500 still contains a high enough uranium content that it cannot be directly discharged into waste treatment facility. This waste also cannot be disposed to the environment because it does not meet requirement the radioactivity level in the water (environment). This can be a problem because the volume of the waste is very much so that the waste storage tank at the PCP is full. Therefore, it is necessary to reduce the volume of the waste, one of them is by evaporation using an evaporator. The manufacture of a new evaporator will certainly require a very much cost so that other alternatives are needed besides making a new evaporator, namely utilizing the process tank in the PCP as an evaporator. One of the tanks that can be used to do evaporation is to use the dissolving tank DI-301 in section 300 (dissolving process unit). However, it is necessary to do a feasibility and safety assessment of this utilization so as not to cause effects that can make a danger both the operator and the surrounding environment. A feasibility study is to do by analyzing whether the dissolving tank DI-301 can be used as an evaporator or not. This feasibility study is seen from the availability of devices owned by dissolving tank DI-301 whether it supports being used as an evaporator. While the safety study was to do by analyzing the possible hazards that could occur when the evaporation process was to do using the dissolving tank DI-301 and the availability of a process control system in the dissolving tank DI-301 in dealing with the hazards that occurred so that the evaporation process could be carried out safely. From the feasibility study, it was found that the dissolving tank DI-301 has the main device that can support it to be used as an evaporator, namely the availability of heating and cooling systems and also a condenser. Meanwhile, from the safety study, it was found that the dissolving tank DI-301 has several process control systems that can prevent hazards due to process accidents. From the results of the feasibility and safety study of the dissolving tank DI-301, it can be concluded that the dissolving tank DI-301 can be used

as an evaporator to reduce the volume of liquid waste side products from sections 400 and 500.

Keywords : *Liquid Waste, Evaporation, Evaporator, Dissolving Tank DI-301, Feasibility and Safety Study*

PENDAHULUAN

Pilot Conversion Plant (PCP) merupakan fasilitas proses konversi untuk produksi serbuk UO_2 berderajat nuklir (*nuclear grade*) dari bahan baku *yellow cake* (YC) dengan kapasitas desain 100 kg UO_2 / hari. PCP terdiri dari 12 Seksi yaitu seksi 100 sampai seksi 1200. Setiap seksi mempunyai fungsi yang spesifik sesuai dengan kebutuhan dalam alur proses konversi [1]. Unit pelarutan (Seksi 300) di PCP berfungsi untuk melarutkan padatan YC menjadi larutan uranil nitrat (UN) / $UO_2(NO_3)_2$ [2]. Proses pelarutan bertujuan untuk merubah uranium dalam bentuk padatan *yellow cake* menjadi uranium bentuk cair dalam larutan UN sehingga memudahkan proses pemisahan uranium dengan pengotor-pengotornya pada proses pemurnian agar tercapai uranium *nuclear grade* [3]. Proses pelarutan serbuk YC dilakukan dengan menggunakan asam nitrat (HNO_3) dengan menggunakan 3 (tiga) parameter proses yaitu konsentrasi asam nitrat, suhu proses pelarutan dan laju pengadukan [4]. Dengan mengacu pada parameter proses yang telah ditetapkan maka dapat diperoleh hasil pelarutan yang cukup optimal. YC terikat dalam bentuk oksida U_3O_8 sehingga jika direaksikan dengan asam nitrat HNO_3 akan menghasilkan larutan uranil nitrat dengan mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut



Proses pelarutan dilakukan dalam tangki pelarutan DI-301 (*dissolver tank*), menggunakan sistem pemanas berbasis uap (*steam*) dan sebagai pengaduk digunakan sistem pengaduk udara tekan (*compressed air*) yang disemburkan dari bawah tangki pelarutan DI-301 [5,6]. Limbah cair hasil samping dari proses pemurnian dan proses regenerasi TBP kerosin pada seksi 400 dan 500 masih mengandung kadar uranium yang cukup tinggi sehingga tidak bisa langsung dilimbahkan ke fasilitas pengolahan limbah milik DPFK-ORTN BRIN. Limbah ini juga tidak bisa dibuang ke lingkungan karena tidak memenuhi standar baku tingkat radioaktivitas di air (lingkungan) sebesar $0,54 \mu Ci/m^3$ yang tercantum pada Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2017 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan [7]. Hal ini menjadi masalah karena volume limbah tersebut cukup besar dan terus bertambah seiring dengan berjalannya proses di seksi 400 dan 500 sehingga membuat tangki penyimpanan limbah di PCP penuh isinya. Maka dari itu perlu dilakukan pengurangan volume limbah tersebut, salah satunya dengan cara evaporasi yaitu memanaskan cairan limbah pada suhu diatas $100^\circ C$ untuk menghilangkan kadar airnya sehingga tersisa uraniumnya saja. Uranium hasil evaporasi ini bisa dilarutkan kembali sebagai umpan proses pelarutan, sedangkan uap airnya dikondensasikan kembali menjadi cairan yang diharapkan kadar uraniumnya sudah sangat kecil sehingga sudah bisa dilimbahkan.

Evaporasi sendiri adalah salah satu kaedah utama dalam industri kimia yang berfungsi untuk memekatkan larutan yang encer. evaporasi juga berarti menghilangkan air dari larutan dengan mendidihkan larutan di dalam tabung yang sesuai yang disebut evaporator. Evaporasi bertujuan untuk memekatkan larutan yang terdiri dari zat terlarut yang tidak mudah menguap dan pelarut yang mudah menguap [8]. Produk akhir dari proses evaporasi tetap dalam keadaan cair. Evaporasi berbeda dari distilasi, karena uap air yang dihasilkan di evaporator tidak dipisahkan lagi menjadi beberapa seperti yang terjadi pada distilasi [9]. Evaporator secara umum terdiri dari beberapa perangkat alat utama antara lain tangki penampung umpan dan hasil, pompa sirkulasi tangki umpan, tangki proses evaporasi, dan sistem pemanasan/pendinginan. Jika dilihat dari perangkat yang harus ada pada sebuah evaporator, tangki pelarutan DI-301 sudah memenuhi persyaratan tersebut.

PCP sendiri sudah memiliki evaporator di seksi 600 yang digunakan untuk menguapkan kadar air larutan uranil nitrat yang telah dimurnikan (mencapai *nuclear grade*) hasil dari proses pemurnian. Evaporator ini hanya digunakan untuk larutan uranil nitrat yang telah dimurnikan saja sebagai persiapan untuk proses pengendapan di seksi 900. Larutan limbah cair hasil samping seksi 400 dan 500 masih mengandung banyak pengotor, sehingga evaporator seksi 600 ini tidak bisa digunakan untuk limbah yang masih banyak pengotornya karena akan mengotori evaporator tersebut dan juga uranil nitrat yang telah dimurnikan. Maka dari itu perlu dilakukan evaporasi menggunakan evaporator lain. Pembuatan evaporator baru tentu akan membutuhkan biaya yang cukup besar sehingga perlu alternatif lain selain membuat evaporator baru yaitu memanfaatkan tangki proses di PCP sebagai evaporator. Salah satu tangki yang bisa digunakan untuk melakukan evaporasi adalah menggunakan tangki pelarutan DI-301 di seksi 300 (unit proses pelarutan). Tangki ini bisa mencapai suhu diatas $100^\circ C$ sehingga bisa digunakan untuk menguapkan kadar air dalam limbah cair hasil samping seksi 400 dan 500. Namun perlu dilakukan pengkajian kelayakan dan keselamatan terhadap pemanfaatan ini agar tidak menimbulkan efek yang dapat membahayakan baik operator maupun lingkungan sekitar baik efek yang dapat menimbulkan kecelakaan pada alat maupun efek yang ditimbulkan dari proses evaporasi yang dilakukan.

METODOLOGI

Kajian kelayakan dilakukan dengan menganalisa apakah tangki pelarutan DI-301 bisa dimanfaatkan sebagai evaporator ataukah tidak. Kajian kelayakan ini dilihat dari ketersediaan perangkat yang dimiliki oleh DI-301 apakah mendukung untuk dijadikan sebuah evaporator. Sedangkan kajian keselamatan dilakukan dengan menganalisa kemungkinan bahaya yang bisa terjadi saat dilakukan proses evaporasi menggunakan tangki pelarutan DI-301.



GAMBAR 1. Tangki Pelarutan DI-301 [10]

Kajian keselamatan ini dilihat dari ketersediaan sistem kendali proses pada tangki pelarutan DI-301 dalam menangani bahaya yang terjadi sehingga proses evaporasi bisa dilakukan dengan aman. Sistem kendali yang dianalisa harus sama seperti yang terdapat pada evaporator E-601 (seksi 600) antara lain :

Sistem Kendali Level

Sistem kendali level berfungsi untuk mengetahui level tangki sehingga dapat diketahui volume cairan dalam tangki. Sistem kendali level ini akan mengontrol level larutan di dalam tangki selama proses evaporasi berlangsung. Level dalam tangki harus dijaga agar tetap dalam batas aman yaitu pada batas bawah 20% dan batas atas 80%.

Sistem Kendali Suhu

Sistem kendali suhu berfungsi untuk mengukur suhu cairan dalam tangki sehingga dapat diketahui dan dikontrol suhunya selama proses evaporasi berlangsung. Sistem kendali suhu digunakan untuk menjaga suhu pada suhu yang diinginkan sesuai dengan proses yang dilakukan. Sistem kendali ini secara tidak langsung mengontrol pemakaian sumber pemanas yang biasa digunakan untuk memanaskan, pada tangki pelarutan DI-301 digunakan *steam* (uap panas). Selain itu juga untuk mengontrol pemakaian sumber pendinginannya, pada tangki pelarutan DI-301 menggunakan air pendingin.

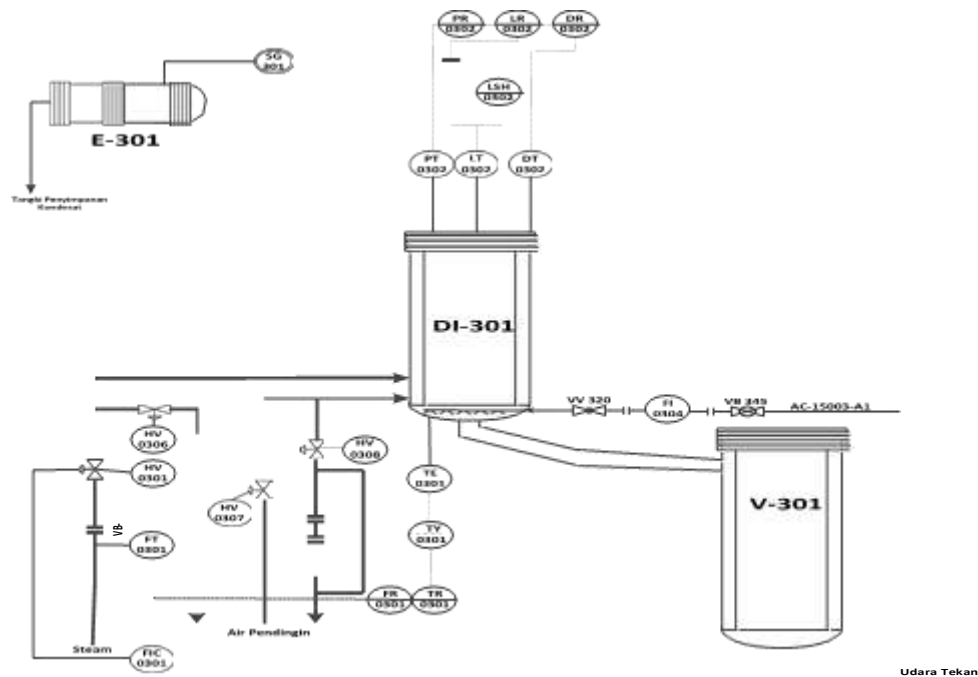
Sistem Kendali Tekanan

Sistem kendali tekanan berfungsi untuk mengukur tekanan tangki sehingga dapat diketahui dan dikontrol tekanan selama proses evaporasi berlangsung apabila terjadi peningkatan tekanan. Sistem kendali tekanan akan mengontrol tekanan dalam tangki sesuai dengan tekanan yang diijinkan. Umumnya tekanan pada suatu evaporator adalah berkisar 20 s/d 22 kg/cm² [11].

Sistem Kendali Densitas

Sistem kendali densitas cairan berfungsi untuk mengetahui dan mengontrol densitas cairan hasil proses evaporasi. Sistem kendali densitas ini digunakan sebagai indikasi bahwa limbah cair dalam tangki pelarutan DI-301 telah teruapkan seiring dengan bertambahnya densitas cairan dalam tangki pelarutan DI-301.

Kajian kelayakan dan keselamatan yang dilakukan bisa dengan menggunakan bantuan diagram perpipaan dan instrumentasi (P&ID) unit pelarutan seksi 300 (gambar 1).



GAMBAR 2. Diagram Perpipaan dan Instrumen (P&ID) Alat Tangki Pelarutan [12]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian kelayakan dan keselamatan telah dilakukan pada tangki pelarutan DI-301. Dari hasil kajian didapatkan hasil kajian sebagai berikut.

Kajian Kelayakan Tangki Pelarutan DI-301

Pemanfaatan tangki pelarutan DI-301 sebagai evaporator untuk menguapkan limbah cair dari seksi 400 dan 500 harus dipastikan bahwa tangki tersebut mampu digunakan untuk melakukan hal tersebut. Dari segi kemampuan, jika melihat dari perangkat utama yang dimiliki evaporator seksi 600, pada tangki pelarutan DI-301 juga telah tersedia. Perangkat utama evaporator antara lain memiliki tangki penampung umpan dan hasil evaporasi serta pompa sirkulasinya. Umpan proses evaporasi pada seksi 300 bisa berasal dari tangki di seksi 400 dan 500, sedangkan tangki penampung hasil evaporasi bisa ditampung pada tangki V-301. Pindahkan umpan maupun hasil evaporasi ini menggunakan bantuan pompa transfer untuk sirkulasinya. Perangkat lainnya yaitu tersedianya sistem pemanasan dan pendinginan untuk memanaskan cairan dan mendinginkan ataupun menjaga suhu tetap stabil pada suhu tertentu. Pada tangki pelarutan DI-301, sistem pemanasan dilakukan di oleh *steam* (uap panas) yang bisa memanaskan cairan dalam tangki hingga suhu diatas 100°C. Sistem pendinginannya dilakukan oleh air pendingin juga telah tersedia untuk menurunkan suhu jika suhu cairan terlalu tinggi dan juga untuk menjaga suhu pada kondisi tertentu. Pada gambar 2 bisa dilihat sistem perpipaan untuk aliran sistem pemanasan dan pendinginan yang masuk dan keluar tangki pelarutan DI-301. Aliran kedua sistem ini dikontrol oleh *valve* yang dibuka secara bergantian. Jika melakukan pemanasan maka *valve* HV-0301 harus dibuka sedangkan *valve* HV-0307 untuk aliran air pendingin harus ditutup. Sebaliknya, jika melakukan pendinginan maka *valve* HV-0307 dibuka dan *valve* HV-0301 ditutup. Pembukaan dan penutupan *valve-valve* tersebut bisa dikontrol melalui *instrument panel* (IP). *Valve* yang digunakan adalah aktuatur *control valve* ATO (*air to open*) atau *normally close* (NC) yaitu jenis *valve* yang selalu tertutup jika tidak beroperasi dan hanya akan terbuka jika ada masukan seperti udara bertekanan yang menekan *valve*.



GAMBAR 3. Sistem Pemanasan dan Pendinginan pada Tangki Pelarutan DI-301

Perangkat utama lainnya juga tersedianya kondensor yang berfungsi untuk mendinginkan uap air hasil evaporasi sehingga kembali menjadi bentuk cairan. Pada tangki pelarutan DI-301 telah dilengkapi dengan kondensor E-301 yang bersuhu $\pm 20^{\circ}\text{C}$. Dengan tersedianya kondenser ini maka uap air hasil evaporasi didinginkan kembali sehingga terbentuk cairan kembali. Uap air yang menuju kondensor E-301 bisa dilihat melalui *sight glass* SG-301 untuk mengecek bahwa sudah terjadi proses evaporasi. Cairan ini kandungan uraniumnya sudah sangat kecil sehingga bisa dilimbahkan langsung ke fasilitas pengolahan limbah milik DPFK-ORTN BRIN, sedangkan endapan hasil evaporasi dijadikan umpan untuk dilarutkan kembali dengan asam nitrat pekat.

Kajian Keselamatan Tangki Pelarutan DI-301

Selain dari segi kemampuan, dari segi penanggulangan bahaya saat proses berlangsung juga perlu diperhatikan sehingga tidak menyebabkan kecelakaan proses ditambah lagi yang diproses adalah cairan yang mengandung uranium. Kecelakaan proses dapat menyebabkan kontaminasi dan paparan radiasi internal di area sekitar tangki pelarutan DI-301. Hasil pengkajian terhadap pendukung keselamatan pada tangki pelarutan DI-301 didasarkan pada sistem kendali keselamatannya. Pada tangki pelarutan DI-301 telah tersedia sistem kendali tersebut untuk menanggulangi bahaya – bahaya yang mungkin terjadi selama proses berlangsung. Beberapa sistem kendali yang dapat mendukung keamanan operasi tangki pelarutan DI-301 jika digunakan sebagai evaporator antara lain.

Sistem Kendali Level

Pada tangki pelarutan DI-301 telah terdapat sistem kendali untuk mengetahui level tangki sehingga dapat diketahui volume cairan dalam tangki. Sistem kendali level pada tangki pelarutan DI-301 ini adalah *level recorder* LR-302. *Level recorder* (LR-0302) berfungsi untuk mengontrol level larutan di dalam tangki pelarutan DI-301 selama proses berlangsung. *Level recorder* (LR-0302) akan merekam perubahan level larutan di dalam tangki pelarutan selama proses berlangsung kemudian ditampilkan pada *display* di *instrument panel* (IP). Tampilan pada IP diperoleh setelah *level transmitter* (LT-0302) mendapatkan input dari detektor yang berupa pulsa-pulsa lalu mengubahnya menjadi sinyal arus dengan rentang 4-20 mA sebagai outputnya, kemudian diteruskan ke converter untuk mengubah arus menjadi sinyal pneumatik dengan nilai 0,2-1 kg/cm² dan direkam oleh *recorder* untuk ditampilkan pada *display* pada rentang pengukuran level 0-100% .

Pada saat proses evaporasi akan dilakukan, pertama-tama tangki pelarutan DI-301 diisi dengan limbah cair yang akan dievaporasi. Limbah cair diisi sampai dengan volume 80% dari volume total tangki pelarutan DI-301 (sekitar 400 L). Level dalam tangki pelarutan harus dijaga agar tetap dalam batas aman yaitu pada batas atas 80% agar tidak menyebabkan meluapnya cairan keluar tangki (*overflow*) sehingga menyebabkan kontaminasi dan paparan radiasi internal di area sekitar tangki. Jika level larutan di dalam tangki pelarutan DI-301 lebih dari 80% maka alarm LAH-0302 akan berbunyi sehingga penambahan umpan limbah cair ke dalam tangki pelarutan DI-301 harus dihentikan. Begitu juga pada batas aman bawah yaitu 20% volume tangki harus dijaga agar tidak terjadinya kenaikan tekanan yang bisa menyebabkan ledakan saat tangki dipanaskan terus menerus. Jika level di dalam tangki pelarutan DI-301 yang ditampilkan kurang dari 20% maka perlu ditambahkan limbah cair ke dalam tangki pelarutan DI-301 baik dari seksi 400 maupun 500.

Sistem Kendali Suhu

Sistem kendali suhu pada tangki pelarutan DI-301 ini adalah *temperature recorder* (TR-0301). *Temperature recorder* (TR-0301) berfungsi sebagai pengukur suhu limbah cair dalam tangki pelarutan DI-301. Pada saat proses evaporasi, *temperature recorder* (TR-0301) mengontrol suhu proses yang terjadi. Suhu harus mencapai 100°C agar mampu menguapkan kandungan air di dalam limbah cair dan dijaga pada kisaran suhu 100 - 109°C. Pada proses pelarutan menggunakan tangki pelarutan DI-301, suhu dapat dicapai hingga suhu 106°C. Sehingga bisa dipastikan bahwa dengan menggunakan tangki pelarutan DI-301 suhu ideal untuk proses evaporasi dapat tercapai. Larutan dalam tangki pelarutan DI-301 dipanaskan dengan mengalirkan *steam* (uap panas). Jika suhu kurang dari 100°C maka *valve* HV-0301 akan membuka dan mengalirkan *steam* sehingga temperaturnya akan naik sampai mencapai temperatur 100°C. Jika suhu lebih dari 109°C maka *valve* HV-0301 akan menutup sehingga aliran *steam* akan terhenti dan *valve* HV-0307 akan membuka aliran air pendingin untuk menurunkan temperaturnya. Pada sistem kendali suhu ini belum terpasang alarm peringatan pada saat suhu terlalu tinggi dan juga terlalu rendah sehingga kontrol dilakukan hanya melalui IP yang menampilkan suhu limbah cair secara langsung.

Sistem Kendali Tekanan

Sistem kendali tekanan pada tangki pelarutan DI-301 ini adalah *pressure recorder* (PR-0302). Pada saat proses evaporasi berlangsung, *pressure recorder* (PR-0302) akan merekam perubahan tekanan yang terjadi di dalam tangki pelarutan DI-301. Jika pada proses pelarutan tekanan berubah karena pembentukan gas NO₂ selama proses, pada proses evaporasi perubahan tekanan bisa terjadi dikarenakan adanya pemanasan yang berlebih pada saat kondisi tangki kosong sehingga bisa menyebabkan ledakan. Jadi *pressure recorder* (PR-0302) ini bisa sebagai *back-up* terhadap potensi bahaya ledakan jika kendali suhu *level recorder* LR-302 mengalami kerusakan. Perubahan tekanan akan ditampilkan pada *display* di *instrument panel* (IP). Jika tekanan dalam tangki pelarutan DI-301 naik melebihi batas yang diperbolehkan berkisar antara 20 s/d 22 kg/cm². Pada proses pelarutan sendiri, tekanan yang terjadi pada saat proses dilakukan masih jauh di bawah batas amannya. Jika tekanannya di atas batas yang diperbolehkan tersebut maka alarm PAH-0302 akan berbunyi sehingga harus dilakukan penambahan cairan limbah ke dalam tangki pelarutan DI-301 ataupun mengganti sistem pemanasan menjadi sistem pendinginan dengan mengalirkan air pendingin.

Sistem Kendali Densitas

Seperti pada evaporator seksi 600 yang mempunyai sistem kendali densitas cairan untuk mengetahui densitas cairan hasil proses evaporasi, tangki pelarutan DI-301 sebenarnya juga mempunyainya. Akan tetapi pada tangki pelarutan DI-301 sistem ini jarang dikontrol karena densitas cairan hasil proses pelarutan tidak begitu diperhatikan karena larutan hasil proses pelarutan sebelum akan digunakan sebagai umpan proses pemurnian terlebih dahulu dipisahkan antara larutan dan padatannya (*yellow cake* yang belum terlarutkan) menggunakan alat *centrifuge* sehingga mau larutan hasil proses pelarutan densitasnya besar atau kecil tetap saja yang akan dijadikan umpan proses pemurnian adalah yang telah terlarutkan (densitasnya kecil). Jika tangki pelarutan DI-301 didayagunakan sebagai evaporator maka sistem kendali densitas ini bisa digunakan untuk mengontrol dan mengetahui densitas cairan hasil proses evaporasi. Sistem kendali densitas cairan pada tangki pelarutan DI-301 ini adalah *density recorder* (DR-0302). Selain bisa dilihat dari levelnya, sistem kendali densitas ini juga bisa digunakan untuk mengetahui bahwa cairan limbah di dalam tangki pelarutan DI-301 sudah mulai menguap ditandai dengan naiknya densitas cairan limbah tersebut.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian kelayakan dan keselamatan tangki pelarutan DI-301 jika dimanfaatkan sebagai evaporator dapat disimpulkan bahwa dari segi kelayakan tangki pelarutan DI-301 cukup layak jika digunakan sebagai evaporator dengan tersedianya perangkat utama yang dapat mendukung berjalannya proses evaporasi secara baik. Sedangkan dari segi keselamatan dapat dinyatakan bahwa tangki pelarutan DI-301 juga cukup layak untuk dijadikan evaporator karena telah memiliki beberapa sistem kendali proses yang dapat mencegah terjadinya bahaya karena kecelakaan

proses seperti sistem kendali level, suhu, tekanan dan densitas. Jadi dapat disimpulkan bahwa tangki pelarutan DI-301 bisa dimanfaatkan menjadi evaporator untuk mengurangi volume limbah cair hasil samping dari seksi 400 dan 500 setidaknya 80% dari volume total maksimal volume tangki pelarutan DI-301 (400 L) dalam satu kali proses.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala PRTDBBNLR – ORTN BRIN Bapak Dr. Syaiful Bakhri dan Ketua kelompok riset teknologi bahan bakar nuklir ibu Ir. Ratih Langenati, M.T yang sudah memberikan dukungan dan arahan untuk kegiatan ini. Terima kasih kepada semua rekan-rekan instalasi elemen bakar

eksperimen (IEBE) terutama kepada rekan – rekan di kelompok proses pemurnian dan konversi uranium (PCP) yang telah membantu kelancaran kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEBE-PTBN, “Laporan Analisis Keselamatan IEBE Rev. ke-7,” *No. Dok. KK32J09002*, 2012.
- [2] Triarjo, S. Rianto, A. Muchsin, E. Muljono, “Analisis Kerusakan Centrifuge (XD-301) pada Proses Pemisahan Uranil Nitrat Seksi 300 Instalasi PCP,” *Jurnal Pengelolaan Instalasi Nuklir*, No. 16/Tahun IX, , ISSN 1979-2409, April 2016.
- [3] Triarjo, S. Rianto, E. Muljono, “Pengaruh Linieritas control valve FY-301 Terhadap Proses Pelarutan Yellow Cake di Instalasi Pemurnian dan Konversi,” *Jurnal Pengelolaan Instalasi Nuklir*, No. 21/Tahun XI, ISSN 1979-2409, Oktober 2018.
- [4] A. Muchsin dan G. Widodo, “Pengaruh Konsentrasi Asam Nitrat, Temperatur Proses, Laju Pengadukan Terhadap Kadar Uranium Hasil Proses Pelarutan Padatan Yellow Cake pada Seksi 300 di IEBE,” *Jurnal Urania*, Vol. 20 No. 2, Hal : 56 – 108, ISSN 0852-4777, Juni 2014.
- [5] PTBN-BATAN, “Laporan analisis keselamatan (LAK) Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE),” *No. dok.: KK32 J09 002 Revisi : 7*, Serpong, 2013.
- [6] NIRA, Italia, “Commissiong Manual Part 1 Pilot Conversion Plant,” *No. Dok. IND 220 04 Z 0005*, 1985.
- [7] BAPETEN, “Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2017 tentang perubahan Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2013tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan,” BAPETEN, Jakarta, 2017
- [8] Asmarita dan M. T. Abdillah, “Makalah Alat Industri Kimia (Evaporator),” Jurusan Teknik Kimia, FakultasTeknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, 2020.
- [9] R. P. Singh dan D. R. Heldman, “Introduction to Food Engineering (Fifth Edition) chapter 8 (evaporation),” pages 565-592, *Academic Press*, 2014.
- [10] Triarjo, S. Rianto, dan N. N. Nugroho, “Setting dan Kalibrasi Instrumen Proses Pada Tangki DI-301 Instalasi Pemurnian Dan Konversi,” *Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir*, ISSN 1978-0176, Yogyakarta, 2015.
- [11] I. B. Rahardja, A. Mahfud, dan P. D. Bawana, “Pengaruh Penggunaan Boiler 20 Ton Uap/Jam Terhadap Kenaikan Kapasitas Pabrik 40 Ton/Jam Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) Xyz,” *Jurnal Teknologi*, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Volume 13 No. 2, ISSN : 2085 – 1669, e-ISSN : 2460 – 0288, Juli 2021
- [12] NIRA, “Process Flow Sheet,” *No. Dok. IND 22004Y0001*, Italy, 1983.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PENILAIAN KETERPERCAYAAN (*THRUSTWORTHINESS*) PADA SISTEM KEAMANAN KOMPUTER NUKLIR

Djoko Hari Nugroho^{1, a)}

¹*Badan Pengawas Tenaga Nuklir*

^{a)} d.harinugroho@bapeten.go.id

Abstract. Saat ini, Indonesia memiliki tiga reaktor riset yang dikelola oleh BRIN. Dalam waktu dekat Indonesia berencana membangun prototipe PLTN kecil jenis Small Modular Reactor (SMR). Teknologi terkini yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga nuklir canggih biasanya berbasis teknologi digital. Pesawat radioterapi yang diterapkan saat ini sudah menggunakan sistem pengendalian otomatis juga rentan keamanan komputernya. Oleh karena itu, masalah keamanan komputer nuklir harus dipertimbangkan. Secara umum, dengan meningkatnya kompleksitas dan integrasi sistem digital ke dalam sistem fungsional, maka risiko dan konsekuensi sistem secara keseluruhan agar sistem tersebut dapat dipercaya. Sistem komputer yang dipergunakan dalam bidang ketenaganukliran harus dijaga keamanannya untuk menjamin keandalan pengoperasian dalam pemanfaatan bidang ketenaganukliran. NST no 15 menyatakan bahwa otoritas yang berwenang harus memastikan bahwa personal yang terlibat dalam kegiatan keamanan nuklir di bidang deteksi dan respons, secara eksplisit dapat dipercaya pada tingkat yang sesuai untuk peran mereka, melalui proses formal. Pada makalah ini disusun program penilaian keterpercayaan bagi personal internal yang mengoperasikan sistem komputer pada instalasi yang memanfaatkan ketenaganukliran. Metodologi yang digunakan untuk melakukan penilaian keterpercayaan didasarkan pada studi literatur terkait penilaian terhadap keandalan manusia yang bekerja pada sistem ketenaganukliran berdasarkan Program Keandalan Manusia (PKM) yang dikembangkan oleh US-NRC sedangkan kriteria kesalahan sistem dan serangan serta gangguan lingkungan khususnya terkait serangan orang dalam diakomodasi oleh kriteria dalam dokumen IAEA NSS 8, dengan penekanan khusus pada kriteria integritas personal. Parameter penilaian keterpercayaan dievaluasi melalui penilaian psikologis dan analisis latar belakang personal.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Saat ini, Indonesia memiliki tiga reaktor riset yang dikelola oleh BRIN yang berlokasi di Yogyakarta, Bandung dan Serpong. Saat dibangun, reaktor tidak dibangun berdasarkan teknologi digital, oleh karena itu serangan dunia maya tidak dikhawatirkan. Namun, dalam waktu dekat Indonesia berencana membangun prototipe PLTN kecil jenis *Small Modular Reactor* (SMR). Teknologi terkini yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga nuklir canggih biasanya berbasis teknologi digital. Oleh karena itu, masalah keamanan komputer nuklir harus dipertimbangkan juga. Pesawat radioterapi yang sudah menggunakan sistem pengendalian otomatis juga rentan keamanan komputernya. Dengan demikian masalah kerentanan keamanan komputer di bidang ketenaganukliran tidak hanya terkait pada instalasi nuklir namun juga pada peralatan fasilitas radiasi dan zat radioaktif.

Secara umum, dengan meningkatnya kompleksitas dan integrasi sistem digital ke dalam sistem fungsional, maka risiko dan konsekuensi sistem secara keseluruhan memerlukan pendekatan yang lebih konsisten dan ketat untuk menentukan apa yang diperlukan agar sistem tersebut dapat dipercaya. Selain itu diperlukan juga bukti yang diperlukan untuk memberikan keterpercayaan dalam kemampuan sistem untuk melakukan seperti yang dimaksudkan untuk konteksnya. Selama abad terakhir, otomatisasi telah maju di banyak industri. Dewasa ini orang harus bekerja dengan entitas non-manusia, yang semakin banyak menggunakan teknologi kecerdasan buatan. Dengan demikian masalah kepastian dan keandalan sistem menjadi penting untuk dipertimbangkan.

Keyakinan datang dari kepastian bahwa beberapa aspek sistem berada di bawah kendali: keamanan data dan peralatannya, keamanan bagi orang dan komunitas, perlindungan aset, perlindungan privasi data, keandalan operasi dan subsistem, dan ketahanan sistem. Kesadaran di industri tentang pentingnya keterpercayaan, konteks,

dan jaminan perlu ditingkatkan seiring dengan upaya bagaimana mengukur, menganalisis dan menilainya, serta bagaimana mengelola dan mengaturnya.

Dari segi keamanan komputer nuklir, Indonesia belum memiliki regulasi khusus tentang keamanan komputer nuklir. Dokumen IAEA NST 045 tentang Keamanan Komputer tentang Keamanan Nuklir menjelaskan bahwa negara harus mengembangkan dan memelihara strategi keamanan komputer nasional sebagai bagian dari rezim keamanan nuklirnya, dan negara harus menunjuk otoritas yang kompeten untuk memimpin tanggung jawab dalam pengembangan strategi tersebut [1].

Sistem komputer yang dipergunakan dalam bidang ketenaganukliran harus dijaga keamanannya untuk menjamin keandalan pengoperasian dalam pemanfaatan bidang ketenaganukliran. NST 15 menyatakan bahwa otoritas yang berwenang harus memastikan bahwa personal yang terlibat dalam kegiatan keamanan nuklir di bidang deteksi dan respons, secara eksplisit dapat dipercaya pada tingkat yang sesuai untuk peran mereka melalui proses formal. Sedangkan "Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources" menyatakan bahwa Setiap Negara harus memastikan langkah-langkah untuk menentukan secara tepat keterpercayaan dari individu yang terlibat dalam manajemen sumber radioaktif [2].

Tujuan dan Manfaat

Pada makalah ini disusun program penilaian keterpercayaan bagi personal internal yang mengoperasikan sistem komputer pada instalasi yang memanfaatkan ketenaganukliran dengan tujuan agar tercipta lingkungan kerja yang lebih positif di mana ada saling percaya antar rekan kerja, sebagai masukan bagi kegiatan pelatihan untuk memastikan pelaksanaan tugas staf berlangsung dengan aman dan selamat, identifikasi dan penyelesaian masalah keamanan komputer sebelum terjadi insiden atau kecelakaan.

Penilaian keterpercayaan bagi personal internal sebagai orang dalam organisasi sistem komputer ini dianggap penting, karena mereka dapat [2]:

- memegang posisi dalam organisasi
- memiliki akses ke dalam sistem komputer
- wewenang atas operasi atau personal;
- pengetahuan fasilitas
- keterampilan dan pengalaman teknis
- wewenang untuk memperoleh dan kemampuan untuk menggunakan peralatan terkait

Metodologi yang digunakan untuk melakukan penilaian keterpercayaan didasarkan pada studi literatur terkait penilaian terhadap keandalan manusia yang bekerja pada sistem ketenaganukliran. Parameter penilaian keterpercayaan, dievaluasi melalui penilaian psikologis dan analisis latar belakang personal.

Formulasi Konsep

Pada tahun 2016, IAEA telah menerbitkan dokumen "Conducting Computer Security Assessments at Nuclear Facilities" yang menjabarkan metodologi untuk melakukan penilaian keamanan komputer secara umum di fasilitas nuklir [3]. Namun untuk menjamin keandalan pengoperasian dalam pemanfaatan bidang ketenaganukliran perlu dipastikan bahwa personal termasuk orang dalam (*insider*) yang terlibat dalam kegiatan keamanan komputer ketenaganukliran di bidang deteksi dan respons dapat dipercaya pada tingkat yang sesuai untuk peran mereka melalui proses formal. Kontribusi makalah ini terletak pada konsep penilaian tentang keterpercayaan atau *trustworthiness* keamanan komputer bidang ketenaganukliran. Keterpercayaan dapat didefinisikan sebagai tingkat kinerja sistem yang diharapkan dalam menghadapi hilangnya kualitas dan akurasi kinerja, kesalahan manusia, kesalahan sistem dan serangan, gangguan lingkungan [4]. Untuk meningkatkan keterpercayaan yang melibatkan orang dalam perlu ditekankan kriteria integritas personal. Dengan demikian kriteria hilangnya kualitas dan akurasi kinerja, kesalahan manusia diakomodasi oleh Program Keandalan Manusia (PKM) dalam ketenaganukliran yang dikembangkan oleh US-NRC sedangkan kriteria kesalahan sistem dan serangan serta gangguan lingkungan khususnya terkait serangan orang dalam diakomodasi oleh kriteria dalam dokumen IAEA NSS 8, dengan penekanan khusus pada kriteria integritas personal.

Konsep tentang penilaian keterpercayaan didasarkan pada penilaian terhadap keandalan manusia yang bekerja pada sistem ketenaganukliran, dimana parameter penilaian keterpercayaan, dievaluasi melalui penilaian psikologis dan analisis latar belakang personal. PKM dirancang untuk memastikan bahwa individu yang menempati posisi yang memberikan akses ke fasilitas kritis memenuhi standar keandalan dan stabilitas fisik dan mental yang tinggi. Sedangkan NSS 8 terkait usaha perlindungan terhadap serangan orang dalam (*insider threat*). Spesifikasi sebagai orang dalam (*insider*) dalam penilaian keterpercayaan mempertimbangkan secara khusus kriteria integritas personal.

KETERPERCAYAAN

Pengertian

Keterpercayaan atau *trustworthiness* adalah tingkat kinerja sistem yang diharapkan dalam menghadapi gangguan lingkungan, hilangnya kualitas dan akurasi kinerja, kesalahan manusia, sistem kesalahan dan serangan. Kepastian akan keterpercayaan adalah tingkat keterpercayaan yang dimiliki seseorang dalam ekspektasi tersebut. Suatu sistem harus diyakinkan sebagai sistem yang dapat dipercaya untuk bisnis atau organisasi sehingga memiliki keyakinan di dalamnya. Ketergantungan pada konteks sistem dan kemungkinan konsekuensi dari kegagalan akan mengakibatkan upaya banyak dihabiskan untuk mencapai tingkat keterpercayaan tertentu yang dipersyaratkan Keterpercayaan didasarkan pada beberapa karakteristik dan interaksi serta timbal balik di antara mereka. Konsorsium Internet Industri mendefinisikan dalam lima karakteristik yaitu keselamatan, keamanan, privasi, keandalan, dan ketahanan[4].

Mengelola keterpercayaan berarti memahami karakteristik tersebut dalam konteks sistem tertentu, yang mendefinisikan tujuan dan metrik, menentukan bukti apa yang diperlukan untuk mengkonfirmasi karakteristik tersebut memberikan kontribusi yang dibutuhkan untuk operasi, dan efek yang sesuai pada operasi. Untuk beberapa sistem, konteks dan konsekuensi dari kegagalan akan membutuhkan lebih banyak penilaian dan bukti untuk mendapatkan tingkat keterpercayaan yang diperlukan tentang kemampuan sistem untuk memenuhi keterpercayaannya.

Keterpercayaan merupakan tanggung jawab personal dalam latar belakang dan afiliasi, peran dan tanggung jawab, kelayakan fisik dan psikologis. Di sebagian besar industri, prioritas pertama adalah keselamatan dalam arti ideal adalah tidak membahayakan siapa pun, tidak membahayakan keselamatan publik, dan tidak menyebabkan kerusakan lingkungan. Prioritas kedua biasanya keandalan proses fisik. Karakteristik dapat diandalkan dan kinerja sistem kendali yang tersedia merupakan sarana untuk mencapai proses fisik yang handal.

Keterpercayaan dalam Keamanan Komputer

Keamanan komputer dalam teknologi informasi tidak sama dengan keamanan dalam operasional teknologi. Operator sistem kontrol secara tradisional peduli tentang siapa yang memiliki akses fisik ke kontrol sehingga peralatan fisik dioperasikan dengan aman dan andal. Dalam konteks ini, keamanan, khususnya keamanan yang berdampak pada keselamatan dan keandalan terkait dengan pengendalian akses ke antarmuka manusia-mesin maupun keamanan data.

Profil perlindungan sistem keamanan dan model kematangan berfokus pada keamanan, privasi, dan keandalan. Sasaran operasional terkait dengan karakteristik keterpercayaan perlu untuk dipahami dan disesuaikan terkait sistem, teknologi yang digunakannya, bahaya dan ancaman yang dihadapi, dan konsekuensi.. Keterpercayaan dapat diukur dengan menggunakan metrik yang berbeda di seluruh penggunaan komputer terkait sistem informasi ataupun instrumentasi dan kendali di instalasi. Di dalam pengelolaan keamanan computer juga perlu diperhatikan tentang pembaruan perangkat lunak. Pada kegiatan tersebut perlu dipastikan stabilitas sistem dengan cara menghindari perubahan yang sering dan mengandalkan validasi yang ekstensif. Pembaruan perangkat lunak perlu dilakukan agar tidak mengganggu keandalan dan ketahanan perangkat proses yang bertentangan dengan kebutuhan untuk memperbarui perangkat lunak dengan tujuan untuk mengatasi keamanan dan mengatasi kelemahan lain dalam sistem.

Ada tiga pendorong utama untuk keterpercayaan [4]:

- Persyaratan kepatuhan.
Persyaratan ini akan dapat diimplementasikan melalui ketersediaan undang-undang, peraturan dan kebijakan di seluruh organisasi. Kepatuhan diperlukan untuk bisnis di sebagian besar yurisdiksi, untuk persetujuan produk, dan memiliki nilai pemasaran
- Penghindaran risiko dan mitigasi risiko.
Evaluasi dan penanganan risiko dibantu oleh: kerangka kerja dan pedoman, Model Manajemen Ketahanan. Pemodelan ancaman membantu menangkap dan mengevaluasi risiko.
- Prediktabilitas dan kualitas kinerja.
Efisiensi operasional dan tujuan khusus sistem mendorong aspek keterpercayaan. Saat berkolaborasi dengan mitra, semua pihak harus tunduk pada persetujuan bersama.

Masing-masing komponen di atas terkait dengan karakteristik keterpercayaan tertentu. Komponen kepatuhan, hukum dan peraturan adalah pendorong langsung untuk keselamatan, keamanan, dan privasi. Untuk komponen kedua, analisis risiko telah dikembangkan bagi keamanan, ketahanan, dan privasi. Komponen prediktabilitas dan kualitas kinerja biasanya di bawah keandalan yang akan bisa berdampak pada manajemen risiko

Risiko Keamanan Komputer

Peristiwa keamanan nuklir dapat menyebabkan konsekuensi, antara lain:

- Cedera dan/atau kehilangan nyawa

- Kerusakan lingkungan
- Dampak ekonomi
- Gangguan sosial

Semua risiko keamanan nuklir tersebut memiliki dimensi dampak kemanusiaan. Personal memiliki peran positif dalam mencegah, mendeteksi, dan menanggapi peristiwa keamanan nuklir. Dalam keadaan tertentu, personal juga dapat memainkan peran negatif serta memfasilitasi insiden keamanan nuklir melalui

- Kurangnya kesadaran
- Kelalaian
- Tindakan yang tidak disengaja atau tidak disengaja
- Tindakan jahat yang merupakan ancaman orang dalam (*insider*)

Pada umumnya serangan bisa berasal dari manapun juga, namun serangan dari musuh yang merupakan orang di luar sistem merupakan aktivitas yang biasanya sudah disiapkan. Namun serangan dari orang dalam (*insider*) merupakan komponen yang lebih memerlukan konsentrasi dengan alasan bahwa mereka memiliki akses resmi ke fasilitas nuklir, transportasi operasi, atau informasi sensitif. Dengan demikian jika ada pihak yang dapat memanfaatkan akses mereka, maka akan memperoleh keuntungan dengan otoritas dan pengetahuan fasilitas, untuk melewati pertahanan yang sudah didedikasikan.

KRITERIA KETERPERCAYAAN

Pengertian Umum

Beberapa definisi diperlukan untuk menganalisis dan mengelola keterpercayaan. Percaya adalah kecenderungan seseorang (orang pertama) untuk percaya bahwa orang lain (orang kedua) yang terlibat dengan tindakan tertentu akan bekerja sama untuk mengambil keuntungan atau tidak akan mengambil keuntungan dari orang pertama jika ada kesempatan untuk melakukannya. Orang pertama tersebut bertindak sebagai pemberi amanat, karena itu harus bersedia menunjukkan kerentanannya dengan mengambil risiko bahwa orang kedua sebagai wali amanat dapat bertindak dengan cara yang tidak menguntungkan orang pertama. Konsep mempercayai mensyaratkan bahwa tindakan tersebut mengandung potensi kerugian pada pemberi amanat dan tidak memerlukan tetapi sesuai dengan potensi keuntungan dan/atau kerugian oleh wali amanat. Mempercayai dapat bervariasi dari tidak percaya sepenuhnya hingga sepenuhnya atau percaya 'buta' [5].

Kriteria dapat dipercaya adalah indikator untuk dapat dipercayanya suatu komponen atau subsistem dalam konteks sistem secara keseluruhan untuk karakteristik keterpercayaan tertentu seperti keamanan atau keandalan. Misalnya, keselamatan nuklir dalam kaitan dengan kerentanan serangan siber, atau keandalan layanan dalam hal ketersediaannya. Interpretasi keterpercayaan merupakan kumpulan semua kriteria keterpercayaan yang ditetapkan dalam konteks sistem tersebut, untuk semua bagian dan subsistemnya.

Integritas Personal

Integritas personal adalah kualitas kejujuran yang meliputi jujur dengan diri sendiri dan orang lain. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menyelaraskan perilaku dan tindakan diri pribadi dengan sengaja agar selaras dengan nilai, prinsip, dan etika yang ada dalam diri sendiri. Untuk memiliki integritas pribadi, seseorang harus memiliki kesadaran diri dan benar-benar mengeksplorasi sistem nilai diri. Pada dasarnya, seseorang perlu mengenal diri sendiri dan dengan demikian tindakan harus konsisten dengan keyakinan diri [6].

PENILAIAN KETERPERCAYAAN

Pengertian Umum

Penilaian keterpercayaan merupakan cara untuk mengukur dan mengumpulkan bukti tentang satu kriteria keterpercayaan atau kombinasinya. Penilaian bisa bersifat kuantitatif atau kualitatif. Sedangkan target keterpercayaan adalah tujuan yang diberikan pada pengukuran keterpercayaan. Program Keterpercayaan adalah cara untuk mengurangi ancaman orang dalam dan memastikan integritas, keandalan, dan kesesuaian individu bekerja di posisi yang memberi mereka akses ke bahan nuklir, fasilitas, teknologi, atau informasi keamanan sensitif

Untuk individu dalam Penilaian Keterpercayaan mempertimbangkan [2]:

- Faktor motivasi
- Keserakahan
- Faktor keuangan
- Kepentingan ideologis
- Faktor psikologis
- Keinginan balas dendam (misal karena ketidakadilan yang dirasakan)

- Ketergantungan fisik (misal narkoba, alkohol, seks)

Dalam NSS 8 dijelaskan bahwa penilaian keterpercayaan adalah awal dan berkelanjutan penilaian dari sebuah integritas individu, kejujuran dan keandalan dalam pemantauan sebelum dan selama bekerja yang dimaksudkan untuk mengidentifikasi motivasi atau perilaku dari orang-orang yang bisa jadi adalah orang dalam [7].

Kriteria Penilaian

Program Keterpercayaan umumnya mencakup empat elemen utama antara lain [2]:

- Penilaian ancaman dan risiko
- Persyaratan program
- Rencana implementasi
- Review dan penilaian

Kriteria Program Keterpercayaan antara lain berdasarkan penilaian ancaman dan risiko yaitu :

- Potensi niat , kemampuan, dan taktik penyerang
- Material nuklir, fasilitas, dan informasi yang dapat dimanfaatkan oleh penyerang
- Peluang dan motivasi orang dalam untuk membantu atau dieksploitasi oleh penyerang potensial

EVALUASI KETERPERCAYAAN

Metodologi Evaluasi

Keterpercayaan akan menentukan keselamatan dan keandalan sistem. Oleh karena itu metodologi yang digunakan untuk melakukan penilaian keterpercayaan didasarkan pada penilaian terhadap keandalan manusia yang bekerja pada sistem ketenaganukliran. Program Keandalan Manusia (PKM) dalam ketenaganukliran yang terkait dengan keamanan dan keselamatan adalah program untuk memastikan pelayanan yang dirancang untuk memastikan bahwa individu yang menempati posisi yang memberikan akses ke bahan-bahan tertentu, instalasi nuklir, fasilitas radiasi, dan program terkait memenuhi standar keandalan dan stabilitas fisik dan mental yang tinggi. Untuk mencapai tujuan ini, maka perlu dilakukan sistem evaluasi berkelanjutan yang mengidentifikasi individu yang penilaian dan keandalan dapat terganggu oleh gangguan fisik atau mental/kepribadian, penyalahgunaan alkohol, penggunaan obat-obatan terlarang atau penyalahgunaan obat-obatan legal atau zat lain, atau kondisi lainnya atau keadaan yang mengawatirkan bagi keamanan atau keselamatan [8]

Sebelum melakukan pemeriksaan keterpercayaan, maka manajer terkait harus menganalisis risiko yang ditimbulkan oleh posisi tersebut untuk program operasional tertentu. Jika analisis menunjukkan bahwa kontrol fisik, administratif, atau kontrol lain yang lebih ketat diperlukan, maka posisi tersebut dinyatakan sebagai posisi PKM dan kemudian akan diterapkan kontrol.

Program Keandalan Manusia perlu untuk diterapkan bagi setiap individu yang [8]

1. Memiliki akses ke material nuklir Kategori I atau memiliki tanggung jawab untuk transportasi atau perlindungan material nuklir Kategori I
2. Memiliki tugas yang melibatkan bahan peledak nuklir atau memiliki tanggung jawab untuk bekerja dengan, melindungi, atau mengangkut material nuklir, perangkat nuklir, atau komponen yang dipilih
3. Memiliki posisi yang memberikan akses informasi mengenai kerentanan dalam sistem pelindung saat mengangkut nuklir bahan peledak, perangkat nuklir, komponen yang dipilih, atau material nuklir Kategori I; atau
4. Memiliki potensi untuk berdampak signifikan terhadap keamanan nasional atau menyebabkan kerusakan yang tidak dapat diterima

Prosedur Evaluasi

Prosedur dalam evaluasi antara lain :

- Penunjukan posisi program evaluasi
- Persyaratan untuk sertifikasi
- Rencana Implementasi
- Tinjauan pengawasan
- Penilaian medis
- Evaluasi manajemen
- Tinjauan personal bidang keamanan

Penetapan dan penerapan standar proses penyaringan personal yang berpotensi mencakup:

- Wawancara pra-kerja, pemeriksaan latar belakang, dan investigasi

- Evaluasi psikologis dan medis
- Tinjauan dan investigasi ulang file secara teratur
- Mekanisme judikasi untuk Penanganan Sengketa

Program Keterpercayaan responsif terhadap perubahan, termasuk

- ancaman yang teridentifikasi
- umpan balik pembelajaran dari implementasi
- perubahan peraturan
- pembaharuan kemampuan, fasilitas, teknologi, dan bahan

Jenis perilaku dan kondisi yang perlu untuk dievaluasi antara lain [8]:

1. Gangguan psikologis atau fisik yang mengganggu pelaksanaan tugas yang diberikan;
2. Perilaku yang memerlukan rujukan untuk penyelidikan kriminal atau mengakibatkan penangkapan atau hukuman;
3. Indikasi perilaku curang;
4. Percobaan atau ancaman perusakan harta benda atau nyawa;
5. Kecenderungan atau percobaan bunuh diri;
6. Penggunaan obat-obatan terlarang atau penyalahgunaan obat-obatan legal atau zat lain;
7. Penggunaan alkohol;
8. Ketidak tanggung jawaban keuangan yang berulang;
9. Ketidak tanggung jawaban dalam melaksanakan tugas yang diberikan;
10. Ketidakmampuan untuk mengatasi stres, atau penampilan berada di bawah stres yang tidak biasa;
11. Kegagalan untuk mematuhi arahan kerja, permusuhan atau agresi terhadap sesama pekerja atau otoritas, kemarahan yang tidak terkendali, pelanggaran prosedur keselamatan atau keamanan, atau ketidakhadiran berulang kali;
12. Perubahan perilaku yang signifikan, kemurungan, depresi, atau bukti lain hilangnya kendali emosi; dan
13. Setiap perilaku yang tidak biasa atau tunduk pada keadaan apa pun yang cenderung menunjukkan bahwa individu tersebut tidak dapat diandalkan

Supervisor harus segera memberhentikan seseorang dari tugas jika

- penyelia memiliki keyakinan yang masuk akal bahwa individu tersebut tidak dapat diandalkan, baik berdasarkan masalah keselamatan atau keamanan berdasarkan satu atau lebih jenis perilaku dan kondisi yang diidentifikasi dalam perilaku yang perlu dievaluasi;
- individu tersebut tidak mendapatkan sertifikasi ulang PKM; atau
- sertifikasi PKM diminta oleh pejabat dan/atau pengelola PKM

Evaluasi Keterpercayaan

Untuk menentukan keterpercayaan dan keandalan individu maka dilakukan evaluasi berdasarkan

1. Penilaian Psikologis

a. Penilaian Psikologis Umum

Penilaian psikologis harus telah diselesaikan sebelum individu tersebut diberikan akses tanpa pengawasan atau otorisasi akses tanpa pengawasan. Penilaian psikologis harus dirancang untuk mengevaluasi kemungkinan dampak merugikan dari setiap karakteristik psikologis yang telah ditentukan dalam pedoman penilaian keterpercayaan dan keandalan individu

Penilaian psikologis mencakup administrasi dan interpretasi tes psikologis standar, objektif, diterima secara profesional yang memberikan informasi untuk mengidentifikasi indikasi gangguan kepribadian atau psikopatologi yang mungkin memiliki implikasi buruk bagi kepercayaan dan keandalan individu.

Seorang psikiater atau psikolog harus menetapkan ambang batas yang telah ditentukan untuk setiap skala yang harus diterapkan dalam menafsirkan hasil tes psikologi untuk menentukan apakah seseorang harus diwawancarai oleh psikiater atau psikolog berlisensi

b. Penilaian Integritas Personal

Penilaian psikologis juga mengakomodasi penilaian integritas personal. Penilaian ini dapat dinyatakan dalam dua bentuk. Bentuk pertama berdasarkan pernyataan yang jelas seperti apakah seseorang telah mencuri sesuatu dari pekerjaan di masa lalu. Bentuk kedua berbasis kepribadian di mana penilaian integritas menanyakan perihal yang terkait dengan kejujuran dan ketidak jujur. [9]

2. Analisis latar belakang personal.

Analisis latar belakang personal dilaksanakan melalui [10].

- Penjelasan dan persetujuan terkait informasi pribadi dengan entitas yang sesuai
- Pengungkapan riwayat pribadi

- Verifikasi identitas asli
- Evaluasi riwayat pekerjaan
- Evaluasi riwayat kredit
- Evaluasi karakter dan reputasi
- Tinjauan sejarah kriminal

Keberlanjutan Program Penilaian Keterpercayaan

Tinjauan dan Penilaian perlu dilakukan antara lain :

- Program Keterpercayaan harus ditinjau secara berkala dan dinilai untuk menentukan efektivitasnya
- Pelaksana harus menentukan kriteria yang tepat untuk evaluasi
- Insiden keamanan personal yang menjadi perhatian harus diselidiki untuk menentukan akar penyebab kegagalan keamanan personal

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Program Keterpercayaan diinginkan membantu memastikan keselamatan, keandalan, dan kesesuaian individu yang bekerja terkait sistem komputer yang merupakan posisi kritis fasilitas nuklir
2. Program Keterpercayaan adalah sarana untuk mengurangi ancaman orang dalam
3. Metodologi yang digunakan untuk melakukan penilaian keterpercayaan didasarkan pada penilaian terhadap keandalan manusia yang bekerja pada sistem ketenaganukliran.
4. Parameter yang perlu untuk dievaluasi perlu ditetapkan berdasarkan perilaku dan kondisi lingkungan terkait
5. Parameter penilaian keterpercayaan. dievaluasi melalui penilaian psikologis dan analisis latar belakang personal

REFERENSI

- [1] IAEA. NST 045 Computer Security for Nuclear Security. (2016)
- [2] International Training Course. Introduction to Nuclear Security Trustworthiness Programs. USA. (2018)
- [3] IAEA. Conducting Computer Security Assessments at Nuclear Facilities (2016)
- [4] Industrial Internet Consortium. The Industrial Internet of Things: Managing and Assessing Trustworthiness for IIoT in Practice . (2019)
- [5] Avner Ben-Ner, Freyr Halldorsson. Trusting and trustworthiness: What are they, how to measure them, and what affects them. Journal of Economic Psychology [2009]
- [6] Westchester Community College. Chapter 14: Values & Personal Integrity. (2022)
- [7] IAEA. NSSS 8 Preventive and Protective Measures Against Insider Threats. (2020)
- [8] US NRC. 10 CFR 712. Human Reliability Program. (2022)
- [9] Andrew Marty. Integrity - Can you measure it? SACS Consulting. (2015)
- [10] US NRC. 10 CFR 73.56 Personnel access authorization requirements for nuclear power plants. (2010)



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



TINJAUAN LITERATUR *NATURAL OCCURING* *RADIOACTIVE MATERIAL (NORM)* DALAM PEMANFAATAN PANAS BUMI

Hermawan Puji Yuwana^{1, 2, a)}, Chrisantus Aristo W.D.^{1, b)}

¹Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

^{a)}Corresponding author: hermawanpujiyuwana@gmail.com

^{b)}c.dwipayana@bapeten.go.id

Abstrak. Indonesia memiliki beberapa karakteristik seperti geografis, vulkanologi, geologi, dan tektonik Indonesia yang memberikan kelebihan terhadap potensi energi panas bumi yang besar. Saat ini kapasitas terpasang pembangkitan panas bumi sebesar 2,28 GWe. Makalah ini ditulis dengan tujuan untuk memberikan gambaran potensi *Natural Occuring Radioactive Material (NORM)* yang muncul dari pemanfaatan panas bumi. Meskipun dalam beberapa aturan dan praktik yang ada saat ini mungkin masih belum berfokus pada kegiatan eksplorasi, eksploitasi, atau pemanfaatan panas bumi yang dapat menghasilkan NORM. Metode penulisan yang digunakan adalah studi literatur berdasarkan peraturan, rekomendasi internasional, hasil penelitian terkait, atau beberapa praktik yang ada di negara lain. Panas bumi memiliki kemiripan dengan minyak dan gas bumi terhadap kemungkinan terjadinya akumulasi radioaktif NORM. Kegiatan eksplorasi, eksploitasi, dan pemanfaatan memungkinkan adanya material ikutan radioaktif yang ikut keluar dari dalam bumi. NORM yang dihasilkan berupa kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*). NORM teridentifikasi terdapat dalam sumur produksi dan injeksi, pipa transfer, filter, dan penukar panas. Dalam kerak (*scale*) radionuklida yang terukur adalah ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Pb, dan ²¹⁰Po yang didominasi oleh ²²⁶Ra. Konsentrasi aktivitas ²²⁶Ra yang terukur bervariasi dan biasanya lebih dari 1 Bq/gram. Beberapa negara telah mengimplementasikan dan memasukkan dalam kerangka regulasi mereka pengawasan NORM dalam kegiatan yang berkaitan panas bumi.

PENDAHULUAN

Mengacu pada peraturan ESDM, energi terbarukan merupakan sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan [1]. Salah satu contoh energi terbarukan adalah panas bumi. Indonesia mempunyai potensi pengembangan energi yang berasal dari panas bumi yang cukup besar. Potensi panas bumi Indonesia yang besar tersebut dipengaruhi beberapa kondisi seperti dilewatinya jalur gunung api dan pertemuan beberapa lempeng tektonik [2] [3].

Penggunaan energi terbarukan erat kaitannya dengan pembangkitan energi listrik. Pembangkitan energi listrik yang saat ini didominasi oleh pembakaran batu bara, sering menjadi pembahasan dari aspek energi bersih karena menjadi penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari sektor energi. Pemerintah mendorong dan menargetkan penurunan emisi GRK dalam sektor energi salah satunya melalui pemanfaatan energi terbarukan yaitu panas bumi.

Peningkatan pemanfaatan panas bumi yang diproyeksikan akan terus meningkat, perlu diimbangi dengan potensi pembangkitan zat radioaktif yang mengikuti proses pemanfaatan panas bumi tersebut. Radioaktivitas dapat ditimbulkan dari aktivitas yang berkaitan dengan minyak, gas, dan panas bumi. Dalam beberapa kasus, fluida panas itu sendiri, atau kerak yang terbentuk, dapat memiliki sifat radioaktif [4]. Cairan yang dihasilkan dari ladang minyak atau gas dan akuifer secara alami bersifat radioaktif karena adanya potasium (⁴⁰K) dan radionuklida rantai peluruhan uranium (²³⁸U) dan thorium (²³²Th) pada reservoir. Radionuklida alami dapat terbawa dari dalam lapisan bumi ke permukaan ketika reservoir minyak bumi atau panas bumi dibor dan diproduksi. Radionuklida ini dapat mengendap dalam endapan yang terbentuk dalam peralatan proses [5].

BAPETEN sebagai badan pengawas melakukan pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir termasuk terhadap mineral hasil samping yang diduga menghasilkan ikutan radioaktif. Penyusunan peraturan, pelaksanaan perizinan, dan inspeksi merupakan tugas dan fungsi pengawasan yang dilakukan oleh BAPETEN [6]. Berbagai istilah dan nomenklatur dalam pengawasan juga telah diperkenalkan untuk menggambarkan kondisi radioaktif

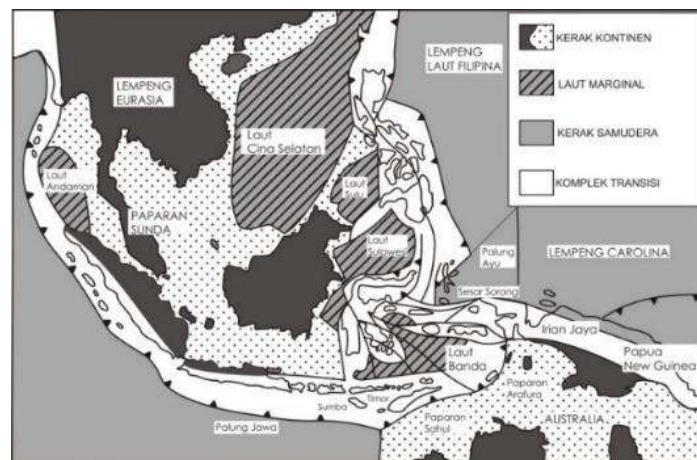
alam dan proses/aktivitas manusia. Dalam makalah ini akan menggunakan istilah *Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)*. Beberapa aturan telah menyebutkan bahwa kegiatan atau bidang usaha bidang industri dan energi sumber daya mineral seperti eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi diduga memiliki potensi menghasilkan NORM [7] [8]. Dalam beberapa peraturan yang telah ada belum menyebutkan secara eksplisit kegiatan terkait dengan pemanfaatan panas bumi. Dengan kegiatan yang hampir mirip dengan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi, terdapat potensi kehadiran NORM sebagai hasil samping dalam pemanfaatan panas bumi.

Tujuan penulisan makalah ini untuk memberikan gambaran potensi NORM yang muncul dari pemanfaatan panas bumi. Meskipun dalam beberapa aturan dan praktik yang ada saat ini mungkin masih belum berfokus pada kegiatan eksplorasi, eksploitasi, atau pemanfaatan panas bumi yang dapat menghasilkan mineral hasil samping mengandung radioaktif tersebut. Tinjauan ini dilakukan dengan menggunakan metodologi kajian literatur berdasarkan peraturan, hasil penelitian terkait, atau beberapa praktik yang ada di negara lain.

LANDASAN TEORI

Panas Bumi diartikan sebagai sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi [9]. Tiga komponen geologi diperlukan untuk pembentukan air panas bumi: air, panas, dan batuan reservoir. Masing-masing jenis sistem panas bumi yang berbeda akan memiliki karakteristik kimia fluida panas bumi dan aplikasi potensialnya yang berbeda pula [10]. Kemudian berdasarkan sumbernya, panas bumi dapat dibedakan menjadi hidrotermal, tekanan bumi (*geopressured*), panas batuan kering, dll. Setiap sumber panas juga memiliki perbedaan karakteristik fisik, dan mempengaruhi setiap proses pemanfaatannya [11].

Panas bumi juga erat hubungannya dengan potensi penggunaannya sebagai pembangkitan energi listrik. Meskipun tidak terbatas pada pembangkitan listrik saja. Tenaga panas bumi dapat berasal dari ekstraksi sistem hidrotermal yang berkaitan dengan sistem vulkanisme [2]. Selain itu, sesar dan intrusi juga erat hubungannya dengan pembentukan panas bumi [12] [13] [14] [15]. Pada gambar 1 merupakan gambaran dari kondisi tektonik berdasarkan lempeng yang ada di Indonesia. Indonesia berada pada pertemuan 3 lempeng yaitu Eropa – Asia, India – Australia, dan Pasifik [13] [16]

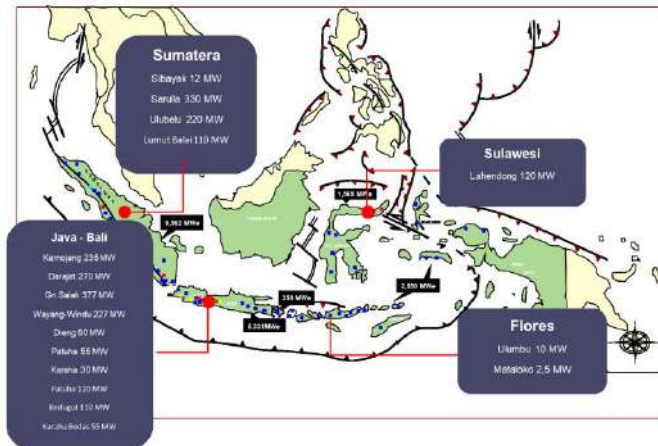


GAMBAR 4. Kondisi Lempeng Tektonik di Indonesia [16]

Merujuk pada target nasional tahun 2025 menyebutkan bahwa pengembangan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) adalah 23%. Dalam Perpres No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) telah disebutkan secara detail mengenai bauran energi dan targetnya [17] [18]. Data tahun 2021 menyebutkan bahwa capaian bauran EBT telah tercapai 11,5% [19]. Sebagai tertuang dalam dokumen RUEN, pada tahun 2025 besarnya proyeksi pengembangan panas bumi sebagai tenaga listrik sebesar 7,2 GW dan pada tahun 2050 diproyeksikan sebesar 17,6 GW atau setara dengan 59% dari 29,5 GW potensi panas bumi [18].

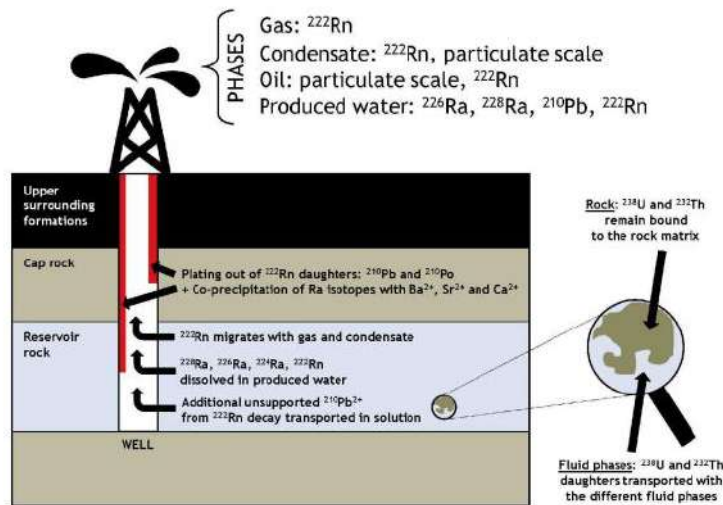
Kegiatan eksplorasi dan pencarian cadangan baru merupakan salah satu upaya juga untuk semakin meningkatkan potensi yang ada tersebut. Indonesia merupakan penghasil dan pemilik cadangan panas bumi terbesar kedua di dunia [3]. Berdasarkan pada data dan hasil survei Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), terdapat 331 yang tersebar hampir di 30 provinsi telah teridentifikasi memiliki potensi sumber daya sebesar 11,073 GW dan potensi cadangan sebesar 17,506 GW [12]. Potensi energi panas bumi di Indonesia engacu pada SNI-13-5012-1998 diklasifikasikan menjadi 5 yaitu sumber daya spekulatif, sumber daya hipotetis, cadangan terduga, cadangan mungkin, dan cadangan terbukti [20]. Dalam Darma et al (2021) potensi sumber daya spekulatif sebesar 6,6 GW, sumber daya hipotetis sebesar 4,4 GW, cadangan terduga sebesar 11,9 GW, cadangan mungkin sebesar 2,5 GW, dan cadangan terbukti sebesar 3 GW [3]. Sedangkan laporan yang dikeluarkan oleh Kementerian ESDM pada akhir tahun 2021, potensi sumber daya spekulatif sebesar 5,9 GW, sumber daya hipotetis sebesar 3,3 GW, cadangan terduga sebesar 9,5 GW, cadangan mungkin sebesar 1,17 GW, dan cadangan terbukti sebesar 3,1 GW [21]. Data dari Kementerian ESDM menyebutkan kapasitas terpasang

dari beberapa pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) di Indonesia sebesar 2,28 GWe [21] [22]. Pada gambar 2 merupakan peta lokasi sumber daya panas bumi Indonesia dan kapasitas terpasangnya diambil dari salah satu referensi.



GAMBAR 5. Peta Persebaran Pembangkitan Energi Panas Bumi di Indonesia [3]

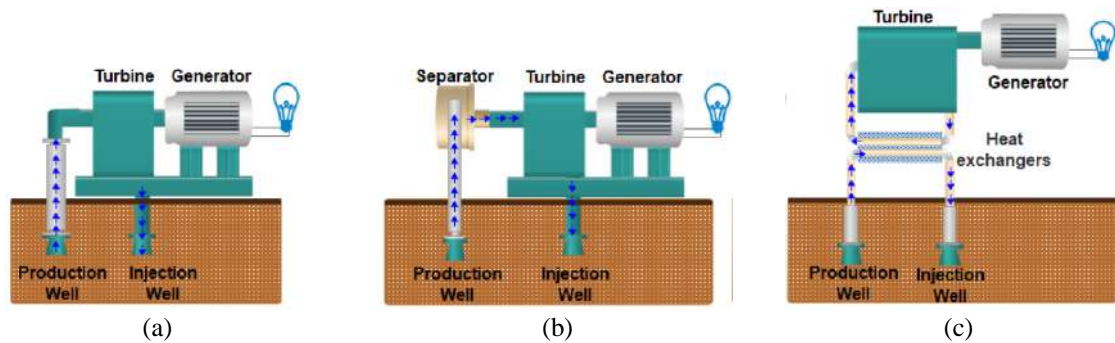
Pada gambar 3 berikut merupakan gambaran terhadap NORM dalam reservoir minyak/gas atau akuifer yang dimungkinkan terjadinya pada fasilitas industri perminyakan dan panas bumi. Industri minyak bumi, gas bumi, dan panas bumi menghasilkan hasil samping NORM yang muncul sebagai zat radioaktif terkonsentrasi dalam suatu rantai proses produksi. Radionuklida dan besaran yang dihasilkan bergantung pada kelarutan dan kemampuan untuk mengendap. Beberapa kemungkinan yang dapat terjadi adalah radionuklida terperangkap dalam matriks batuan di dalam reservoir, mengendap di sepanjang pipa instalasi industri, terdapat dalam residu, atau dalam cairan yang diproduksi (minyak, gas, air) [5].



GAMBAR 6. Kemungkinan NORM dalam Minyak Bumi dan Panas Bumi [5]

Radionuklida yang kurang larut, seperti uranium dan thorium, tetap terikat pada matriks batuan. Sedangkan elemen terlarut dan gas yang dihasilkan dalam proses peluruhan radioaktif dapat terakumulasi dalam fase fluida dan bermigrasi keluar dari reservoir (Paschoa, 2009). Oleh karena itu NORM dapat ditemukan dalam fase yang berbeda. Sebagai contoh radionuklida radon (Rn) dalam fase gas dan dapat larut dalam cairan (minyak dan air) dan akan mengendap sebagai karbonat, kalsium, barium, dan strontium. Terjadinya endapan yang mengandung zat radioaktif juga dipengaruhi oleh kondisi operasional seperti suhu atau tekanan fluida.

Terdapat beberapa jenis teknologi konversi energi panas bumi yaitu sistem uap kering (*dry steam*), sistem uap basah (*flash steam*), siklus biner/ siklus organik Rankine (*binary cycle*) [11] [23] [24] [25]. Prinsip kerja dari teknologi konversi ini adalah uap panas (fasa gas dan air) yang dihasilkan perlu dipisahkan dengan menggunakan separator, kemudian uap murni yang keluar dari separator digunakan untuk memutar turbin dan menggerakkan generator, sedangkan hasil separasi uap berupa fluida panas (*brine*) diinjeksikan kembali ke dalam reservoir. Meskipun temperatur fluida panas (*brine*) yang ada masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali [26]. Pada gambar 4 berikut ini merupakan skema dari ketiga jenis teknologi konversi.



GAMBAR 7. Sistem Konversi Energi (a) Uap Kering (*Dry Steam*), (b) Uap Basah (*Flash Steam*), dan (c) Siklus Biner (*Binary Cycle*) [23] [32]

Pada sistem uap kering, uap panas kering (*steam*) langsung digunakan untuk menggerakkan turbin dan mengaktifkan generator. Pada sistem uap basah (*flash*), panas bumi dalam bentuk fluida panas dialirkan ke dalam tangki *flash*. Tangki *flash* memiliki tekanan operasi yang lebih rendah sehingga akan berubah menjadi uap panas (*flash*) secara cepat. Siklus biner/ siklus ORC fluida panas bumi memanaskan fluida sekunder (seperti *isopentane*, *isopropane*, *isobutane*) yang kemudian uap yang dihasilkan dari fluida sekunder tersebut menggerakkan turbin [11] [14] [27] [28] [29] [30] [31]. Pemanfaatan panas bumi di Indonesia pada beberapa lokasi terpasang pembangkit menggunakan ketiga jenis sistem tersebut, meskipun masih didominasi oleh sistem uap kering (*dry steam*) dan sistem uap basah (*flash steam*).

PEMBAHASAN

Radionuklida dan Konsentrasi Aktivitas dalam Pemanfaatan Panas Bumi

Dalam siklus atau sistem panas bumi, sejumlah besar cairan panas bumi berada di reservoir bawah tanah dan berinteraksi dengan batuan induk selama fase eksploitasi. Selama pemanfaatan tenaga dari panas bumi, air panas dan/atau uap dari bawah tanah dialirkan ke permukaan melalui sumur produksi. Energi panas dalam bentuk air panas atau uap digunakan baik secara langsung atau tak langsung diantaranya sebagai pembangkit listrik. Fluida cair (*brine*) yang didinginkan akan dipompa kembali masuk ke dalam zona reservoir melalui sumur injeksi. Sebagai hasil dari proses pendinginan fluida panas bumi dan penurunan tekanan (*pressure drop*), endapan mineral dalam peralatan dapat diamati termasuk kandungan radionuklidanya [33].

Minyak bumi, gas alam, dan panas bumi memiliki kedekatan satu sama terhadap kemungkinan terjadinya akumulasi radioaktif NORM. Ketiga kegiatan ini sama-sama bersumber dari dalam bumi, sehingga ketika adanya kegiatan eksplorasi, eksploitasi, dan pemanfaatan memungkinkan adanya material ikutan radioaktif yang ikut keluar dari dalam bumi. Fluida panas bumi membawa radionuklida alami dan terutama ^{222}Rn , yang dibuang ke atmosfer [34]. Dalam sistem panas bumi dalam, radionuklida alami berada baik pada di fase fluida dan padatan. Fase fluida sangat sensitif terhadap pertukaran radionuklida dan menunjukkan tingkat ketidakseimbangan radioaktif yang sangat jelas [33]. Sebagai analogi, dalam industri minyak bumi radionuklida yang menjadi perhatian utama adalah ^{226}Ra yang merupakan anak luruh deret ^{238}U dan ^{228}Ra yang merupakan anak luruh deret ^{232}Th . Pada industri gas alam, radionuklida yang menjadi perhatian adalah ^{210}Pb yang merupakan anak luruh dari gas ^{222}Rn [35]. Hasil samping dari kegiatan ini diantaranya berupa limbah NORM padat termasuk lumpur (*sludge*), lumpur, pasir dan endapan dan kerak (*scale*) yang berasal dari dekontaminasi pipa atau berbagai jenis peralatan.

Dalam industri minyak dan gas, konsentrasi aktivitas radionuklida radium pada umumnya lebih rendah dalam lumpur (*sludge*) dibandingkan dalam kerak (*scale*). Sebaliknya, radionuklida ^{210}Pb , pada umumnya memiliki konsentrasi aktivitas yang relatif rendah dalam *scale*. Akan tetapi biasanya konsentrasi ^{210}Pb dalam endapan timbal dan lumpur dapat mencapai dari 1.000 Bq/g [36]. Dalam publikasi IAEA *Specific Safety Guide No. 60 (SSG 60)*, telah mengidentifikasi pada umumnya NORM dalam pemanfaatan panas bumi dihasilkan dalam bentuk kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*) [37]. Kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*) teridentifikasi menumpuk pada pipa, katup, atau bejana proses yang digunakan untuk menangani atau memproses bahan yang mengandung NORM dapat terkontaminasi dengan residu NORM. Pada tabel 1 merupakan contoh tipikal konsentrasi aktivitas berdasarkan jenis hasil samping NORM dalam industri minyak dan gas bumi.

Tabel 4. Konsentrasi Aktivitas NORM dalam Industri Minyak dan Gas Bumi [36]

Radionuklida	Minyak Mentah (Bq/gram)	Gas Alam (Bq/m ³)	Produced water (Bq/L)	Scale Keras (Bq/gram)	Sludge (Bq/gram)
²³⁸ U	1 x10 ⁻⁷ – 0,01		0,0003 – 0.1	0,001 – 0,5	0,005 – 0,01
²²⁶ Ra	0,0001 – 0,04		0,002 – 1200	0,1 – 15.000	0,05 – 800
²¹⁰ Po		0-0,01	0,002 – 0,08	0,02 –1,5	0,004 – 160
²¹⁰ Pb		0,005 – 0,02	0,05-190	0,02-75	0,1 – 1.300
²²² Rn		5 – 200.000			
²³² Th	0,00003 – 0,002	0,0003 – 0,001	0,001 – 0,002	0,002 – 0,01	
²²⁸ Ra			0,3 – 180	0,05 – 2.800	0,5 – 50
²²¹ Ra			0,5 – 40		

Dalam panas bumi, reaksi yang terjadi adalah fisika-kimia antara fluida panas bumi dan batuan induk. Pertukaran dan transfer radionuklida dapat terjadi antara fase yang berbeda, fraksinasi nuklida induk dan anak dalam rantai peluruhan yang sama dapat diamati karena sifat kimia dan fisiknya yang berbeda [38]. Fraksinasi dapat menghasilkan ketidakseimbangan radioaktif seperti akuifer, di mana fase padat, cair, dan gas saling berkaitan.

Radionuklida radium seperti ²²⁸Ra, ²²⁶Ra, ²²⁴Ra, dan ²²³Ra memiliki aktivitas yang jauh melebihi aktivitas thorium dan anak luruhnya. Banyaknya radionuklida radium yang teramati dalam fluida panas bumi atau fluida sisa dari proses separasi (*brine*) dipengaruhi oleh interaksi panas bumi dengan batuan reservoir dibandingkan dengan peluruhan thorium dalam fluida tersebut. Perilaku radium dalam air hasil separasi (*brine*) panas bumi sebagian besar dipengaruhi oleh salinitas, suhu, dan keadaan redoks (Kraemer and Reid, 1984 dan Dickson, 1985 dalam Kolben, 2020).

Fisher (1995) memberikan ulasan bahwa pentingnya penelitian dan evaluasi terhadap kandungan radium dalam formasi air, potensi air dalam pembentukan kerak di peralatan produksi, kerak yang terbentuk, dan besarnya kandungan radium. Hasil evaluasi tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai identifikasi karakteristik geografis, geologis, geokimia, dan produksi yang mungkin menghasilkan NORM dengan tingkat tertentu dalam air dan kerak peralatan [4].

Beberapa negara yang telah mengidentifikasi NORM yang berasal dari pemanfaatan panas bumi seperti Islandia, Italia, German, dan Belgia. Negara Islandia tidak memiliki industri minyak, gas, atau industri lain yang biasanya menghasilkan NORM sebagai produk sampingan. Negara ini memiliki sejumlah pembangkit panas bumi yang telah diamati untuk menghasilkan NORM. NORM dalam bentuk *scale* menumpuk pada pipa dekat sumur (lubang bor). Radionuklida yang terukur dalam *scale* adalah ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, dan ²¹⁰Po dengan konsentrasi aktivitas adalah <0,002 Bq/g, 33,7 – 51,5 Bq/g, dan 123 – 214 Bq/g [39]. Pada tahun 2017, estimasi kerak (*scale*) yang dihasilkan dari proses pembersihan sebanyak 4 ton. Sedangkan data tahun 2015 menunjukkan dalam satuan volume yaitu 1 m³.

Mengacu pada *Safety Report Series No. 34 (SRS 34)*, fasilitas produksi dapat menghasilkan kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*) yang bervariasi yaitu kurang dari 1 ton/tahun sampai dengan lebih dari 10 ton/tahun, tergantung pada ukuran dan karakteristik lainnya [36]. Meskipun SRS No. 34 berfokus pada keselamatan radiasi di industri minyak dan gas bumi. US EPA menyebutkan bahwa besaran konsentrasi aktivitas dari kerak (*scale*) hasil samping pembangkitan panas bumi terendah, rata-rata, dan tertinggi berturut-turut adalah 10, 132, 254 Bq/g [40].

Negara Jerman juga memanfaatkan panas bumi sebagai pembangkit listrik. Konsentrasi radionuklida dalam cairan dari pembangkit listrik panas bumi telah ditemukan dalam orde lebih dari nilai 1 Bq/g. Konsentrasi aktivitas utama terukur merupakan radionuklida ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²²⁴Ra, dan ²¹⁰Pb [41]. Estimasi dosis tahunan dilakukan dengan menentukan jalur paparan radiasi selama operasi. Jalur paparan yang diukur adalah paparan eksternal dan paparan internal yang merupakan akumulasi dari dosis pernafasan (inhalasi) dan pemasukan makanan (ingesti). Sebuah penilaian radiologis dan berbagai skenario kerja yang digunakan untuk memperkirakan besaran dosis yang diterima oleh pekerja dari suatu pembangkit listrik panas bumi. Regulasi yang berlaku di Jerman menetapkan kriteria 6 mSv/tahun untuk keperluan pemberitahuan/notifikasi kepada badan pengawas. Sebuah survei dilakukan terhadap pekerja di beberapa pembangkit panas bumi mendapatkan dosis radiasi di bawah batas 6 mSv/tahun [41].

Variasi suhu dan tekanan fluida di sepanjang jalur sirkulasi fluida panas bumi akan menghasilkan pembentukan endapan kerak (*scale*) seperti dinding pipa, filter, dan penukar panas. Pada bagian-bagian inilah dimungkinkan akan terdapat radionuklida-radionuklida yang terjebak [42]. Eggeling et al. (2013) melakukan penelitian di salah satu lokasi di *North German Basin* yang dicirikan dengan adanya ketidakseimbangan antara

anak luruh induk dan anak dari uranium dan thorium yang didominasi oleh radium. Pada peralatan seperti filter, pipa, dan penukar panas pada salah satu pembangkit panas bumi di Jerman memiliki nilai ^{226}Ra yang dominan dibandingkan dengan ^{228}Ra dan ^{224}Ra . Konsentrasi aktivitas yang bervariasi hingga pada kisaran 100 Bq/gram.

Belgia juga telah mengimplementasikan pengawasan dalam pemanfaatan panas bumi. Produksi energi dari panas bumi, termasuk kegiatan eksplorasi dan pemompaan serta pengembangan lainnya masuk dalam praktik NORM yang telah masuk dalam regulasi nasional mereka. Dari hasil analisis konsentrasi ^{226}Ra dalam formasi air di atas 70 Bq/L. sedangkan konsentrasi aktivitas uranium dan thorium pada formasi air dan fraksi endapan/sedimen relatif rendah. Konsentrasi aktivitas ^{210}Pb dan ^{210}Po juga rendah. Konsentrasi aktivitas dari radionuklida radium yang relatif tinggi di dalam air, akan memberikan inputan terhadap perancangan fasilitas yang memanfaatkan panas bumi. Perancangan fasilitas dengan memperhitungkan deposit kerak di bagian tertentu seperti pipa dan konsekuensi residu NORM yang mungkin dihasilkan, serta dampaknya terhadap proteksi radiasi [43].

NORM dalam operasi panas bumi berupa kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*) yang didominasi oleh ^{226}Ra dan ^{228}Ra , produk turunan dari ^{238}U dan ^{232}Th . Terlebih radium merupakan homolog kimia dari unsur alkali tanah seperti barium dan kalsium dalam fluida dan memiliki kecenderungan membentuk kerak seperti barium sulfat (BaSO_4) dalam sumur produksi dan injeksi, pipa transfer, dan peralatan pengendalian polusi [44].

Proyeksi Pengembangan Pemanfaatan Panas Bumi di Indonesia

Tahun 2025 juga tinggal di depan mata, hanya saja target nasional pengembangan energi baru dan terbarukan juga masih cukup minim. Capaian bauran dari energi baru terbarukan baru 11,5% dari 23%. Potensi energi panas bumi sangatlah besar dengan telah diketahuinya persebaran lokasi, sumber daya, dan cadangannya. Meskipun salah satu tantangan yang muncul pada umumnya adalah persaingan dengan pembangkit berbahan bakar fosil yang ada.

Beberapa skenario perlu dikembangkan dalam rangka peningkatan kapasitas terpasang dan produksi listrik panas bumi seperti peningkatan keberhasilan lelang, peningkatan keberhasilan investasi, percepatan tahap produksi, dan peningkatan kapasitas terpasang [45]. Proyeksi pemanfaatan panas bumi pasti akan terus meningkat. Meskipun untuk mengimplementasikan hal tersebut masih banyak kendala dan tantangan terlebih dalam pencapaian target bauran energi terbarukan yang berasal dari panas bumi.

Pengawasan NORM dalam Pemanfaatan Panas Bumi di Indonesia

Dalam peraturan terkait dengan NORM, memang belum secara eksplisit memasukkan eksplorasi, eksploitasi, dan pemanfaatan panas bumi masuk ke dalam lingkup pengawasan. Jika mengambil contoh praktik di Eropa, European Union mengeluarkan rekomendasi yang tertuang dalam *EU Directive 2013/59/Euratom* [46]. Negara-negara yang tergabung dalam anggota *European Union*, harus memastikan jenis praktik/kegiatan yang melibatkan zat radioaktif secara alami dan menyebabkan paparan pekerja atau anggota masyarakat yang tidak dapat diabaikan dari sudut pandang proteksi radiasi. Salah satu sektor industri tersebut adalah pemanfaatan panas bumi.

Praktik dari beberapa negara yang telah meneliti, mengatur ke dalam kerangka regulasi, dan mengimplementasikan pengawasan NORM pada industri panas bumi dapat dijadikan contoh praktik yang baik. NORM dalam industri panas bumi sebagian besar dalam bentuk kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*). Sebagian besar referensi menyebutkan bahwa radionuklida radium seperti ^{226}Ra adalah radionuklida dominan dari anak luruh deret uranium dan thorium. Beberapa melaporkan bahwa konsentrasi aktivitas radionuklida yang terukur salah satunya ^{226}Ra juga bervariasi dan biasanya melebihi nilai 1 Bq/gram.

KESIMPULAN

Reaksi yang terjadi dalam panas bumi adalah fisika-kimia antara fluida panas bumi dan batuan induk. Saat ini kapasitas terpasang pembangkitan panas bumi di Indonesia sebesar 2,28 GWe. Minyak bumi, gas alam, dan panas bumi memiliki kedekatan satu sama terhadap kemungkinan terjadinya akumulasi radioaktif *Natural Occuring Radioactive Material (NORM)*. Ketiga kegiatan ini sama-sama bersumber dari dalam bumi, sehingga ketika adanya kegiatan eksplorasi, eksploitasi, dan pemanfaatan memungkinkan adanya material ikutan radioaktif yang ikut keluar dari dalam bumi. NORM yang dihasilkan berupa kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*). Kecenderungan endapan ini telah teridentifikasi terdapat dalam sumur produksi dan injeksi, pipa transfer, filter, dan penukar panas. Beberapa radionuklida yang terukur dalam seperti ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , dan ^{210}Po yang didominasi oleh ^{226}Ra . Konsentrasi aktivitas yang terukur dari ^{226}Ra juga bervariasi dan biasanya melebihi nilai 1 Bq/gram. Beberapa negara telah mengimplementasikan dan memasukkan dalam kerangka regulasi mereka pengawasan NORM dalam kegiatan yang berkaitan panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM, "Permen ESDM No. 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik," Jakarta, 2017.

- [2] N. A. Adistia, R. A. Nurdiansyah, J. Fariko, Vincent, J. W. Simatupang, "Potensi Energi Panas Bumi, Angin, dan Biomassa Menjadi Energi Listrik di Indonesia," *TESLA*, vol. 22, no. 2, pp. 105-116, Oktober 2020.
- [3] S. Darma, Y. L. Imani, M. N. A. Shidqi, T. C. Riyanto, M.Y. Daud, "Country Update: The Fast Growth of Geothermal Energy Development in Indonesia," in *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*, Reykjavik, Iceland, 2021.
- [4] R. Fisher, "Geologic, Geochemical, and Geographic Controls on NORM in Produced Water from Texas Oil, Gas, and Geothermal Reservoirs," *The University of Texas at Austin*, Austin, Texas, 1995.
- [5] Stéphane Lafortune and Jean-Claude Pinte, "NORM in the Petroleum and Geothermal Industries_Evolution of the French Radioprotection Legislation," in *European IRPA Congress*, Helsinki, Finland, 2010.
- [6] Republik Indonesia, "Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran," Jakarta, 1997.
- [7] IAEA, "Management of NORM Residues (TecDoc 1712)," IAEA, Vienna, 2013.
- [8] IAEA, "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3)," IAEA, Vienna, 2014.
- [9] Republik Indonesia, "Undang-Undang No. 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi," Jakarta, 2014.
- [10] J. Bundschuh, *Geothermal Systems and Energy Resources: Turkey and Greece*, vol. 7, London: Taylor & Francis Group, 2014.
- [11] L. Bronicki, "Geothermal Power Stations," Elsevier, USA, 2013.
- [12] I.N. Manyoe, D. A. Suriamihardja, U.R. Irfan, S.S. Eraku, S.S.S. Napu, and D.D. Tolodo, "Geology and 2D modeling og magnetic data to evaluate surface and subsurface setting in Bongongoayu geothermal area, Gorontalo," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 589, pp. 1-10, 2020.
- [13] A. A. Hemu, "Pengembangan Potensi Geothermal Sebagai Sumber Energi Alternatif," 2021.
- [14] Mohammad Sidik dan Udi Harmoko, "Potensi Energi Panas Bumi di Jawa Timur Sebagai Energi Alternatif Pengganti Energi Fosil," *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 49-60, Maret 2022.
- [15] S. W. Hafsari dan A. Rading, "Potensi Cadangan Panas Bumi dengan Metoda Volumetrik Pada Sumur Saka-1 Lapangan Panas Bumi "X" Kabupaten Lembata Nusa Tenggara Timur," *Jurnal OFFSHORE*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, Juni 2017.
- [16] A.G.P. Nayoan dan Fajar Hendrasto, "Perhitungan Potensi Sumber Daya Dan Cadangan Panas Bumi Lapangan Panas Bumi "NYN", Provinsi Nusa Tenggara Timur," *Jurnal Eksakta Kebumihan (JEK)*, vol. 1, no. 1, pp. 128-132, 2020.
- [17] Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN)," Jakarta, 2014.
- [18] Presiden Republik Indonesia, "Perpres No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)," Jakarta, 2017.
- [19] Kementerian ESDM, *Perlu Upaya Konkrit dan Terencana Capai Target Bauran 23% Di Tahun 2025*, Jakarta, 2021.
- [20] Badan Standarisasi Nasional (BSN), "SNI-13-5012-1998 Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi Indonesia," Jakarta, 1998.
- [21] Kementerian ESDM, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2021," Jakarta, 2021.
- [22] Statista, "<https://www.statista.com/statistics/1019457/indonesia-geothermal-energy-capacity/>," [Online]. [Accessed 16 June 2022].
- [23] O. Özkaraca, "A Review on Usage of Otimization Methods in Geothermal Power Generation," *Mugla Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 130-136, June 2018.
- [24] A. P. Melkias dan A. N. Salim, "Evaluasi Kinerja Hot Well Pump Tipe Vertical Mixed Flow Centrifugal," in *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung, 2021.
- [25] F. A. Rastratama, Irwan, H. Anur, "Laporan Kerja Praktek Peralatan Produksi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Geo Dipa Energi Unit 1 Dieng," 2017.
- [26] A. Afriandi dan R. Hantoro, "Analisis Pemanfaatan Geothermal Brine untuk Pembangkitan Listrik dengan Heat Exchanger," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 2337-3520, 2018.
- [27] A. Afriandi, "Analisis Pemanfaataan Geothermal Brine untuk Pembangkitan Listrik dengan Menggunakan Heat Exchanger," *Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya*, Surabaya, 2017.
- [28] Y.D. Herlambang, U. Harmoko, A. Widodo, G. Yulianto, S. Widada, Sahid,, "Pembangkit Panas Bumi Kapasitas 2KW Memanfaatkan Sistem Entalphi Rendah untuk Aplikasi Sistem OFF-GRID," *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, vol. 17, no. 1, pp. 67-75, Januari 2021.
- [29] R.M. Pappang, G. Mangindaan, M. Pakiding, "Analisa Energi dan Pemanfaatan Uap Terbuang Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Unit I di PLTP LAhendong," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 2, pp. 123-134, 2018.
- [30] A. R. Swastika, "Analisa Monitoring Arus Penggiat Pada Operasi Generator di Unit Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Gunung Salak," *Universitas Indonesia*, Depok, 2012.
- [31] B. I. Ismail, "Introductory Chapter: Power Generation Using Geothermal Low-Enthalpy Resources and ORC Technology," in *Renewable Geothermal Energy Explorations*, IntechOpen, 2019.
- [32] Ziyodulla Yusupov and Mohamed Almaktar, "Geothermal Power Generation," in *Geothermal Energy*, intechOpen, 2021, pp. 1-19.

- [33] L. Kölbel, "Th-U series radionuclides in the characterization of geothermal reservoirs (Bruchsal, SW Germany)," Göttingen, 2020.
- [34] V. Valković, *Radioactivity in the Environment* 1st Edition, Elsevier, 2000.
- [35] Christopher B. Harto, Karen P. Smith, Sunita Kamboj, and John J. Quin, "Radiological Dose and Risk Assessment of Landfill Disposal of Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) in North Dakota," United States, 2014.
- [36] IAEA, "Safety Report Series No. 34 Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry," IAEA, Vienna, 2003.
- [37] IAEA, "Specific Safety Guide No. 60 on Management of Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material from Uranium Production and Other Activities," Vienna, 2021.
- [38] N. Hussain and S. Krishnaswami, "U-238 Series Radioactive Disequilibrium in Groundwater: Implications to the Origin of U-234 Excess and Fate of Reactive Pollutants," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 44, no. 9, pp. 1287-1291, September 1980.
- [39] Þ. Sigurdsson, "TENORM in Geothermal Applications in Iceland," 2015.
- [40] United States Environmental Protection Agency (US EPA), "Evaluation of EPA's Guidelines for Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM)," 2000.
- [41] Detlev Degering and Matthias Köhler, "Natural Radionuclides in Deep Geothermal Heat and Power Plants of Germany," *FOG - Freiberg Online Geoscience*, vol. 39, no. 42, pp. 178-185, 2015.
- [42] Lena Eggeling, Albert Genter, Thomas Kölbel, Wolfram Münch, "Impact of Natural Radionuclides on Geothermal Exploitation in the Upper Rhine Graben," *Geothermic*, vol. 47, pp. 80-88, July 2013.
- [43] M. Vasile, M. Bruggeman, S. Van Meensel, S. Bos, B. Laenen, "Characterization of the Natural Radioactivity of the First Deep Geothermal Doublet in Flanders, Belgium," *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 126, pp. 300-303, August 2017.
- [44] Molly Finster, Corrie Clark, Jenna Schroeder, Louis Martino, "Geothermal Produced fluids: Characteristics, Treatment Technologies, and Management Options," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 50, pp. 952-966, October 2015.
- [45] F. A. Ahmad, "Potensi Panas Bumi dan Kaitannya Dengan Pengembangan Energi di Indonesia," in *Geofisika*, UNG Press, 2021.
- [46] European Union, "EU Directive 2013/59/Euratom on Basic Safety Standards for Protection Against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation," *Official Journal of the European*, 2013.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PERAN PEMANFAATAN NUKLIR DALAM MENDUKUNG PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA: TINJAUAN LITERATUR

Indah Annisa^{1, a)}, Hermawan Puji Yuwana^{2, 3, b)}

¹*Biro Hukum, Kerja Sama dan Komunikasi Publik, BAPETEN*

²*Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN*

³*Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia*

^{a)}Corresponding author: i.annisa@bapeten.go.id

^{b)}hermawanpujiyuwana@gmail.com

Abstrak. Dampak gas rumah kaca (GRK) salah satunya pemanasan global yang memicu perubahan iklim di dunia. Gas rumah kaca dapat terjadi secara alami di lingkungan atau dari aktivitas manusia. Berdasarkan kebijakan nasional yang tertuang dalam Peraturan Presiden, beberapa sektor menjadi prioritas penurunan emisi GRK yaitu pertanian, proses industri kehutanan, pemanfaatan sumber energi (transportasi, domestik dan industri), dan pengelolaan limbah. Penulisan makalah ini bertujuan sebagai tinjauan secara umum peran, kebijakan, dan tantangan dari pemanfaatan tenaga nuklir dalam mendukung penurunan emisi GRK. Metode penulisan yang digunakan adalah studi literatur terhadap aspek peraturan, rekomendasi/panduan internasional, dan penelitian terkait. Persepsi global menyampaikan energi nuklir yang ramah lingkungan dan minim emisi karbon. Pemanfaatan nuklir dapat berperan dalam pengurangan emisi GRK secara langsung dan tidak langsung. Kontribusi langsung terjadi ketika nuklir dimanfaatkan dalam sektor energi sebagai pembangkit listrik. Nilai faktor emisi dari sumber pembangkit nuklir lebih kecil dibandingkan dengan sumber pembangkitan lainnya seperti batubara. Kontribusi tidak langsung pemanfaatan nuklir digunakan dalam mendukung proses lain dalam upaya penurunan emisi GRK seperti sektor pengelolaan limbah yaitu sampah plastik. Dalam aspek peraturan pemanfaatan nuklir memang belum secara tertulis menyebutkan dorongan terhadap pengurangan emisi GRK. Selain itu pada sektor energi, pembangkit listrik tenaga nuklir juga masih menjadi sumber energi pilihan terakhir. Tantangan pembangunan tidak fokus aspek keekonomian dan keunggulan dari unjuk kerja pembangkit. Akan tetapi juga melihat lain seperti politik, penerimaan sosial dan budaya, serta lingkungan hidup. Sedangkan pemanfaatan nuklir lainnya seperti iradiasi dalam pengolahan sampah dalam proses pengembangan yang masih membutuhkan tinjauan terhadap teknologi, keekonomian, dan implementasi hilirisasi produk riset.

PENDAHULUAN

Tenaga nuklir merupakan tenaga dalam bentuk apapun yang dibebaskan dalam proses transformasi inti, termasuk tenaga yang berasal dari sumber radiasi pengion [1]. Dari sudut pandang sumber energi yang tertuang dalam Undang-Undang No. 30 Tahun 2007, maka nuklir masuk ke dalam golongan energi baru dan terbarukan [2]. Tenaga nuklir dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam kegiatan tidak terbatas dalam sumber energi. Jika mengacu pada peraturan ketenaganukliran, daur hidup pemanfaatan dari awal hingga akhir mulai dari penelitian dan pengembangan hingga pengelolaan limbah radioaktif [1].

Dalam kurun beberapa waktu ini, pemanfaatan tenaga nuklir sering mendapatkan perhatian berkaitan dengan upaya pengurangan pemanasan global. Suhu permukaan global tahunan mengalami peningkatan dengan laju rata-rata sebesar 0,08°C per dekade sejak tahun 1880 [3]. Berdasarkan pada data dan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* temperatur permukaan bumi mengalami peningkatan sebesar 0,5°C selama abad 20 dan sebesar 1,5 – 5,8°C yang diprediksikan meningkat pada tahun 2100 [4].

Dampak gas rumah kaca (GRK) salah satunya pemanasan global yang pada akhirnya memicu terjadinya perubahan iklim di dunia. GRK merupakan gas yang ada dalam atmosfer yang memancarkan dan menyerap kembali radiasi inframerah [5]. Gas rumah kaca dapat terjadi secara alami di lingkungan atau dari aktivitas manusia. Emisi yang berasal atau akibat aktivitas manusia terus menunjukkan peningkatan konsentrasi yang ada di atmosfer ini [6]. Peristiwa lepasnya gas rumah kaca ke atmosfer pada area dan jangka waktu tertentu disebut sebagai emisi GRK [7]. Pemerintah Indonesia memiliki komitmen pada tahun 2030 tercapai penurunan emisi

GRK sebesar 29% atau setara 834 juta ton CO₂eq pada keadaan *Business as Usual (BaU)*. Sebagai contoh target penurunan emisi sektor energi sebesar 314 juta ton CO₂eq [8]. Bahkan jika mengacu pada beberapa dokumen kebijakan yang telah dibuat, pada tahun 2060 atau lebih cepat, Indonesia telah mencapai target nol emisi karbon (*net-zero emission/ NZE*) [9].

Beberapa hal yang mungkin menjadi pemikiran bersama adalah seberapa besar peran pemanfaatan tenaga nuklir dalam mendukung penurunan emisi GRK. Persepsi global menyebutkan bahwa nuklir merupakan energi ramah lingkungan dan rendah emisi karbon dalam hal digunakan sebagai sumber energi. Hanya saja persepsi terhadap hal tersebut akan berbeda satu sama lain. Makalah ini bertujuan meninjau secara umum peran, kebijakan, dan tantangan dari pemanfaatan tenaga nuklir dalam mendukung penurunan emisi GRK. Kebijakan atau instrumen yang sesuai dan cocok perlu diidentifikasi sehingga secara nyata dapat mendukung kebijakan tersebut, meskipun pengembangan teknologi nuklir dalam sektor energi juga masih menjadi opsi terakhir. Metodologi penelitian dilakukan dengan studi literatur terhadap aspek peraturan, rekomendasi/panduan internasional, dan beberapa penelitian terkait.

LANDASAN TEORI

Sebagian besar gas rumah kaca berbentuk uap air. Selain itu GRK terdapat dalam bentuk karbon dioksida, metana, dan nitrogen oksida [10]. Menurut Konvensi PBB dalam Protokol Kyoto, 6 jenis gas yang diklasifikasikan dalam GRK yaitu karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), perfluorokarbon (PFCs), sulfurheksafluorida (SF₆), dan hidrofluorokarbon (HFCs).

Dalam menentukan emisi gas rumah kaca, diperlukan suatu ukuran atau satuan yang menyatakan suatu besaran nilai dari emisi setiap gas rumah kaca. sehingga kadang istilah GRK erat kaitannya dengan istilah emisi karbon. Hal ini berdasarkan pada konsep bahwa dalam perhitungan emisi GRK akan didekati dengan ekivalensi dari tiap jenis gas yang masuk ke dalam GRK tersebut ke dalam ekivalen karbon dioksida (CO₂). Sehingga pada umumnya, emisi GRK dinyatakan dalam ekivalen karbon dioksida (CO₂eq). Sedangkan istilah lain dikenal *Global Warming Potential (GWP)* yang merupakan potensi pemanasan global yang diperhitungkan atau dibandingkan terhadap potensi dari CO₂ [11].

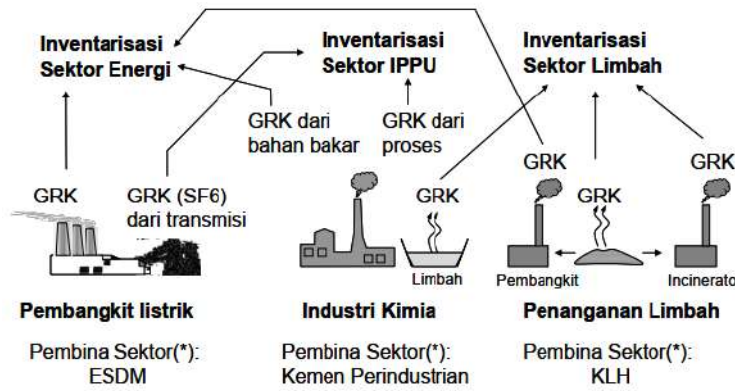
Secara global, Protokol Kyoto pada tahun 1998 menjadi awal mulai kebijakan pengurangan emisi GRK. Protokol Kyoto mengatur besaran emisi GRK akibat aktivitas atau kegiatan manusia terhadap konsentrasi GRK yang ada di atmosfer. Pengesahan atau ratifikasi terhadap Protokol Kyoto ini telah tertuang dalam Undang-Undang No. 17 Tahun 2004. Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011 juga merupakan bentuk kebijakan lain yang masih erat kaitannya dengan upaya penurunan emisi GRK. Rencana penurunan emisi GRK terbagi menjadi beberapa sektor yaitu pertanian, proses industri kehutanan, pemanfaatan sumber energi (transportasi, domestik dan industri), dan pengelolaan limbah [12].

Kemudian tertuang kebijakan lain dalam Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 yang menyebutkan bahwa inventarisasi GRK Nasional wajib dilakukan oleh Pemerintahan Kabupaten/Kota. Sehingga diharapkan dalam proses inventarisasi emisi GRK ini dapat memberikan data berkala terkait status, tingkat, kecenderungan perubahan emisi, serapan GRK, dan simpanan karbon [13]. Berbagai pihak yang berkepentingan dalam setiap sektor telah berupaya mencapai target pada setiap sektor yang menjadi tanggung jawabnya. Aksi mitigasi dan inventarisasi merupakan bagian dari upaya yang dilakukan tersebut. Semua upaya yang dilakukan sebagai bentuk komitmen untuk mencegah dan menjaga kenaikan suhu dunia di bawah 2^oC.

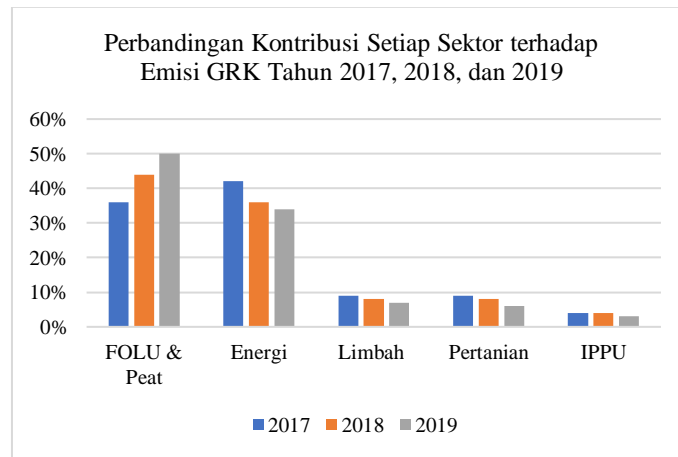
Ilustrasi pengelompokan inventarisasi GRK dari beberapa sektor di Indonesia tertuang dalam gambar 1. Dalam melakukan inventarisasi GRK, suatu proses bisa saja tidak memberikan kontribusi dalam 1 sektor saja, tetapi bisa berkontribusi terhadap sektor lainnya. Sebagai contoh pembangkit listrik akan menghasilkan GRK yang menjadi inventarisasi dari sektor energi. Pembangkit listrik dapat menghasilkan emisi sulfurheksafluoride (SF₆) yang menjadi inventarisasi dari sektor proses industri dan penggunaan produk (IPPU). Data emisi GRK pada setiap sektor pada tahun 2019 tertuang pada gambar 2, dengan sektor kehutanan dan energi menyumbang hingga 84% total emisi nasional.

Sebuah panduan dalam upaya menurunkan emisi karbon telah dikeluarkan oleh IPCC dalam serial Pedoman IPCC 2006. Pedoman ini terbagi menjadi beberapa bab yaitu energi, pengolahan limbah, proses industri dan penggunaan produk (IPPU), pertanian, serta kehutanan, lahan gambut, dan penggunaan lahan lainnya (FOLU) [16]. Pada tahun 2019, IPCC mengeluarkan beberapa perbaikan parsial terhadap Pedoman IPCC 2006 tersebut. Dalam basis perhitungannya, Panduan IPCC 2006 memberikan 3 tingkatan ketelitian (*tier*) yaitu 1, 2, dan 3 [17] [18] [19] [20]. *Tier* 1 merupakan *tier* terendah dengan menggunakan nilai faktor emisi *default* dalam Panduan IPCC 2006 dan data bersumber dari data global. Sedangkan *Tier* 3 merupakan metode paling rinci menggunakan data faktor emisi spesifik dari suatu lokasi dan berdasarkan pada data pengukuran langsung.

Faktor emisi merupakan nilai emisi GRK terlepas ke atmosfer per satuan aktivitas. Nilai faktor emisi ditentukan berdasarkan penelitian dan spesifik untuk bahan, produk, atau suatu proses tertentu [21]. Nilai dari faktor emisi *default* dapat dilihat dalam panduan IPCC 2006 sebagai contoh nilai GWP diasumsikan ekuivalen dengan 25 kg CO₂-eq/kg CH₄ and 298 kg CO₂-eq/kg N₂O [22] [23]. Nilai faktor emisi yang bersifat rinci, berdasarkan spesifik proses dan/atau lokasi dapat diambil dari penelitian-penelitian terkait.



Gambar 8. Ilustrasi Pengelompokan Sektor Inventarisasi GRK [14]

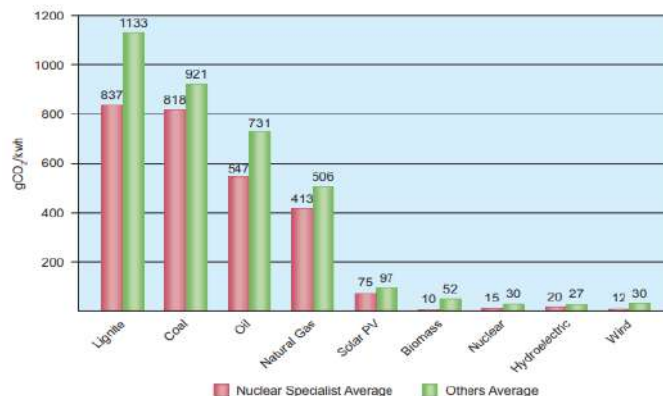


Gambar 2. Perbandingan Kontribusi Setiap Sektor terhadap Emisi GRK Nasional Pada Tahun 2017, 2018, dan 2019 [15]

PEMBAHASAN

Tingginya ketergantungan terhadap pemanfaatan energi fosil merupakan salah satu hambatan dalam pelaksanaan pengurangan emisi GRK. Dalam Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 [24] [25] telah diperinci mengenai bauran energi baru dan terbarukan (EBT). Target bauran energi pengembangan dan pemanfaatan EBT pada tahun 2025 sebesar 23% terbilang cukup pesimis untuk dicapai dengan sisa waktu 2 tahun dari sekarang. Terlebih dengan hasil capaian pada akhir tahun 2021 bauran EBT baru mencapai peresentase 11,5% [26].

Jika melihat beberapa konsep dan contoh peran dari pemanfaatan nuklir yang ada, beberapa referensi akan melihat peran nuklir terhadap sektor energi dalam sub kategori pembangkit listrik. Beberapa komunitas internasional menyampaikan bahwa pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga nuklir memberikan nilai emisi yang kecil dibandingkan dengan pembakaran batubara. Pada gambar 3 berikut merupakan gambaran analisis daur hidup dari studi yang terdapat dalam laporan *World Nuclear Association (WNA)* [27]. Terlihat nilai faktor emisi dari pembangkitan nuklir yang berkisar pada 15 atau 20 gCO₂-eq/kWh. Nilai ini terbilang memang cukup rendah dibandingkan dengan sumber energi lainnya seperti batubara yang berkisar pada 800-900an gCO₂-eq/kWh.



Gambar 3. Analisis Daur Hidup Sumber Pembangkitan Listrik [27]

Jika kita bandingkan dengan data emisi GRK nasional maka sektor energi berkontribusi lebih dari 30% terhadap total emisi GRK. Jika hanya melihat dari nilai faktor emisi tersebut, maka pemanfaatan nuklir dapat berperan dalam diversifikasi energi dan pengurangan emisi GRK. Hanya saja, berdasarkan pada Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017, mengisyaratkan bahwa pemanfaatan nuklir sebagai sumber energi pilihan terakhir. Berdasarkan pada beberapa laporan menyebutkan bahwa diversifikasi energi dalam rangka pengurangan emisi GRK sub kategori pembangkit listrik akan berfokus pada energi baru dan terbarukan.

Sebagai perbandingan, faktor emisi pembangkitan listrik yang ada di Norwegia sebesar 0,007 kgCO₂-eq/kWh. Produksi listrik di Norwegia hampir sebagian besar berasal dari pembangkit listrik tenaga air. Kemudian Polandia memiliki nilai faktor emisi sebesar 1,13 kg CO₂-eq/kWh dengan mayoritas produksi listrik berbasis pada batubara. Fruergaard et al. (2009) mengambil pendekatan faktor emisi yang dapat digunakan dengan rentang 0,1 – 0,9 kg CO₂-eq/kWh. Nilai faktor emisi yang rendah mewakili sistem energi terbarukan yang tinggi. Sedangkan nilai faktor emisi yang tinggi mewakili sistem energi yang sebagian besar berbasis pada pembakaran batubara [28]. Sebagai contoh lain nilai faktor emisi dari pembangkitan listrik dari pembakaran batubara adalah 0,32232 kg CO₂/kWh untuk CO₂, 0,00280 kg CO₂-eq/kWh untuk N₂O, dan 0,00006 kg CO₂-eq/kWh untuk CH₄ [29]. Mengacu pada data kementerian ESDM faktor emisi GRK sistem ketenagalistrikan untuk *grid* Jawa, Madura, dan Bali (JAMALI) bernilai 0,87 kg CO₂/kWh. Jika dibandingkan dengan beberapa nilai faktor emisi tersebut maka pemanfaatan nuklir sebagai pembangkit termasuk teknologi yang minim menghasilkan GRK.

Jika kita kembali pada definisi pemanfaatan tenaga nuklir, makna pemanfaatan tersebut sangat luas. Pemanfaatan nuklir tidak hanya terbatas pada sumber energi yang dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Dalam panduan IPCC 2006 diberikan contoh pada sub kategori di sektor proses industri dan penggunaan produk (IPPU). Dalam daur bahan bakar nuklir emisi gas SF₆ dapat dipancarkan sebagai produk sampingan dari pemrosesan bahan nuklir untuk produksi bahan bakar nuklir dan hulu ledak nuklir. SF₆ diketahui dipancarkan dari proses penetralan akibat kelebihan fluor selama produksi bahan bakar nuklir [30]. SF₆ dapat digunakan dalam menghilangkan fluorida yang mudah menguap dari uranium oksida. Uranium oksida (seperti U₃O₈) harus berfluorinasi menjadi UF₆ setelah kontak dengan SF₆ dan menjadi mudah menguap pada suhu sedang (sedang) [31].

Di luar dari daur bahan bakar nuklir, gas SF₆ juga dapat ditimbulkan dari proses transmisi listrik dari titik pembangkitan ke konsumen akhir. Berdasarkan pada salah satu penelitian, emisi SF₆ selama transmisi dan distribusi listrik merupakan penyumbang GRK terbesar kedua. Emisi SF₆ yang signifikan tidak dilepaskan secara langsung oleh pembangkit listrik, tetapi SF₆ dilepaskan oleh peralatan listrik yang digunakan untuk transmisi dan distribusi listrik [32]. SF₆ digunakan secara umum dalam industri metalurgi dan elektronik sebagai insulasi untuk peralatan elektronik [33].

Terkait opsi pemanfaatan nuklir dari sektor pembangkit listrik, dari sisi kebijakan, BAPETEN telah menerbitkan Surat Keputusan nomor 0528/K/III/2022 tentang Peta Jalan Pengawasan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Tahun 2022 – 2035. Peta jalan pengawasan ini sebagai bentuk komitmen dan dukungan kepada Pemerintah untuk memenuhi Perjanjian Paris (*Paris Agreement*). Peta Jalan ini disusun BAPETEN dalam rangka mempersiapkan infrastruktur pengawasan pembangunan PLTN sekiranya opsi energi nuklir siap untuk diimplementasikan dalam rangka upaya mencapai penurunan emisi GRK.

Selain pada pada sektor energi sebagaimana diuraikan di atas, pemanfaatan nuklir lainnya dapat terlibat pada sektor pengelolaan limbah. Pengelolaan limbah berfokus pada penanganan limbah domestik yaitu limbah padat dari domestik dan industri, limbah cair dari domestik dan industri, serta limbah lainnya (seperti limbah bahan beracun dan berbahaya/ B3). Secara langsung, mungkin akan terdengar kurang familiar jika dikaitkan hubungan sektor pengelolaan limbah dengan pemanfaatan nuklir. Definisi pengelolaan limbah dalam perhitungan emisi GRK berbeda dengan konteks definisi yang dalam pengelolaan limbah nuklir. Limbah dimaknai sebagai sampah dan mengikuti ketentuan dalam Undang-Undang No. 18 Tahun 2008.

Pemanfaatan nuklir dari sektor pengelolaan limbah ini memang sejatinya terlihat kurang terkait jika dihubungkan secara langsung dengan isu penurunan emisi GRK. Namun, pemanfaatan nuklir dari sektor ini digunakan sebagai salah satu proses yang mendukung pengurangan emisi GRK dari kegiatan lainnya, yaitu salah satunya adalah penanganan sampah plastik. Pemanfaatan teknologi nuklir tersebut dilakukan melalui teknik radiasi.

Dalam perspektif kerja sama internasional dan inisiasi kemitraan lintas bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, *International Atomic Energy Agency* (IAEA) yang merupakan badan PBB terkait pemanfaatan energi nuklir untuk tujuan damai sudah melakukan berbagai kegiatan yang mencakup kontribusi tenaga nuklir terhadap perubahan iklim. Salah satunya adalah melalui penerbitan serial publikasi dua tahunan (*Biennial Publication Series*) tentang Perubahan Iklim dan Tenaga Nuklir, yang pada tahun 2021 lalu telah menerbitkan publikasi "*Nuclear Energy for a Net Zero World*". Penerbitan serial publikasi ini memberikan gambaran umum tentang hubungan yang sangat penting antara perubahan iklim dan kemungkinan kontribusi energi nuklir dalam mengurangi emisi GRK di masa depan.

IAEA juga secara aktif berpartisipasi dalam *the UN Conferences of the Parties (COP) to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, dan telah menyelenggarakan *The First International Conference on Climate Change and the Role of Nuclear Power* tahun 2019 yang diikuti tidak kurang dari 500 peserta dari 79 negara anggota, dan 17 organisasi terkait. IAEA telah memperkenalkan, membangun, dan mengembangkan

proyek *NUclear TEChnology for Controlling Plastic Pollution (NUTEC Plastics)* dalam rangka dukungan terhadap penanganan polusi plastik.

Indonesia merupakan salah satu negara yang mendukung dan menjadi salah satu *pilot project country* program *NUTEC Plastic*. Proyek percontohan tersebut untuk menerapkan 3 fase pengembangan yaitu 1) penguatan penanganan limbah plastik di sektor hilir, 2) pembangunan *demo plant*, dan 3) eksplorasi dan ekstraksi sektor hulu (*upstreaming*) pemanfaatan teknologi iradiasi penanganan limbah plastik. Program tersebut akan diimplementasikan dalam bentuk satu proyek nasional untuk siklus 2022–2023, walaupun saat ini Indonesia sendiri melalui BRIN-ORTN (dh. BATAN) sudah terlibat dalam proyek regional IAEA RAS1024 “*Reutilizing and Recycling Polymeric Waste through Radiation Modification for the Production of Industrial Goods*” terkait pemanfaatan teknologi radiasi untuk polimer (termasuk pengolahan dan pemanfaatan limbah plastik) untuk siklus 2020–2024, yang proyek RAS1024 ini akan diintegrasikan dengan *NUTEC Plastic*.

Polimer merupakan kandungan yang ada dalam plastik yang tersusun dari monomer sehingga terbentuk suatu rantai Panjang [34]. Bahan baku dari plastik dapat berasal dari fosil (minyak mentah, gas, dll) atau terbarukan (tebu, pati, minyak nabati, dll) atau bahkan basa mineral (garam) [35]. Teknologi radiasi digunakan salah satunya sebagai memecah atau mengubah polimer dalam plastik menjadi komponen yang lebih kecil.

Saat ini, ketentuan mengenai teknologi radiasi telah diatur dalam peraturan. Sebagai contoh seperti iradiator dengan sumber radioaktif atau pembangkit radiasi pengion yang memiliki manfaat untuk polimerisasi, pengawetan, atau sterilisasi. Terkait dengan perizinan diatur dalam Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2021 [36]. Sedangkan dari aspek keselamatan radiasi tertuang dalam Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2020 [37]. Dari segi landasan peraturan, pemanfaatan tersebut telah terlingkupi dari peraturan-peraturan yang ada. Hanya saja jika mengacu pada definisi yang ada, konsep depolimerisasi belum terlingkupi dalam definisi iradiator yang tertuang dalam peraturan BAPETEN tersebut. Meskipun berdasarkan unjuk kerja peralatan, maka iradiator dapat digunakan untuk tujuan depolimerisasi material.

Dari uraian di atas, pemanfaatan nuklir dapat berperan secara langsung dan tidak langsung dalam pengurangan emisi GRK. Kontribusi langsung terjadi ketika nuklir dimanfaatkan dalam sektor energi sebagai pembangkit listrik. Sedangkan kontribusi tidak langsung ketika pemanfaatan nuklir dalam mendukung suatu proses kegiatan dalam upaya penurunan emisi GRK. Ketika nuklir digunakan dalam proses pengolahan plastik, maka akan mengurangi jumlah plastik yang tidak terolah, menambah suplai material bahan baku yang dapat digunakan sebagai substitusi dalam produksi plastik kualitas tertentu, atau mengubahnya menjadi material guna lainnya. Dilihat dari sudut pandang pencegahan atau pengurangan GRK (*Greenhouse Gas Avoidance/Reduction*) didapatkan ketika listrik yang dihasilkan menggantikan konsumsi bahan bakar fosil.

Sebagai gambaran dalam konsep pembangkitan listrik dengan tenaga nuklir, dapat kita bagi menjadi 2 proses utama yaitu hulu dan hilir. Kegiatan hulu meliputi energi dan emisi yang terkait dengan penambangan uranium, pengolahan bijih, konversi, pengayaan, dan transportasi. Sedangkan kegiatan hilir meliputi transmisi dan distribusi listrik. Analisis daur hidup diperlukan untuk memahami lebih detail besaran beban lingkungan dari masing-masing siklus atau keseluruhan siklus hidup dalam pemanfaatan nuklir tersebut. Dalam perhitungan faktor emisi tersebut, batasan lingkup akan mempengaruhi nilai yang didapatkan. Perhitungan nilai faktor emisi yang spesifik untuk suatu proses dengan menggunakan *tier 2* atau *tier 3* membutuhkan upaya yang sangat besar. Dibutuhkan gambaran proses input yang dibutuhkan dan output yang dihasilkan disertai dengan kuantifikasi nilai dalam satuan tertentu.

Dari aspek peraturan pemanfaatan nuklir memang tidak secara tertulis menyebutkan dorongan terhadap pengurangan emisi GRK. Saat ini, dapat dikatakan bahwa pemanfaatan nuklir belum berkontribusi secara langsung dalam pengurangan emisi GRK di Indonesia. Dalam sektor energi, pembangkit listrik tenaga nuklir juga masih menjadi sumber energi pilihan terakhir. Keputusan untuk membangun pembangkit listrik tenaga nuklir juga bukan hanya berbicara aspek keekonomian dan keunggulan dari unjuk kerja pembangkit, tetapi juga tentang pertimbangan lain seperti aspek politik, penerimaan sosial dan budaya, serta lingkungan hidup. Sedangkan pemanfaatan nuklir lainnya seperti iradiasi dalam pengolahan sampah juga masih dalam skala penelitian dan pengembangan. Penelitian dilakukan untuk dengan meninjau dari berbagai aspek seperti teknologi, keekonomian, dan implementasi hilirisasi hasil penelitian.

KESIMPULAN

Dampak gas rumah kaca (GRK) diantaranya pemanasan global yang memicu terjadinya perubahan iklim di dunia. Gas rumah kaca dapat terjadi secara alami di lingkungan atau dari aktivitas manusia. Beberapa sektor menjadi prioritas penurunan emisi GRK di Indonesia diantaranya sektor energi dan pengelolaan limbah. Pemanfaatan nuklir berperan dalam pengurangan emisi GRK secara langsung dan tidak langsung. Kontribusi langsung terjadi ketika nuklir dimanfaatkan dalam sektor energi sebagai pembangkit listrik. Persepsi global menyampaikan bahwa tenaga nuklir merupakan energi yang ramah lingkungan dan minim emisi karbon dalam hal digunakan sebagai sumber energi. Nilai faktor emisi dari sumber pembangkit nuklir memang lebih kecil dibandingkan dengan sumber pembangkitan lainnya seperti batubara. Pemanfaatan tidak hanya terbatas pada sumber energi. Kontribusi tidak langsung ketika pemanfaatan nuklir digunakan dalam mendukung satu atau beberapa proses dalam upaya penurunan emisi GRK. Salah satu proses tersebut diantaranya adalah dari sektor pengelolaan limbah dengan sumber sampah plastik. Upaya pemerintah Indonesia ini juga didukung oleh mitra internasional IAEA dengan menjadikan Indonesia sebagai *pilot project country* program *NUTEC Plastic*. Dari

segi aspek peraturan pemanfaatan nuklir memang belum secara tertulis menyebutkan dorongan terhadap pengurangan emisi GRK. Dalam sektor energi, pembangkit listrik tenaga nuklir juga masih menjadi sumber energi pilihan terakhir. Tantangan pembangunan tidak hanya berbicara aspek keekonomian dan keunggulan dari unjuk kerja pembangkit, tetapi juga aspek politik, penerimaan sosial dan budaya, serta lingkungan hidup. Sedangkan pemanfaatan nuklir lainnya seperti iradiasi dalam pengolahan sampah dalam proses pengembangan yang masih membutuhkan tinjauan terhadap teknologi, keekonomian, dan implementasi hilirisasi produk riset.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, "Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran," Jakarta, 1997.
- [2] Republik Indonesia, "Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi," Jakarta, 2007.
- [3] National Climatic Data Center (NOAA), "<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113>," State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2021, January 2022. [Online]. Available: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202113>. [Accessed 16 April 2022].
- [4] Inigo Kila Adinatha & Chusnul Arif, "Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Berdasarkan Penggunaan Lahan di Kota Bogor," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 49-64, 01 April 2022.
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Peraturan Menteri ESDM Nomor 22 Tahun 2019 tentang Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi dan Mitigasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi," Jakarta, 2019.
- [6] Wahyu Purwanta, "Bunga Rampai Inovasi Teknologi Pengukuran dan Estimasi Emisi Karbon Indonesia," in Bab 1: Perubahan Iklim dan Emisi Gas Rumah Kaca: A Point of View, Jakarta, BPPT Press, 2017, pp. 1-7.
- [7] Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK)," Jakarta, 2011.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Inventarisasi Emisi GRK Sektor Energi 2020," Kementerian ESDM, Jakarta, 2020.
- [9] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), "Indonesia Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050 (Indonesia LTS-LCRR 2050)," Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Jakarta, 2021.
- [10] BAPPENAS, "Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pengolahan Limbah," BAPPENAS, Jakarta, 2014.
- [11] Velma Nindita, "Estimasi Emisi (N₂O) Dari Timbulan Sampah Di Kampus 3 UPGRI Semarang," *Bangun Rekaprima*, vol. 5, no. 2, pp. 1-8, Oktober 2019.
- [12] Presiden Republik Indonesia, "Perpres No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca," Jakarta, 2011.
- [13] Presiden Republik Indonesia, "Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional," Jakarta, 2011.
- [14] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), "Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II - Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi," Jakarta, 2012.
- [15] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), "Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) 2020," Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Jakarta, 2021.
- [16] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Chapter 1 Introduction to the 2006 Guidelines," (IPCC), 2006.
- [17] Kementerian Lingkungan Hidup, "Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II - Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi," Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta, 2012.
- [18] T. Kustiasih, L. M. Setyawati, F. Anggraeni, S. Darwati, Aryenti, "Faktor Penentu Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan," *Jurnal Permukiman*, vol. 9, no. 2, pp. 78-90, Agustus 2014.
- [19] Elsa Try Julita, Alifa Intan Safithri, Maria Prihandrijanti, "Estimasi Mitigasi Gas Rumah Kaca dengan Penerapan Daur Ulang Sampah Kasus: Universitas Agung Podomoro," *Architecture Innovation*, vol. 5, no. 1, pp. 25-42, June 2021.
- [20] Mochammad Chaerul, Arri Febrianto, Haryo Satriyo Tomo, "Peningkatan Kualitas Penghitungan Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Pengelolaan Sampah dengan Metode IPCC 2006 (Studi Kasus Kota Cilacap)," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 18, no. 1, pp. 153-161, 2020.
- [21] Presiden Republik Indonesia, "Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi GRK Nasional," Jakarta, 2011.
- [22] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2: Energy Chapter 3: Mobile Combustion," (IPCC), Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
- [23] I. Bakas, Marlene Sieck, Tim Hermann, Frits Møller Andersen, Helge Larsen, "ETC/SCP working paper 4/2011 on Projections of Municipal Waste Management and Greenhouse Gases," European Environment Agency, Copenhagen, 2011.

- [24] Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN)," Jakarta, 2014.
- [25] Presiden Republik Indonesia, "Perpres No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)," Jakarta, 2017.
- [26] Kementerian ESDM, Perlu Upaya Konkrit dan Terencana Capai Target Bauran 23% Di Tahun 2025, Jakarta, 2021.
- [27] World Nuclear Association (WNA), "Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources," World Nuclear Association (WNA), London, 2011.
- [28] T. Fruergaard, Tomas Astrup, Thomas Ekvall, "Energy use and recovery in waste management and implications for accounting of greenhouse gases and global warming contributions," *Waste Management & Research*, vol. 27, pp. 724-737, 2009.
- [29] G. A. Kristanto and W. Koven, "Estimating greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Depok, Indonesia," *City and Environment Interactions*, vol. 4, no. 100027, pp. 1-8, December 2019.
- [30] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2: Energy Chapter 3: Mobile Combustion," (IPCC), Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
- [31] R. Torres, J. Gray, P. Korinko, M. Martinez-Rodriguez, J. Becnel, B. Garcia-Diaz, & T. Adams, "Sulfur Hexafluoride Treatment of Used Nuclear Fuel to Enhance Separations," Savannah River National Laboratory, 2012.
- [32] National Energy Technology Laboratory (NETL), "Role of Alternative Energy Sources: Nuclear Technology Assessment," National Energy Technology Laboratory (NETL), 2012.
- [33] AREVA, "AREVA in 2006," AREVA, Paris, 2006.
- [34] V. A. Setyowati, E. W. R. Widodo, "Studi Sifat Fisis, Kimia, dan Morfologi pada Kemasan Makanan Berbahan Styrofoam dan LDPE (Low Density Polyethylene): Telaah Kepustakaan," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 39-45, 2017.
- [35] Plastics Europe (Association of Plastics Manufacturers), "Plastics – the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data," Plastics Europe (Association of Plastics Manufacturers), 2019.
- [36] BAPETEN, "Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir No 3 Tahun 2021 Tentang Standar Kegiatan Usaha dan Standar Produk pada Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko Sektor Ketenaganukliran," Jakarta, 2021.
- [37] BAPETEN, "Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator untuk Iradiasi," Jakarta, 2020.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



EVALUASI KESELAMATAN TERHADAP KUANTITAS LIMBAH RADIOAKTIF CAIR TINGKAT SEDANG DARI PENGOPERASIAN REAKTOR RSG- GAS

Jaja Sukmana^{1, a)}, Puspitasari Ramadania^{2, b)}, M Gading Permadi^{3, c)}

^{1,2,3)}Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran-Reaktor RSG-GAS

^{a)}jaja002@brin.go.id

^{b)}pusp006@brin.go.id

^{c)}muha220@brin.go.id

Abstract. Prapengolahan limbah radioaktif dilakukan dengan metode pengumpulan dan pengelompokan berdasarkan peraturan berlaku, dengan kategori pada sifat radiologi; sifat biologi; sifat fisika; sifat kimia; dan volume. DPFK-Reaktor RSG-GAS melakukan prapengolahan limbah yang disebut sebagai proses manajemen limbah, terutama berdasar sifat fisika. Pengumpulan dan pengelompokan limbah radioaktif cair dilakukan dengan memisahkan aliran limbah radioaktif berdasarkan potensi kandungan kimia dan radionuklida. Limbah radioaktif cair pada lima tahun pertama operasi reaktor jumlahnya lebih kecil dari perkiraan desain. Tetapi sejak tahun 2011 terpantau mengalami peningkatan volume dan frekuensi pengiriman limbah cair ke instalasi pengolah limbah. Dengan metode evaluasi terhadap data laporan operasi reaktor, maka limbah radioaktif cair tingkat sedang pada prapengolahan di reaktor RSG-GAS dapat dideskripsikan dari kuantitas dan kandungan radionuklidanya. Kuantitas limbah radioaktif cair tingkat sedang (tahun 2015-2020) mengalami tren meningkat dengan frekuensi pengiriman tertinggi 43 kali dan volume 108,0 m³ pada operasi ke-100. Sedangkan jenis radionuklida yang terpantau dengan aktivitas dominan, yaitu Zn-65 90 Bq/l, Na-24 60 Bq/l, dan Co-60 18 Bq/l. Dengan demikian diperlukan pengendalian dan penanganan terhadap asal limbah, produk aktivasi, dan ketersediaan tangki penampungan. Pada tahun 2015 dan tahun 2020 telah dibuat tindakan korektif terhadap asal limbah, yaitu pemasangan klem dan penambahan unit resirkulasi air pada sistem tabung berkas neutron yang diharapkan dapat membantu pemenuhan perizinan operasi reaktor RSG-GAS.

PENDAHULUAN

Reaktor RSG-GAS mempunyai beberapa fasilitas utama dan pendukung yang berpotensi menghasilkan limbah, baik limbah radioaktif, limbah nonradioaktif ataupun limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK)-reaktor RSG-GAS melakukan kegiatan prapengolahan limbah radioaktif dengan memenuhi ketentuan mengenai proteksi dan keselamatan radiasi[1], dan ketentuan keamanan sumber radioaktif[2]. Sedangkan pengolahan limbah radioaktif selanjutnya menjadi tanggung jawab instalasi pengolah limbah radioaktif[3].

DPFK melakukan prapengolahan limbah yang disebut proses manajemen limbah. yang terbatas berdasar pada salah satu sifat fisika, yaitu berupa limbah cair dan limbah padat. Sesuai peraturan[3], pengelolaan limbah cair terbagi dalam dua kategori yakni limbah radioaktif cair tingkat rendah dan tingkat sedang. Pada makalah ini, penulis akan membatasi evaluasi pada lingkup kuantitas limbah radioaktif cair tingkat sedang.

Pada evaluasi lima tahun pertama reaktor RSG-GAS beroperasi, jumlah limbah cair yang dihasilkan jauh lebih kecil dibandingkan dengan perkiraan desain[4]. Limbah semi cair (resin bekas) reaktor RSG-GAS sebanyak 940 lt/th mengandung radionuklida berupa Co-60 dan Zn-65[5]. Prapengolahan (penampungan) limbah radioaktif cair tingkat sedang cenderung mengalami peningkatan volume sejak tahun 2011 dan telah dilakukan tindakan penanganan pada tahun 2015, namun terpantau volume bertambah kembali hingga 2018. Terdapat bahwa unsur radionuklida pada limbah cair tersebut mengandung unsur radionuklida seperti Co-60, Zn-65, dan Na-24[6]. Sedangkan Radionuklida yang terkandung pada limbah radioaktif cair tingkat rendah dari reaktor RSG-GAS merupakan produk aktivasi bahan korosi di kolam reaktor, yaitu Co-60, Cs-137, Sb-124, dan Zn-65. Konsentrasi radionuklida tersebut masih di bawah batasan yang diizinkan yaitu 2×10^3 Bq/l[7].

Pertambahan volume limbah radioaktif cair tingkat sedang, dalam pengiriman ke Instalasi pengolah limbah mengalami kendala karena daya angkut tangki limbah hanya 2,5 m³. Sehingga berdampak terhadap durasi angkut, frekuensi, dan akses ke gedung reaktor pada saat pengiriman. Untuk kemudahan operasional secara manajemen ataupun teknis, telah dirancang pemasangan pemipaan penyaluran limbah ke luar Gedung reaktor hingga ke mobil pengangkut[8].

Dengan demikian maka tujuan penyajian makalah ini adalah untuk mengevaluasi dan mendeskripsikan limbah radioaktif cair tingkat sedang dari reaktor RSG-GAS terutama dari volume dan radionuklida, serta ditinjau dari pemenuhan persyaratan keselamatan pada kesiapan sarana operasi reaktor RSG-GAS.

TEORI

Limbah radioaktif adalah bahan dan peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi. Ada 3 jenis limbah radioaktif, yaitu limbah padat, limbah cair, dan limbah semi cair. Limbah cair radioaktif dibagi dalam dua kategori, yaitu limbah radioaktif cair tingkat rendah dan limbah radioaktif cair tingkat sedang.

Pengolahan limbah radioaktif adalah proses untuk mengubah karakteristik dan komposisi limbah radioaktif sehingga apabila disimpan dan/atau dibuang tidak membahayakan masyarakat dan lingkungan hidup. Limbah yang dibuang ke lingkungan harus sudah memenuhi tingkat klirens dan memenuhi nilai batas lepasan radioaktivitas lingkungan (NBLR). Tingkat Klirens adalah nilai konsentrasi aktivitas dan/atau aktivitas total radionuklida tunggal atau campuran yang ditetapkan oleh BAPETEN, yang apabila konsentrasi aktivitas radionuklida di bawah nilai tersebut, radionuklida dapat dibebaskan dari pengawasan. Sedangkan NBLR adalah nilai batas lepasan zat radioaktif ke lingkungan secara terencana dan terkendali yang ditetapkan oleh BAPETEN[3].

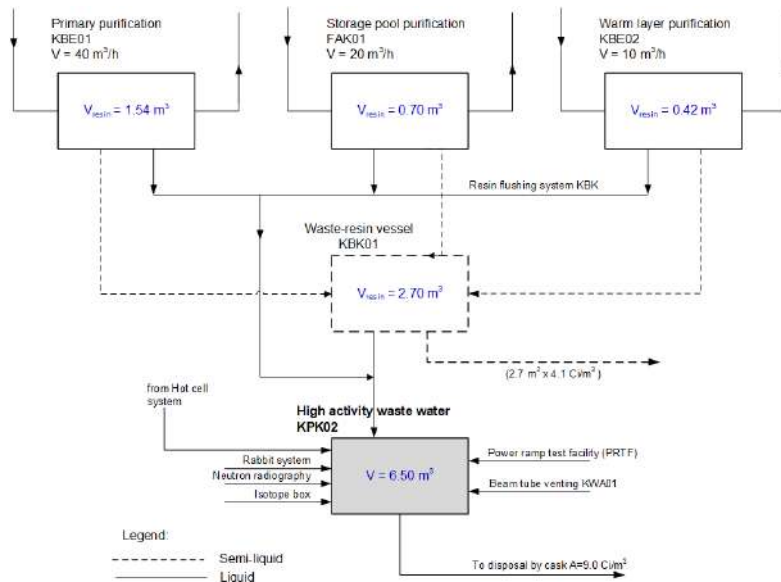
Ketentuan pemenuhan tingkat klirens dan NBLR berlaku pada kegiatan prapengolahan, pengolahan, dan pasca pengolahan limbah radioaktif. Kegiatan tersebut berupa pengumpulan dan pengelompokan limbah radioaktif yang dilakukan berdasarkan: asal limbah radioaktif; sifat radiologi; sifat biologi; sifat fisika; sifat kimia; volume; bahaya nonradiasi; dan cara pengolahan / penyimpanan yang dilakukan[3].

Kategori sifat radiologi paling kurang diantaranya, meliputi: jenis radionuklida; waktu paruh; aktivitas dan konsentrasi aktivitas; jenis pemancar radiasi. Sifat fisika paling kurang meliputi: fase; massa & volume; daya penyebaran (dispersibilitas); dan daya penguapan. Sedangkan sifat kimia paling kurang meliputi: komposisi kimia; daya larut; potensi bahaya kimia; pelepasan gas.

Pengumpulan dan pengelompokan limbah radioaktif cair dilakukan dengan memisahkan aliran limbah radioaktif berdasarkan kandungan kimia dan radionuklida.

Untuk menampung limbah cair di reaktor RSG-GAS, dipasang dua sistem penampung limbah cair yang terpisah di gedung reaktor, yaitu sistem penampung limbah radioaktif cair tingkat rendah (KPK01) dan sistem penampung limbah radioaktif cair tingkat sedang (KPK02). Tangki limbah radioaktif cair tingkat sedang (KPK02) berkapasitas menampung limbah sebanyak 6,5 m³. Sumber limbah radioaktif cair tingkat sedang di reaktor RSG-GAS berasal dari Sistem pembilasan resin dan proses transfer resin bekas (KBK01), dari Sistem permunian primer (KBE01), Sistem permurnian lapisan air hangat (KBE02), Sistem permunian kolam penyimpan bahan bakar teriradiasi (FAK01), Sistem *hot cell* (FJQ), Sistem venting tabung bekas (KWA01), *Power Ramp Test Facility* (JBF), *Isotope boxes* (FJQ03), *Rabbyt System* (JBB), dan Radiografi Neutron (JBQ)[9]. Diagram alir penampungan limbah cair reaktor RSG-GAS ditunjukkan pada Gambar 1.

Sebelum reaktor beroperasi dilakukan pemeriksaan melalui uji persiapan sarana operasi (PSO) agar dipastikan tersedia tangki penampung limbah cair tersebut. Begitupun saat operasi berjalan, kondisi volume atau level tangki harus dipantau. Apabila tangki sudah penuh maka segera harus dikosongkan dengan mengirimkan ke PTLR dan memenuhi syarat kriteria keberterimaan.



GAMBAR 1. Diagram alir penampungan limbah cair dan semicair reaktor RSG-GAS[9]

METODOLOGI

Metodologi dalam penyusunan makalah ini, yaitu mengevaluasi prapengolahan/penanganan limbah radioaktif cair tingkat sedang di reaktor RSG-GAS melalui data primer pada Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS dengan lingkup data tahun 2015 s/d tahun 2020, dan studi literatur pada data sekunder dari peraturan serta Jurnal yang terkait. Fokus evaluasi, sebagai berikut:

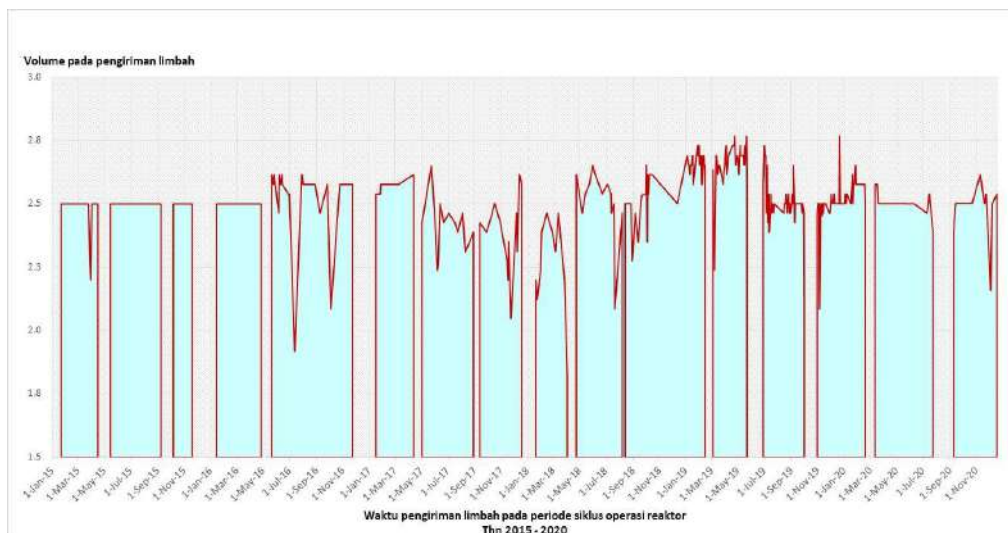
- Identifikasi dan evaluasi terkait frekuensi & kuantitas limbah radioaktif cair tingkat sedang.
- Identifikasi dan evaluasi terkait radionuklida & konsentrasi aktivitas yang terkandung pada limbah radioaktif cair tingkat sedang.
- Deskripsi tindakan korektif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini hasil pendataan limbah radioaktif cair tingkat sedang dari reaktor RSG-GAS yang bersumber dari laporan operasi RSG-GAS[10]. Ditampilkan dalam bentuk grafik.

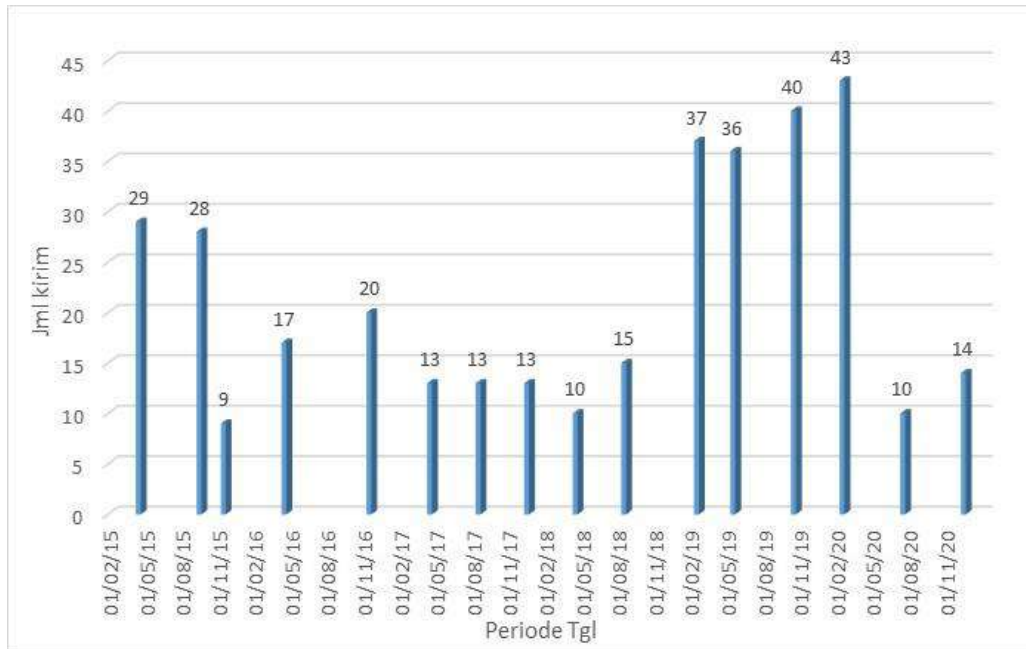
a) Frekuensi Pengiriman dan Kuantitas Limbah Radioaktif Cair Tingkat Sedang

Pengiriman limbah radioaktif cair tingkat sedang dilakukan sesuai dengan kapasitas tangki standar pengangkut limbah cair yang dimiliki PTLR yaitu rata-rata 2,5 m³. Pengiriman dengan volume di bawah itu tetap dilakukan karena kondisi tangki KPK02 harus dikosongkan untuk memenuhi persyaratan ketersediaan tangki pada kesiapan sarana operasi sebelum reaktor dioperasikan. Kondisi tersebut diperlihatkan pada Gambar 2 di bawah ini.



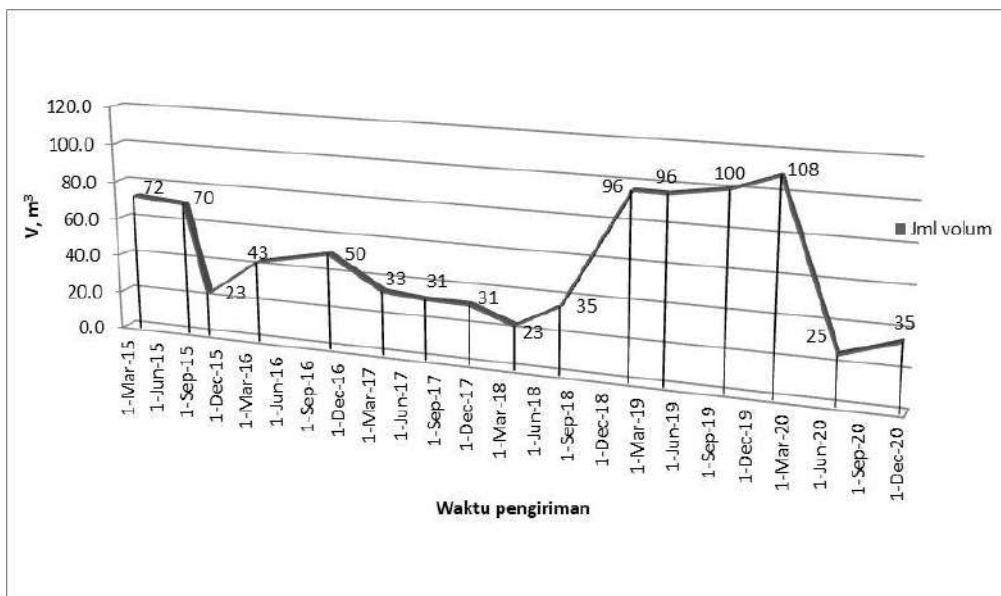
GAMBAR 2. Grafik volume limbah radioaktif cair tingkat sedang selama tahun 2015-2020

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa pengiriman limbah setiap siklus operasi berkisar antara 9 kali s/d 43 kali. Frekuensi pengiriman limbah cair radioaktif tingkat sedang paling sering adalah pada awal tahun 2015 yaitu 29 kali, akhir tahun 2019 yaitu 40 kali, dan awal tahun 2020 yaitu 43 kali pengiriman. Sebagai catatan: tidak ditemukan data laporan pengiriman limbah dari sistem KPK02 sebelum tahun 2015, atau sebelum siklus operasi ke-87.



GAMBAR 3. Jumlah pengiriman limbah cair tingkat sedang setiap siklus operasi reaktor

Sumber limbah yang ditampung pada sistem KPK02 berasal dari sistem proses di reaktor, yaitu dari KBK01, KBE01, KBE02, FAK01, FJQ, KWA01, JBF, FJQ03, JBB, dan JBQ. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Evaluasi pada data laporan operasi reaktor RSG-GAS[10] tidak ditemukan adanya perbaikan ataupun catatan terkait kejadian-kejadian kebocoran air pendingin atau air luapan, air tumpahan yang berasal dari sistem-sistem pemasok limbah radioaktif cair tingkat sedang tersebut. Sedangkan berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa pengiriman limbah tiap siklus operasi berkisar antara 22,5 m³ s/d 108,0 m³. Volume pengiriman tertinggi adalah pada awal tahun 2015, tahun 2019, dan awal tahun 2020[10].



GAMBAR 4. Tren volume limbah radioaktif cair tingkat sedang setiap siklus operasi reaktor

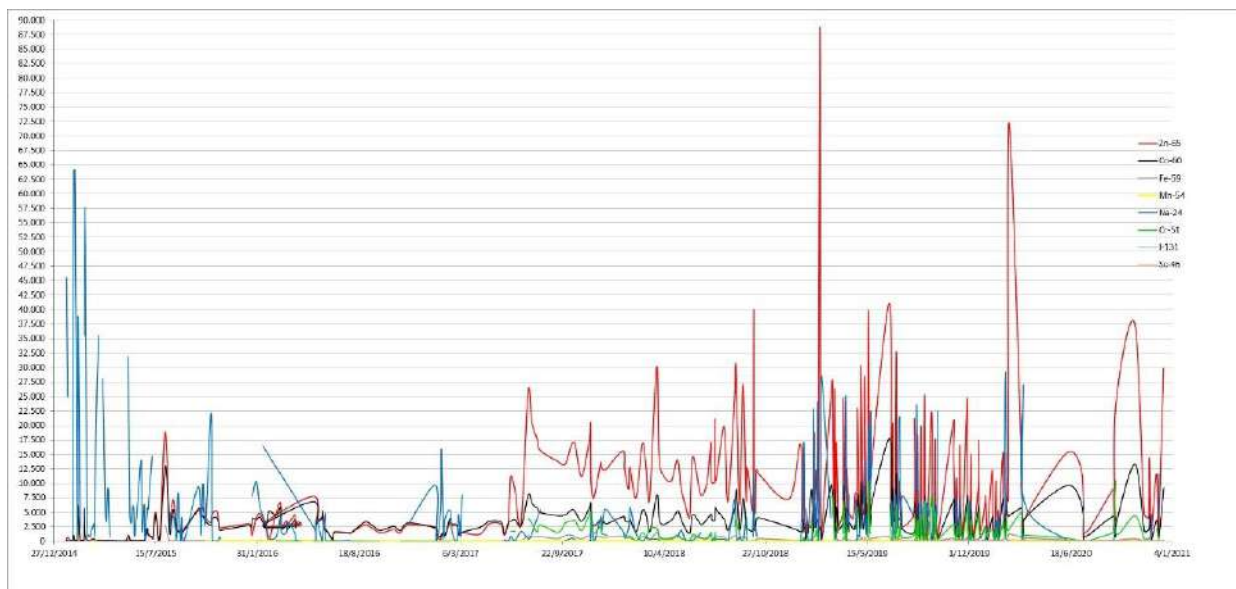
Kondisi yang ditimbulkan akibat peningkatan volume limbah radioaktivitas cair tingkat sedang, yaitu keterbatasan volume tangki penampung dan keterbatasan drum pengangkut untuk pengiriman ke Pusat pengelola limbah radioaktif (PTPLR)[6]. Ketersediaan dan kesiapan (kemampuan menampung) 1 tangki limbah cair tingkat sedang sebelum reaktor beroperasi adalah sebagai parameter batasan dan kondisi operasi

(BKO) yang diterapkan melalui pelaksanaan PSO sistem pendukung reaktor. Keadaan ini berbeda dengan limbah radioaktif cair tingkat rendah yang bisa dialirkan langsung ke PBT setelah terpantau aktivitas/kandungan radionuklidanya memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Jika dibandingkan dengan evaluasi pada lima tahun operasi pertama, bahwa pada durasi selama 5 tahun (1987-1992) dilaporkan volume limbah aktivitas tinggi yang dikeluarkan adalah sebanyak 84,2 m³[4], sedangkan pada tahun 2015-2019 dikeluarkan sebanyak 602,6 m³ dan atau tahun 2015-2020 sebanyak 871 m³. Hal ini karena reaktor RSG-GAS sudah beroperasi normal dan optimal (jika dibanding dengan 5 tahun pertama).

b) Konsentrasi Aktivitas Radionuklida pada Limbah Radioaktif Cair Tingkat Sedang

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa radionuklida yang terpantau pada setiap pengiriman limbah tiap siklus operasi adalah Na-24, Ar-41, Cr-51, Mn-54, Fe-59, Co-60, Zn-65, Rh-106, dan Sb-124. Radionuklida dengan rata-rata aktivitas tinggi adalah Zn-65, Na-24, dan Co-60. Dari tingginya aktivitas terlihat bahwa peningkatan aktivitas rata-rata sebanding dengan peningkatan volume limbah yang dihasilkan. Aktivitas Zn-65 tertinggi sebesar 90 Bq/l ($9,0 \cdot 10^4$ Bq/m³) pada Februari 2019 kemudian 70 Bq/l pada Februari 2020, Na-24 sebesar 60 Bq/l pada Februari 2015 kemudian 29 Bq/l pada Februari 2020, dan Co-60 sebesar 18 Bq/l pada Juni 2019 kemudian 13 Bq/l pada Agustus 2015 yang sebenarnya masih berada pada rentang nilai kriteria keberterimaan limbah cair tingkat sedang di PTLR, yaitu $3,7 \cdot 10^4 - 7,14 \cdot 10^8$ Bq/m³[11]. Sedangkan untuk nilai batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan[12] dan atau tingkat klierens[14] menjadi tanggung jawab Instalasi pengolahan limbah radioaktif.



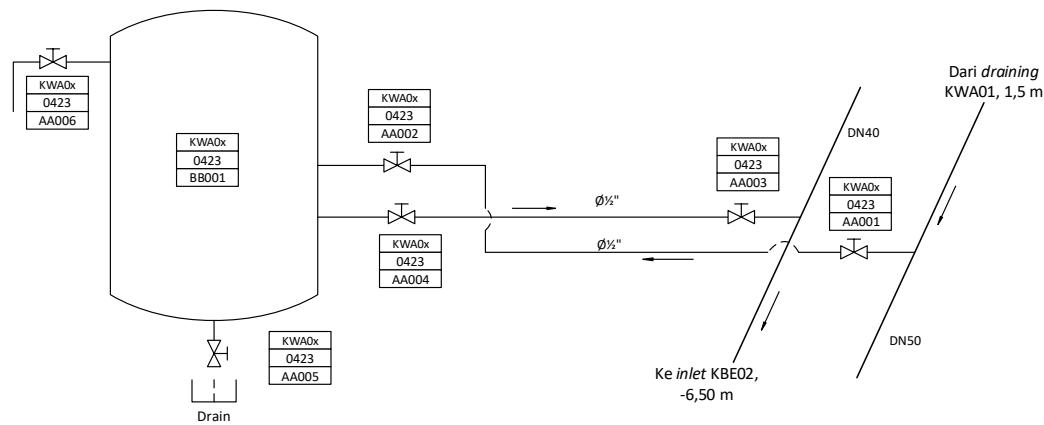
GAMBAR 5. Grafik limbah cair dari KPK02 dengan tren aktivitas radionuklida yang terkandung pada tiap pengiriman[10]

Berdasar perka Bapeten, PRSG hanya sebagai unit prapengolahan sehingga hanya melaksanakan penampungan sementara, identifikasi asal limbah, pemantauan, dan komunikasi pengiriman. Sedangkan pengelolaan akan dilakukan oleh pengelola limbah radioaktif. Dalam proses pengiriman mengikuti SOP dari Instansi pengelola limbah. Radionuklida ini terdata berasal dari proses aktivasi baik oleh electron/positron dan terutama oleh neutron terhadap unsur-unsur yang berada di air pendingin dan pengotor di kolam reaktor.

c)Tindakan Penanganan pada Sumber Limbah Radioaktif Cair Tingkat Sedang

Penyebab seringnya pengiriman dan atau meningkatnya volume limbah, berdasar laporan kegiatan IRSRR (*The Incident Reporting System-Research Reactor*) dengan BAPETEN pada tahun 2013[15] dan tahun 2018[16] disebabkan adanya kebocoran pada tabung berkas neutron (sebelum dilakukan pemasangan klem pada S-5 tahun 2015), sedangkan pada tahun 2019 dan awal tahun 2020 (pada siklus operasi ke-100) disebabkan karena terulangnya kebocoran pada S-5[6]. Kejadian-kejadian tersebut menjadi bahan pembelajaran terkait teknik penanganannya dan tinjauan terhadap desain.

Pada tahun 2020, terkait penanganan kebocoran Tabung berkas neutron S-5 dan untukantisipasi peningkatan limbah maka telah dibuat instalasi resirkulasi air pengisi Tabung berkas neutron sehingga air bocoran tidak langsung menjadi limbah[17]. Skematik unit resirkulasi air kebocoran Tabung berkas neutron, ditunjukkan pada Gambar 6.



GAMBAR 6. Skematik diagram desain unit resirkulasi air pengisi tabung berkas neutron[17]

Dibuatkannya unit resirkulasi air pengisi tabung berkas neutron telah berhasil:

- mengurangi volume limbah cair radioaktivitas tingkat sedang yang dikirim ke PTLR,
- optimalisasi pemanfaatan tabung berkas neutron reaktor, dan
- pemenuhan persyaratan keselamatan pengoperasian reaktor RSG-GAS.

Tindakan korektif ini dapat mendukung keselamatan reaktor, keselamatan radiologi, dan dapat mengawal perizinan operasi hingga 2030.

KESIMPULAN

Pengiriman limbah radioaktif cair tingkat sedang dari reaktor RSG-GAS ke PTLR mengalami peningkatan, yaitu pada tahun 2015, 2019, dan awal tahun 2020 dengan paling banyak 43 kali pengiriman dan total 108,0 m³ per siklus operasi, hal ini disebabkan adanya kebocoran dari tabung berkas neutron S-5. Jenis radionuklida yang dominan terpantau dari limbah radioaktif cair tingkat sedang, yaitu Zn-65 90 Bq/l tahun 2019, dan Na-24 60 Bq/l tahun 2015, serta Co-60 18 Bq/l tahun 2019. Tindakan korektif untuk keselamatan dan pemenuhan perizinan operasi, telah dilakukan pemasangan klem dan penyediaan instalasi resirkulasi air pengisi Tabung berkas neutron.

PUSTAKA

- [1] Bapeten, Perka No. 4 tahun 2013 tentang proteksi dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Jakarta, 2013.
- [2] Bapeten, Perka No. 6 tahun 2015 tentang keamanan sumber radioaktif. Indonesia, 2015.
- [3] Bapeten, Perka No. 8 tahun 2016 tentang pengolahan limbah radioaktif tingkat rendah dan tingkat sedang. 2016.
- [4] A. Tarigan, P. Widodo, and P. Udiyani, "Penanganan limbah di RSG-GAS selama lima tahun pertama operasi," Pros. Tek Kes PLTN, vol. PPTKR, 1993.
- [5] Sudiyono and U. Hartoyo, "Evaluasi penanganan limbah di RSG-GAS," Bul. Pengelolaan Reakt. Nukl., vol. Vol III No, 2006.
- [6] J. Sukmana, R. Triharto, and P. Ramadania, "Pembelajaran Keselamatan terhadap Operasi Reaktor dari Kejadian Kebocoran pada Tabung Berkas Neutron di Reaktor RSG-GAS," Semin. Keselam. Nukl. - Bapeten, 2019.
- [7] U. Hartoyo, Y. Sumarno, and N. Luhur, "analisis limbah cair RSG-GAS," Bul. Pengelolaan Reakt. Nukl., vol. Vol III, N, 2006.
- [8] E. Sihombing, S. Pujiarta, and Y. Sumarno, "Rancangan modifikasi pemipaan sistem pembuangan limbah cair aktivitas sedang (KPK02)," Senpaten, Pendayagunaan Tek. Nukl., 2017.
- [9] PRSG-Batan, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS, Rev. 11. Bab XII Keselamatan Radiologi Operasional," 2018.
- [10] PRSG-Batan, "Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS, Teras 87 tahun 2015 s/d Teras 102 tahun 2020, No. Ident: RSG.OR.02.04.44.15-19," Jakarta, 2020.
- [11] PTLR-Batan, Kriteria keberterimaan limbah (waste acceptance criteria), limbah radioaktif cair. Dok. No: P-006/BN 04 03/TLR. Indonesia, 2017.
- [12] Bapeten, Perka No.7 tentang perubahan atas peraturan kepala Bapeten nomor 7 tahun 2013 tentang nilai batas radioaktivitas lingkungan. 2017.
- [13] Bapeten, Peraturan Kepala No. 7 tahun 2013 tentang nilai batas radioaktivitas lingkungan. 2013.
- [14] Bapeten, Perka No. 16 tahun 2012 tentang tingkat klierens. 2012.
- [15] P2STPIBN-BAPETEN, "Kajian teknis tentang keselamatan reaktor penelitian dalam rangka IRSRR-Bab III.1 Kebocoran Tabung Berkas Neutron S-5," Indonesia, 2013.

- [16] BAPETEN, “Kajian teknis tentang keselamatan reaktor penelitian dalam rangka IRSRR, Dampak terhadap operasi reaktor akibat kebocoran tabung berkas neutron S-5 di reaktor RSG-GAS. LHK:LT/STI/KN/P2STPIBN/ 002-004/2018,” Jakarta, 2018.
- [17] J. Sukmana, R. Triharto, and N. Kurniawan, “Laporan analisis keselamatan: Instalasi resirkulasi air pengisi tabung berkas neutron di reaktor RSG-GAS. No.: 001.004/RN 00 03/RSG 4.2,” Serpong, 2019.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



KAJIAN SUBSTANSI TEKNIS DALAM PENGEMBANGAN PERATURAN BAPETEN MENGENAI DESAIN INSTALASI NUKLIR TERHADAP ASPEK KEGEMPAAN

Catur Febriyanto S.^{1, a)}, Fery Putrawan Cusmanri^{2, b)}

¹Directorate of Nuclear Installations and Materials Regulation, Nuclear Energy Regulatory Agency (Bapeten),
Jl. Gajah Mada No. 8, Central Jakarta 10120, Indonesia.

²NPP Engineering Department, KEPCO International Nuclear Graduate School, Ulsan, South Korea.

^{a)}Corresponding author: c.febriyanto@bapeten.go.id

^{b)}feryputrawanc@gmail.com

Abstract. Dengan semakin banyaknya data hasil pemantauan tapak, terutama untuk aspek bahaya kegempaan, pemegang izin harus melakukan evaluasi bahaya kegempaan untuk memastikan bahwa struktur, sistem, dan komponen (SSK) yang penting untuk keselamatan masih mampu untuk tahan terhadap gempa dengan periode ulang 10.000 tahun. Pada tahun 2014, salah satu instalasi nuklir di Indonesia dilakukan *retrofitting* guna memperkuat struktur instalasi nuklir, karena adanya potensi patahan gempa. Namun, pada saat itu belum tersedia peraturan yang memuat kriteria-kriteria yang harus dipenuhi oleh pemegang izin dalam melakukan evaluasi keselamatan instalasi nuklir. Untuk menjawab kekosongan hukum terkait dengan kriteria-kriteria tersebut, pada tahun 2022 BAPETEN menyusun Peraturan BAPETEN terkait dengan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan. Adapun kajian yang dilakukan adalah menggunakan metode studi pustaka dari berbagai sumber pustaka. Hasil dari kajian tersebut diusulkan untuk menggabungkan dokumen publikasi IAEA, yaitu SSG-67 dan DS522, yang membahas topik yang sama, yaitu desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan. Di samping itu, diusulkan pula sistematika rancangan Peraturan BAPETEN beserta uraian-uraian yang perlu dijadikan norma pengaturan. Karena cakupan rancangan Peraturan BAPETEN ini untuk semua jenis instalasi nuklir, maka kriteria *seismic performance goal* perlu diadopsi. Usulan selanjutnya dari hasil kajian ini adalah kriteria-kriteria yang sudah diatur di Peraturan BAPETEN lainnya yang relevan perlu diacu, sehingga tumpang tindih pengaturan dapat dihindari.

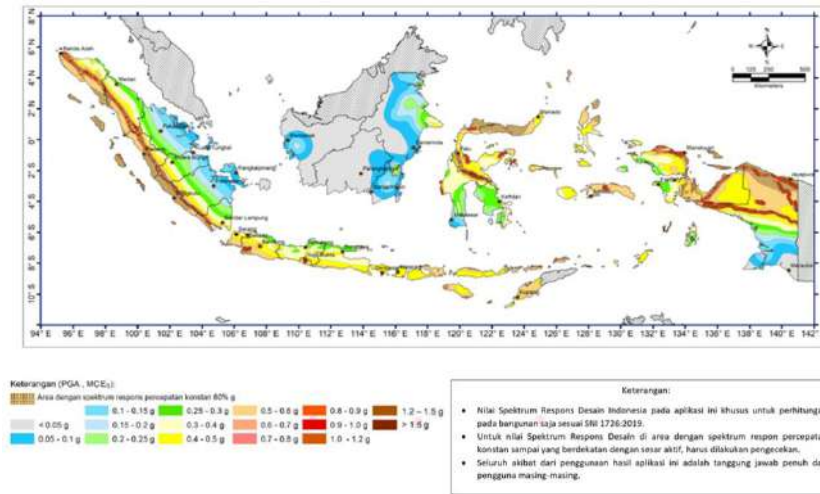
Kata kunci: kegempaan, evaluasi keselamatan, desain instalasi nuklir

PENDAHULUAN

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 5 Tahun 2020 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko dan PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, sebelum memperoleh izin tapak, pemohon harus melakukan evaluasi tapak untuk mengetahui karakteristik bahaya eksternal yang dapat memengaruhi keselamatan pengoperasian suatu instalasi nuklir. Dengan diterbitkannya izin tapak oleh BAPETEN, selaku badan pengawas, maka pemegang izin tapak dapat melanjutkan ke tahap konstruksi [1, 2]. Dari ketujuh aspek bahaya eksternal yang harus dilakukan dalam evaluasi tapak oleh pemohon, salah satunya adalah evaluasi bahaya terhadap aspek kegempaan. Mengingat kondisi geografis di Indonesia yang sangat rawan gempa, sebagaimana ditunjukkan di dalam Gambar 1 yang memetakan sebaran nilai percepatan tanah puncak di berbagai wilayah di Indonesia, maka aspek kegempaan menjadi sangat penting dalam pelaksanaan evaluasi tapak dan sekaligus menjadi salah satu dasar dalam penentuan desain instalasi nuklir. Gempa dapat menimbulkan beberapa fenomena langsung maupun tak-langsung, seperti gerakan tanah dari bahaya geoteknik dan geologi terkait, deformasi tanah permanen, dan kejadian ikutannya (seperti, banjir dan kebakaran).

Bahaya eksternal aspek kegempaan ini harus dipertimbangkan dalam desain instalasi nuklir, khususnya SSK yang penting untuk keselamatan dari instalasi nuklir tersebut. Pemegang izin bertanggung jawab atas terwujudnya tujuan keselamatan yang dilakukan melalui upaya pertahanan efektif terhadap bahaya radiasi yang ditimbulkan dengan menerapkan prinsip pertahanan berlapis untuk memenuhi fungsi keselamatan dasar instalasi nuklir [3]. Adapun fungsi keselamatan dasar instalasi nuklir ini mencakup pengendalian reaktivitas, pemindahan

panas dan pengungkungan zat radioaktif. Oleh karena itu, guna mengungkung lepasan zat radioaktif ke lingkungan, SSK yang penting untuk keselamatan harus didesain sesuai dengan parameter dasar desain yang diperoleh dari evaluasi tapak agar mampu tahan terhadap gempa dengan skala keparahan tertentu.



GAMBAR 1. Sebaran nilai percepatan tanah puncak di berbagai wilayah di Indonesia [4].

Di lain pihak, evaluasi ketahanan gempa pada instalasi nuklir yang telah terbangun juga diperlukan untuk memastikan instalasi nuklir dapat terus beroperasi dalam kondisi yang selamat. Perubahan iklim, pemutakhiran data, dan juga pertimbangan penuaan yang terjadi pada instalasi nuklir dapat mempengaruhi integritas SSK pada suatu instalasi nuklir, sehingga evaluasi berkala harus dilakukan terhadap ketahanan gempa pada instalasi nuklir yang telah terbangun.

Pada tahun 2014, Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) – BATAN, Bandung melakukan *retrofitting* yang salah satunya pelaksanaannya adalah berupa penguatan struktur gedung reaktor TRIGA 2000. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi bahaya gempa akibat patahan Lembang. Karena seiring berjalannya waktu, data-data yang diperoleh dari pemantauan tapak selama pengoperasian reaktor TRIGA 2000 tersebut semakin banyak, maka selama itu pula dilakukan evaluasi bahaya gempa sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat. Adapun evaluasi bahaya gempa selama pemantauan tapak telah dilakukan pada tahun 2000 [5]. Pelaksanaan *retrofitting* tersebut sejalan dengan ketentuan Pasal 6 Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, yaitu kewajiban dilakukannya solusi rekayasa apabila dari hasil pemantauan tapak pada tahap konstruksi, komisioning, atau operasi ditemukan bahaya yang signifikan terhadap keselamatan instalasi nuklir. Adapun solusi rekayasa dapat berupa perubahan desain atau modifikasi yang salah satunya adalah penguatan struktur, dan pemisahan fondasi antara gedung reaktor dengan gedung administrasi. Tujuan kajian ini adalah mengidentifikasi kriteria-kriteria dari dokumen-dokumen rekomendasi IAEA yang sesuai sebagai norma pengaturan. Adapun batasan dari kajian ini fokus pada tahapan yang dilakukan dalam melakukan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan pada tahap awal desain, serta evaluasi keselamatan instalasi nuklir terhadap bahaya gempa pada tahap akhir desain dan tahap operasi.

METODOLOGI

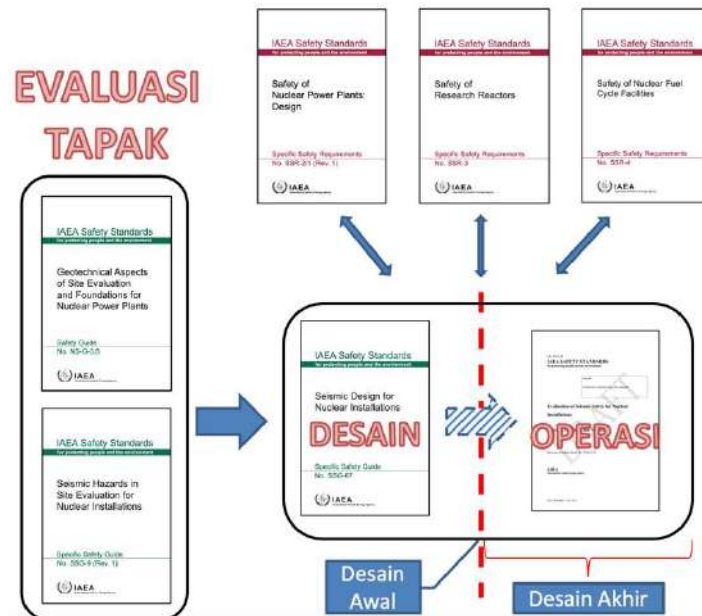
Metode kajian yang digunakan dalam rangka pengembangan Peraturan BAPETEN ini adalah studi pustaka dengan mengacu pada dokumen terbitan IAEA yang berupa usulan-usulan teknis dengan tahapan kegiatan meliputi pengumpulan dan penelaahan literatur, analisis, diskusi dan kesimpulan.

POKOK BAHASAN

Dokumen yang Diterbitkan IAEA

Saat ini IAEA telah menerbitkan beberapa dokumen-dokumen rekomendasi terkait dengan bahaya aspek kegempaan, dari evaluasi tapak, desain gempa untuk instalasi baru hingga evaluasi keselamatan gempa untuk instalasi yang sudah ada. Tentunya masing-masing dokumen tersebut saling terkait satu dengan yang lainnya. Keterkaitan dokumen-dokumen tersebut dijelaskan di dalam Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat diuraikan bahwa instalasi nuklir harus didesain dengan mempertimbangkan bahaya eksternal yang sudah diidentifikasi dan efek dari bahaya eksternal tersebut harus dievaluasi. Dengan dipertimbangkannya bahaya eksternal tersebut, maka SSK yang penting untuk keselamatan harus didesain tahan terhadap efek bahaya tersebut, atau dilindungi terhadap bahaya dan terhadap mekanisme kegagalan penyebab sama yang ditimbulkan oleh bahaya eksternal tersebut [6, 7, 8]. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa terdapat evaluasi keselamatan desain instalasi nuklir terhadap aspek gempa dilakukan pada desain awal dan desain akhir. Evaluasi pada desain awal dimaksudkan

untuk melakukan eliminasi kerentanan gempa yang sudah diidentifikasi sebelumnya, memeriksa efektivitas ketentuan pertahanan berlapis, menentukan konsistensi target kinerja dengan tujuan keselamatan gempa, dan mengoptimalkan kekokohan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan. Setelah instalasi terbangun sesuai dengan desain akhir dan akan dioperasikan, evaluasi keselamatan gempa tetap dilakukan selama izin operasi, dan desain harus diperbaharui untuk merefleksikan kondisi terbangun dan *as-operated*, pada desain akhir yang berkorelasi dengan terpenuhinya persyaratan ketentuan selama proses perizinan [9].



GAMBAR 2. Keterkaitan antar dokumen IAEA.

Desain instalasi nuklir harus berdasarkan bahaya gempa yang ditentukan selama evaluasi tapak, seperti aspek kegempaan dan aspek geoteknik. Adapun hasil evaluasi tapak untuk kedua aspek tersebut adalah sebagai berikut [10]:

1. bahaya gempa
Kajian bahaya gempa harus ditentukan dari karakteristik tapak khusus dalam penentuan parameter gerakan tanah (seperti, *spectral representation* dan sejarah waktu pada arah vertikal dan horisontal) pada permukaan tanah medan bebas, pada singkapan batuan keras atau pada kedalaman tertentu di profil tanah [11].
2. karakteristik geologi, geofisik, dan geoteknik yang rinci pada tapak
Sifat dinamis dan statis tapak khusus dari parameter tanah harus ditentukan dari investigasi geologi, geofisik dan geoteknis dan pengujian laboratorium dan studi teknis yang dilakukan selama proses karakteristik tapak, dengan mempertimbangkan tata letak akhir bangunan dan struktur, dan lokasi akhir di dalam tapak [12].

Desain instalasi nuklir di samping harus mempertimbangkan gempa dasar desain, juga harus mempertimbangkan gempa di luar dasar desain. Adapun metode yang diterapkan untuk menentukan gempa di luar dasar desain dan beban terkaitnya adalah sebagai berikut [10]:

- a. dikalikan faktor yang telah ditetapkan dengan *seismic level-2*;
- b. ditentukan berdasarkan hasil kajian bahaya gempa probablistik; atau
- c. ditentukan berdasarkan keparahan bahaya gempa maksimum.

Setelah ditentukan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan, tahap berikutnya adalah penentuan kategori gempa yang merupakan proses penentuan SSK berdasarkan kinerjanya selama dan setelah gempa. Adapun pembagian kategori gempa adalah sebagai berikut [10]:

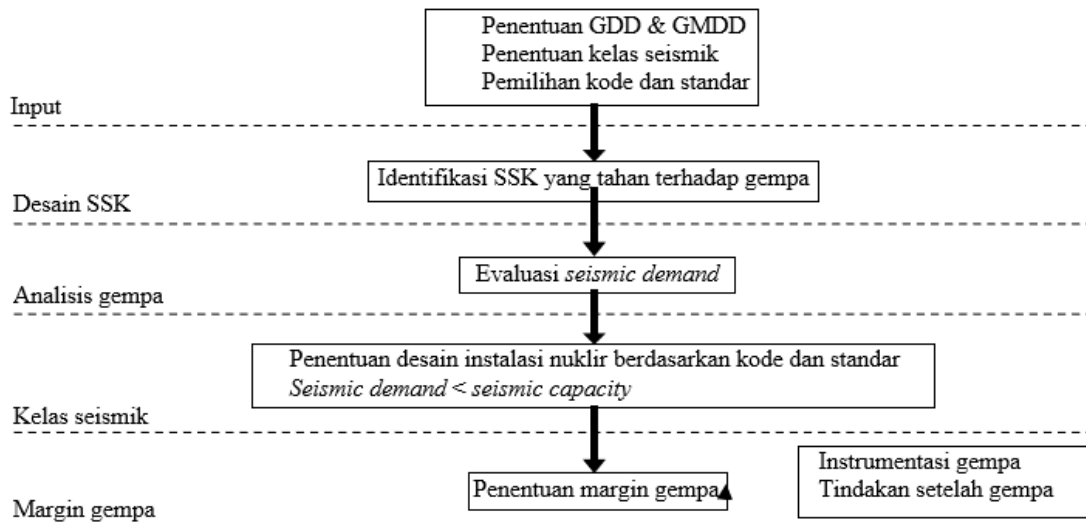
- kategori gempa 1, mencakup SSK yang harus tetap berfungsi selama dan/atau setelah gempa dasar desain *seismic level-2*. SSK yang dicakup di dalam kategori gempa 1 ini harus mempertimbangkan margin gempa untuk menghindari efek *cliff edge*;
- kategori gempa 2, mencakup SSK yang apabila gagal dapat memengaruhi fungsi keselamatan yang dilakukan oleh SSK kategori gempa 1; dan
- kategori gempa 3, mencakup SSK yang tidak dicakup di dalam kategori gempa 1 atau kategori gempa 2.

Tahap berikutnya adalah penentuan analisis gempa terhadap struktur. Adapun tujuan dari analisis gempa adalah, pertama, memberikan parameter-parameter respons struktur yang diperlukan untuk memverifikasi kapasitas desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan atau untuk mengkaji margin gempa yang sesuai dengan gempa di luar dasar desain. Kedua, analisis gempa memberikan informasi terkait *seismic demand* untuk kualifikasi gempa SSK yang ditempatkan pada gedung dan struktur sipil. Adapun beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam melakukan analisis gempa adalah, analisis respons tapak, respons struktur, interaksi

dinamis tanah-struktur, dan kombinasi beban gempa dengan beban lainnya. Untuk memastikan SSK melakukan fungsi keselamatan selama dan/atau sesudah gempa, maka perlu dilakukan kualifikasi gempa terhadap SSK yang memiliki kategori gempa 1 dan kategori gempa 2. Kualifikasi gempa dilakukan untuk SSK tersebut dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, seperti analisis, pengujian, kombinasi analisis dengan pengujian, dan metode tak-langsung.

Sebagaimana telah disinggung sebelumnya, bahwa desain instalasi nuklir harus mempertimbangkan kapasitas margin gempa dalam desain yang merupakan kemampuan instalasi nuklir untuk mencapai kinerja tertentu pada beban gempa yang melebihi bahaya gempa tapak khusus. Untuk PLTN dan reaktor penelitian, kedua kapasitas margin gempa dinyatakan sebagai kapasitas *high confidence of low probability of failure (HCLPF)* yang berkesesuaian dengan *seismic performance goal* (seperti, frekuensi kerusakan teras) dan *containment seismic performance goal* (seperti, frekuensi lepasan awal yang besar). Sedangkan untuk instalasi nuklir nonreaktor (INNR), kapasitas margin gempa berkesesuaian dengan risiko terkait dengan kondisi kecelakaan pada instalasi [10].

Hasil dari desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan dapat digunakan sebagai penentuan instrumentasi gempa yang akan digunakan pada instalasi nuklir, sebagai contoh untuk pemadaman reaktor nuklir secara otomatis apabila percepatan tanah puncak sama atau melebihi nilai yang sudah ditentukan dari hasil evaluasi tapak. Di samping itu juga, hasil tersebut dapat digunakan sebagai penentuan tindakan setelah gempa, sebagai contoh hal apa saja yang harus dilakukan sebelum mengoperasikan kembali instalasi nuklir setelah kejadian gempa. Adapun alur tahapan dalam desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan diuraikan di dalam Gambar 3.



GAMBAR 3. Diagram alir tahapan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan.

Sebagaimana cakupan di dalam dokumen SSG-67 yang berlaku untuk instalasi nuklir secara keseluruhan, maka diperlukan suatu pendekatan bertingkat agar kriteria-kriteria keberterimaan disesuaikan dengan tingkat risiko yang dimiliki oleh instalasi nuklir masing-masing. Di dalam dokumen ini, instalasi nuklir dikategorikan sesuai dengan *performance goal* dan risiko terkait dengan gagalnya SSK yang penting untuk keselamatan. Tabel 1 menguraikan SSK yang harus didesain dan dikualifikasikan secara seismik sesuai dengan kategori desain seismik dan target *seismic performance goal* [10].

Tabel 1. Hubungan antara kategori desain seismik, tingkat bahaya gempa dan kode desain untuk mencapai target *performance goal*.

Kategori desain seismik	Kode dan standar desain	Tingkat bahaya gempa	Target seismic performance goal
Kategori desain seismik 1: instalasi nuklir dengan bahaya tinggi	Nuklir	<i>Seismic level-2/10⁻⁴</i>	$< 10^{-5}$
Kategori desain seismik 2: instalasi nuklir dengan bahaya sedang	Nuklir	<i>Seismic level-2/10⁻³</i>	$< 10^{-4}$
Kategori desain seismik 3: instalasi nuklir dengan bahaya rendah	Konvensional	1,5 x kode gempa nasional	$< 5 \times 10^{-4}$
Kategori desain seismik 4: instalasi konvensional	Konvensional	Kode gempa nasional	$< 1 \times 10^{-3}$

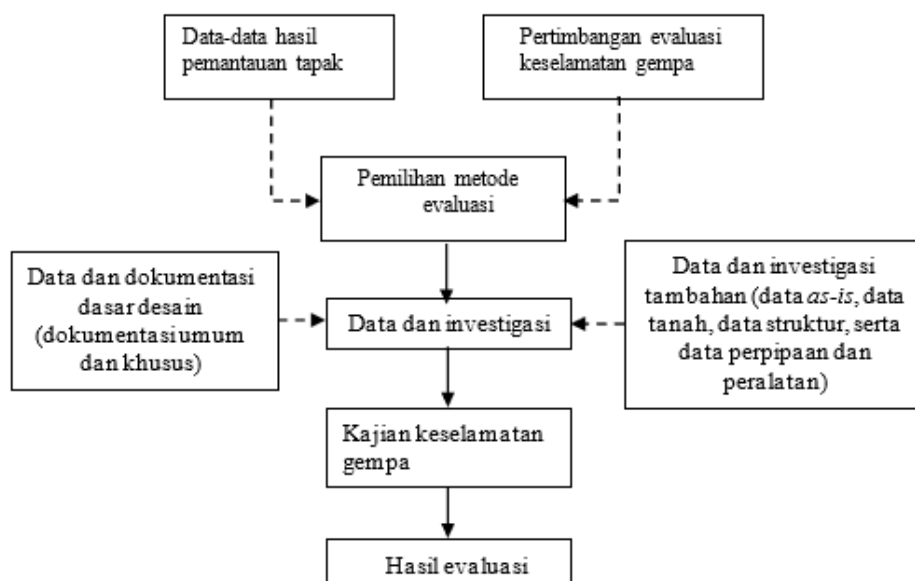
Uraian di atas berlaku untuk instalasi nuklir pada saat tahap awal desain, yang disebut sebagai kualifikasi dan desain gempa. Sedangkan untuk instalasi nuklir yang sedang beroperasi harus tetap dilakukan evaluasi guna memastikan SSK yang sudah didesain masih mampu tahan terhadap kejadian eksternal terkini. Adapun perbedaan utamanya adalah kriteria evaluasi. Kualifikasi dan desain gempa dipahami sebagai penentuan beban dan kapasitas SSK agar memenuhi batas yang diberikan dalam kode desain. Sedangkan evaluasi keselamatan gempa pada instalasi yang sudah ada digunakan untuk mengetahui kapasitas aktual SSK dan untuk mengevaluasi *seismic capacity* instalasi secara keseluruhan [9].

Dalam studi pustaka ini digunakan acuan dokumen DS522, yang merupakan draf revisi dokumen NS-G-2.13. Dokumen DS522 digunakan karena rekomendasi-rekomendasi dalam dokumen tersebut sedang disesuaikan dengan persyaratan-persyaratan yang ada di dalam dokumen IAEA terbaru, seperti GSR Part 4 (Rev. 1), SSR-1, SSR-2/1 (Rev. 1), SSR-2/2 (Rev. 1), SSR-3, dan SSR-4.

Adapun alasan dilakukannya evaluasi keselamatan gempa pada instalasi nuklir baru yang telah selesai didesain adalah untuk memastikan bahwa desain akhir instalasi nuklir memiliki margin yang mencukupi pada SSK yang penting untuk keselamatan. Dengan memiliki margin yang mencukupi tersebut diharapkan dapat mencegah lepasan radioaktif ke lingkungan pada saat gempa dengan skala keparahan melebihi skala keparahan gempa yang telah dipertimbangkan dalam desain awal. Sedangkan untuk instalasi nuklir yang sedang beroperasi, evaluasi keselamatan gempa bertujuan untuk [9]:

- menentukan tidak adanya *cliff edge effects*;
- mengidentifikasi kelemahan instalasi dan operasinya terhadap kejadian gempa;
- menentukan *seismic capacity* dan/atau peringkat risikonya;
- memberikan input untuk pengambilan keputusan berdasarkan informasi risiko yang terintegrasi;
- mengidentifikasi dan memprioritaskan kemungkinan perbaikan; dan/atau
- memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh badan pengawas.

Tahap pertama dalam melakukan evaluasi keselamatan gempa adalah pemilihan metode yang akan digunakan. Pemilihan metode ini harus dapat memenuhi persyaratan dari badan pengawas, dengan mempertimbangkan ketersediaan dan kualitas sumber data, serta jadwal dan biaya evaluasi keselamatan gempa. Adapun metode yang umum digunakan dalam evaluasi keselamatan gempa adalah kajian margin keselamatan, kajian margin keselamatan berdasarkan kajian keselamatan probabilistik, dan kajian keselamatan probabilistik gempa. Setelah metode ditentukan, tahapan berikutnya adalah pengumpulan data dan dokumentasi dasar desain dari berbagai sumber yang tersedia. Meskipun setelah evaluasi tapak tetap dilakukan pemantauan tapak terhadap aspek bahaya eksternal, maka tetap dirasa perlu untuk mempertimbangkan kedalaman data dan informasi yang akan digunakan dalam evaluasi tersebut. Sedangkan untuk instalasi nuklir yang sedang beroperasi, perlu dikumpulkan data apa adanya (*as-is data*) yang mempertimbangkan efek penuaan dan modifikasi selama pengoperasian instalasi nuklir. Kemudian, tahap berikutnya adalah kajian keselamatan gempa berdasarkan metode yang sudah ditetapkan, serta data dan dokumentasi yang sudah dikumpulkan. Tahapan ini mempertimbangkan hubungan kajian bahaya gempa dengan kemampuan gempa yang dibutuhkan untuk pertahanan berlapis tingkat 4. Dipertimbangkannya bertahanan berlapis tingkat 4 ini adalah untuk memastikan bahwa tindakan-tindakan yang dilakukan dapat mengendalikan keparahan kondisi instalasi, termasuk pencegahan kecelakaan dan mitigasi konsekuensi kecelakaan parah, seperti tindakan tambahan dan manajemen kecelakaan [13]. Tahapan terakhir adalah penggunaan hasil evaluasi keselamatan gempa, yang salah satunya modifikasi SSK, seperti *retrofitting*. Adapun alur tahapan evaluasi keselamatan gempa diuraikan di dalam Gambar 4 berikut]



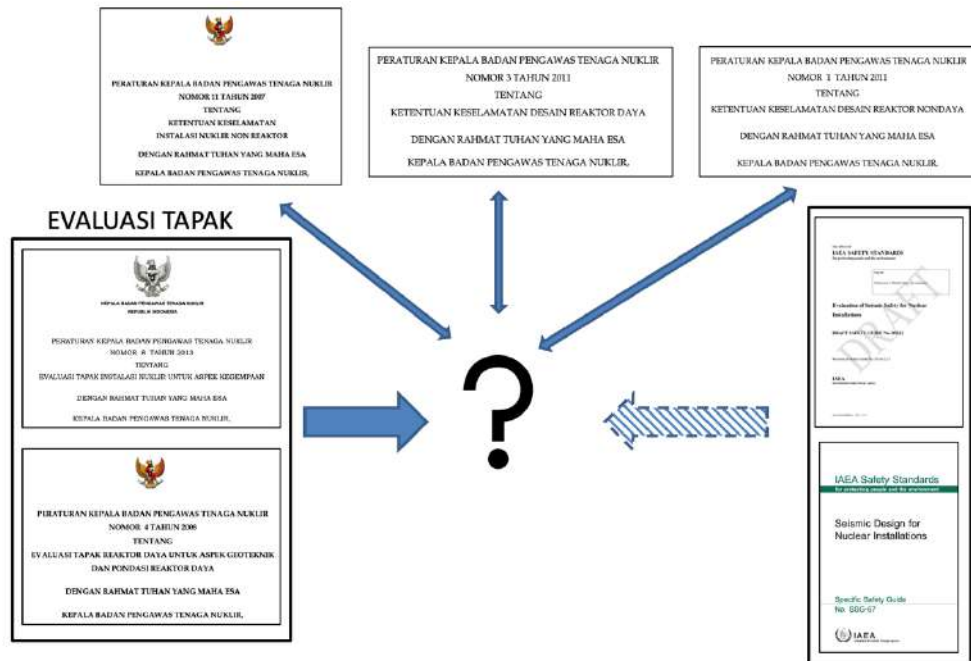
GAMBAR 4. Diagram alir evaluasi keselamatan gempa.

PERATURAN YANG TELAH TERBIT

Sebagai badan pengawas, BAPETEN hingga saat ini telah menerbitkan beberapa peraturan yang digunakan sebagai instrumen hukum dalam pengawasan ketenaganukliran. Dalam kaitannya dengan instalasi nuklir, khususnya reaktor nuklir yang digunakan sebagai pembangkit listrik, beberapa peraturan yang sudah diterbitkan sebagaimana diuraikan sebagai berikut:

- a. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Geoteknik dan Pondasi Reaktor Daya;
- b. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2009 tentang Batasan dan Kondisi Operasi dan Prosedur Operasi Reaktor Daya;
- c. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2010 tentang Desain Sistem Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir untuk Reaktor Daya;
- d. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya;
- e. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2011 tentang Desain Sistem Catu Daya Darurat untuk Reaktor Daya;
- f. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2012 tentang Ketentuan Desain Sistem Proteksi terhadap Kebakaran dan Ledakan Internal pada Reaktor Daya;
- g. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2012 tentang Desain Proteksi terhadap Bahaya Internal selain Kebakaran dan Ledakan pada Reaktor Daya;
- h. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2012 tentang Desain Sistem yang Penting untuk Keselamatan Berbasis Komputer pada Reaktor Daya;
- i. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan;
- j. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2014 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi;
- k. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2015 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegunungpian; dan
- l. Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir;
- m. Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2019 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Dispersi Zat Radioaktif di Udara dan Air;
- n. Peraturan BAPETEN Nomor 6 Tahun 2019 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia;
- o. Peraturan BAPETEN Nomor 1 Tahun 2020 tentang Aspek Radiasi dalam Desain Reaktor Daya;
- p. Peraturan BAPETEN Nomor 11 Tahun 2020 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Daya; dan
- q. Peraturan BAPETEN Nomor 12 Tahun 2020 tentang Klasifikasi, Struktur, Sistem, dan Komponen Instalasi Nuklir.

Dari uraian di atas dapat diamati bahwa hingga saat ini belum tersedianya Peraturan BAPETEN yang mengatur terkait dengan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan pada saat awal mendesain instalasi nuklir maupun terkait dengan evaluasi keselamatan gempa instalasi nuklir pada saat proses perizinan. Pembentukan Peraturan BAPETEN tersebut dirasa perlu guna memberikan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi oleh pemohon izin maupun pemegang izin. Gambar 5 memaparkan hubungan antar peraturan-peraturan yang terkait dan acuan-acuan yang digunakan dalam pembentukan Peraturan BAPETEN terkait dengan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan yang akan disusun.



GAMBAR 5. Keterkaitan antar peraturan-peraturan terkait dan acuan-acuan yang digunakan.

Identik dengan Gambar 2, Gambar 5 menunjukkan bahwa peraturan-peraturan baik dari keselamatan instalasi nuklir, baik untuk reaktor daya, reaktor nondaya dan instalasi nuklir nonreaktor, telah tersedia secara lengkap. Di samping itu, peraturan-peraturan terkait dengan evaluasi tapak, yaitu aspek kegempaan serta aspek geoteknik dan pondasi reaktor daya sudah juga tersedia. Dengan tersedianya peraturan-peraturan tersebut, diharapkan ketentuan-ketentuan di dalam Peraturan BAPETEN terkait dengan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan yang sedang disusun dapat mengacu ke peraturan-peraturan yang sudah ada, sehingga ketentuan-ketentuan yang tumpang tindih antar peraturan dapat dihindari. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan untuk menyederhanakan ketentuan-ketentuan peraturan melalui penggabungan kedua dokumen IAEA yang membahas topik yang sama, yaitu *seismic design for nuclear installations* (SSG-67) dan draf *Evaluation of Seismic Safety for Nuclear Installations* (DS522). Diusulkannya penggabungan tersebut karena pertimbangan untuk menghasilkan Peraturan Kepala Badan yang berkualitas, harmonis, dan tidak menghambat kegiatan dunia usaha sebagaimana diuraikan di Peraturan Presiden Nomor 68 Tahun 2021 tentang Pemberian Persetujuan Presiden terhadap Rancangan Peraturan Menteri/Kepala Lembaga.

Adapun sistematika yang diusulkan dalam pembentukan Peraturan BAPETEN tersebut sebagaimana diuraikan di dalam Tabel 2 berikut ini. Uraian-uraian dari sistematika tersebut diambil dari uraian-uraian di dalam paragraf yang relevan untuk dijadikan norma pengaturan. Sedangkan uraian-uraian di dalam paragraf yang berupa penjelasan teori tidak dipertimbangkan sebagai norma pengaturan.

Tabel 2. Sistematika dan uraian ketentuan yang diusulkan

Sistematika	Keterangan
BAB I KETENTUAN UMUM	Bagian ini berisi uraian terkait dengan definisi-definisi yang digunakan di dalam pengaturan. Di samping itu, berisi juga tujuan, keberlakuan dan cakupan peraturan. Sebagaimana telah diusulkan di atas bahwa rancangan peraturan ini nantinya menggabungkan dua dokumen IAEA, sehingga cakupan peraturan ini terdiri dari desain instalasi nuklir terhadap aspek kegunaan pada tahap awal desain, serta evaluasi keselamatan instalasi nuklir terhadap bahaya gempa pada tahap akhir desain dan tahap operasi.
BAB II DESAIN PADA TAHAP AWAL DESAIN (Acuan SSG-67)	<p>Bagian ini berisi norma pengaturan terkait dengan:</p> <p>a. Pengumpulan Input Bagian ini berisi uraian input yang harus dikumpulkan dan diperoleh dari hasil evaluasi tapak dengan mengacu pada Peraturan BAPETEN terkait dengan evaluasi tapak aspek kegunaan. Bagian ini juga menguraikan penentuan gempa dasar desain yang dilakukan melalui analisis respons tapak dan evaluasi bahaya gerakan tanah. Di samping penentuan gempa dasar desain, gempa yang melampaui dasar desain juga harus ditentukan dengan mempertimbangkan margin gempa dan <i>cliff edge effect</i>. Sebagai tambahan, ditentukan pula SSK berdasarkan kelas keselamatan dan kelas seismik dengan mengacu pada Peraturan BAPETEN Nomor 12 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen Instalasi Nuklir. Pada bagian ini, harus ditentukan pula kode dan standar yang akan digunakan.</p> <p>b. Penentuan Desain untuk SSK Bagian ini menguraikan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - tata letak instalasi; - struktur sipil dan gedung; - struktur tanah dan struktur yang tertanam dalam tanah; - struktur yang terisolasi secara seismik; - peralatan mekanis; - tangki penyimpanan; - perpipaan; - peralatan listrik, instrumentasi dan kendali; - <i>tray</i> dan pipa kabel; - saluran VAC; dan - kapasitas seismik. <p>c. Analisis Gempa Bagian ini menguraikan tujuan dilakukan analisis gempa untuk memberikan parameter-parameter respons struktur dalam penentuan <i>seismic design capacity</i> atau margin gempa, serta memberikan informasi <i>seismic demand</i> untuk kelas seismik SSK, yang dilakukan melalui:</p> <ul style="list-style-type: none"> - analisis respons tapak; - respons struktur; - interaksi dinamis tanah-struktur; dan - kombinasi beban gempa dengan beban lainnya. <p>Di dalam dokumen SSG-67 disinggung massa salju yang dipertimbangkan pada saat melakukan analisis gempa terhadap kombinasi beban gempa dengan beban lainnya. Namun, secara letak geografi Indonesia yang berada di khatulistiwa, tentunya hal tersebut kurang relevan. Oleh karena itu, sesuai dengan ketentuan di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2015 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegunungapian bahwa perlu diperhitungkan pula beban statis akibat bahaya akumulasi massa abu <i>tephra</i> pada struktur.</p> <p>d. Penentuan Kelas Seismik Ketentuan di dalam bagian ini dapat mengacu ke Peraturan BAPETEN Nomor 12 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen Instalasi Nuklir.</p> <p>e. Penentuan Margin Gempa Beberapa hal yang harus dipertimbangkan di dalam penentuan kapasitas margin gempa adalah kemampuan instalasi nuklir untuk mencapai kinerja tertentu terhadap beban gempa yang melebihi bahaya gempa spesifik tapak, dengan kata lain frekuensi kerusakan teras akibat gempa lebih besar dari target kinerja. Untuk gempa dengan periode ulang 10.000 tahun, margin gempa dinyatakan dalam kapasitas <i>high confidence of low probability of failure</i></p>

(kapasitas *HCLPF*), sedangkan *seismic performance goal* mencakup frekuensi kerusakan teras, frekuensi lepasan besar atau frekuensi lepasan awal besar.

Untuk reaktor nuklir, baik untuk pembangkit listrik maupun untuk penelitian, kapasitas *HCLPF* dan *seismic performance goal* harus dikaji. Sedangkan untuk instalasi nuklir nonreaktor, kapasitas *HCLPF* dan *seismic performance goal* sepadan dengan risiko yang terkait dengan kondisi kecelakaan di instalasi.

Dalam dokumen SSG-67 ini, kriteria yang direkomendasikan, terutama untuk reaktor nuklir, adalah:

- untuk mencegah kerusakan teras, margin gempa minimum sesuai dengan *seismic performance goal* (frekuensi kerusakan teras kurang dari 10^{-5}); dan
- untuk lepasan awal atau besar, margin gempa minimum sesuai dengan *containment seismic performance goal* (frekuensi lepasan awal besar kurang dari 10^{-6}).

f. Instrumentasi Gempa dan Tindakan Pasca-Gempa

Bagian ini menguraikan ketentuan perlunya menyediakan instrumentasi gempa dan beberapa tindakan yang perlu dilakukan setelah kejadian gempa.

Kriteria untuk instrumentasi gempa adalah:

- klasifikasi keselamatan sesuai dengan ketentuan di dalam Peraturan BAPETEN Nomor 12 Tahun 2020 tentang Klasifikasi Struktur, Sistem, dan Komponen Instalasi Nuklir, terutama untuk sistem *scram* gempa otomatis;
- jumlah minimum instrumentasi gempa yang terpasang;
- instrumentasi gempa pada tapak untuk gempa dengan periode ulang 10.000 tahun percepatan medan bebas sama dengan atau lebih besar dari 0,2 g;
- penyediaan parameter kerusakan berdasarkan integrasi rekaman percepatan; dan
- kemudahan dalam membandingkan spektra respons gempa aktual dengan spektra respons dasar desain.

Tindakan setelah kejadian gempa yang direncanakan perlu dipertimbangkan sebagai bagian dari respons operasi terhadap kejadian eksternal. Tindakan setelah kejadian gempa yang direncanakan mencakup perencanaan sebelum kejadian gempa, serta tindakan jangka pendek dan panjang yang dilakukan setelah kejadian gempa.

BAB III
EVALUASI
KESELAMATAN
INSTALASI NUKLIR
TERHADAP BAHAYA
GEMPA PADA TAHAP
AKHIR DESAIN DAN
TAHAP OPERASI
(Acuan DS522)

Bagian ini berisi norma pengaturan terkait dengan:

a. Pemilihan Metodologi Kajian Keselamatan Gempa

Bagian ini menguraikan metode yang digunakan dalam melakukan evaluasi keselamatan gempa, yang mencakup pendekatan deterministik dan probabilistik. Pemilihan metodologi yang akan digunakan merupakan hal penting dengan mempertimbangkan konsekuensinya. Adapun pertimbangan pemilihan metodologi tersebut adalah dapat memenuhi tujuan evaluasi keselamatan gempa, persyaratan yang telah ditetapkan, dan persyaratan desain.

b. Pengumpulan Data dan Investigasi untuk Evaluasi Keselamatan Gempa

Bagian ini menguraikan data dan dokumentasi dasar desain yang diperoleh dari berbagai sumber. Tentunya pengumpulan data dan dokumentasi untuk instalasi nuklir baru jauh lebih mudah dibanding dengan instalasi nuklir yang sudah ada. Hal ini karena, data dan informasi untuk instalasi nuklir yang sudah ada yang dikumpulkan harus lebih komprehensif dari awal pada saat tahap desain hingga waktu yang ditentukan telah memperoleh data dan informasi yang mencukupi.

Sesuai dengan ketentuan di dalam Pasal 5 Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir bahwa pemegang izin wajib melakukan pemantauan tapak instalasi nuklir pada tahap konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning. Guna memberikan hasil yang optimal, maka diperlukan pula data dan informasi terkini terhadap SSK.

c. Kajian Keselamatan Gempa

Sebagaimana telah diuraikan di tahap pemilihan metodologi kajian keselamatan gempa, pendekatan probabilistik digunakan guna mengembangkan gempa tingkat acuan untuk *Seismic Probabilistik Safety Assessment (SPSA)*. Sedangkan pendekatan deterministik digunakan guna mengembangkan gempa tingkat acuan untuk *seismic margin assessment*

(SMA) dan kombinasi SMA-SPSA.

Gempa tingkat acuan dibutuhkan untuk menilai konsistensi terhadap beberapa kriteria, serta kesesuaian dengan tujuan kajian keselamatan dan informasi kajian bahaya. Dalam melakukan karakterisasi parameter gempa tingkat acuan untuk bahaya yang diakibatkan secara seismik lainnya, penapisan untuk setiap bahaya dan fenomena yang masuk akal digunakan untuk bahaya yang bukan dari gerakan tanah dan fenomena yang terjadi secara bersamaan. Adapun tahapan yang dilakukan di dalam penentuan cakupan kajian keselamatan gempa instalasi nuklir sebagaimana dijelaskan di dalam Gambar 6.

Dalam tahapan ini juga dilakukan kajian terhadap pertahanan berlapis ke-4 yang ditujukan untuk memitigasi kecelakaan terparah dan pencegahan lepasan besar. Daftar SSK yang sudah dipilih akan dievaluasi kecukupan marginnya guna memastikan SSK tersebut melakukan fungsi mitigasi terkait dengan kondisi ekstensi desain. Untuk pencegahan lepasan awal dan/atau besar, margin gempa minimum sesuai dengan *containment seismic performance goal* yang sudah ditentukan.

d. Hasil Evaluasi Keselamatan Gempa

Bagian ini menguraikan beberapa implementasi terhadap hasil dari evaluasi keselamatan gempa, yang berupa:

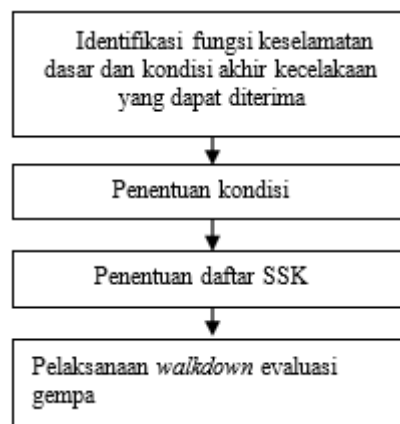
- tindakan setelah kejadian gempa;
- keputusan berdasarkan informasi risiko;
- desain modifikasi untuk instalasi nuklir yang sedang beroperasi; dan
- perubahan prosedur.

BAB IV KETENTUAN PERALIHAN

Bagian ini memuat ketentuan bagi pemegang izin yang sedang melakukan evaluasi keselamatan instalasi nuklir terhadap bahaya gempa dengan menggunakan pedoman lain untuk dikecualikan dari ketentuan Peraturan BAPETEN ini setelah diundangkan.

BAB V KETENTUAN PENUTUP

Bagian ini memuat ketentuan keberlakuan Peraturan BAPETEN yang dimulai pada tanggal saat diundangkan.



BAR 6. Tahapan dalam penentuan cakupan kajian keselamatan gempa.

KESIMPULAN

Dari uraian di atas, penyusunan rancangan Peraturan BAPETEN terkait dengan desain instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan perlu mempertimbangkan untuk menggabungkan kriteria-kriteria dari acuan dokumen IAEA, yaitu *seismic design for nuclear installations* (SSG-67) dan draf *Evaluation of Seismic Safety for Nuclear Installations* (DS522). Hal ini karena, hampir semua kriteria-kriteria di kedua acuan tersebut saling mengacu. Hal ini karena, kriteria-kriteria di kedua dokumen IAEA tersebut saling melengkapi satu sama lainnya. Penggabungan tersebut juga bertujuan untuk menyederhanakan peraturan, sehingga dihasilkan peraturan yang tidak tumpang tindih dan sesuai dengan topik yang diatur. Hasil kajian ini mengusulkan sistematika rancangan Peraturan BAPETEN beserta uraian-uraian secara garis besar yang perlu dijadikan norma pengaturan. Sedangkan uraian-uraian di dalam kedua dokumen IAEA tersebut yang berupa penjelasan teori tidak dipertimbangkan sebagai norma pengaturan.

Karena substansi rancangan Peraturan BAPETEN ini berlaku untuk semua jenis instalasi nuklir, maka dalam kajian ini diusulkan pula untuk mengakomodir kriteria *seismic performance goal* yang nantinya digunakan sebagai kriteria pendekatan bertingkat yang berlaku untuk jenis instalasi nuklir tertentu. Apabila dicermati lebih jauh, beberapa kriteria-kriteria juga telah dipersyaratkan di Peraturan BAPETEN lainnya yang terkait dan

relevan, sehingga nantinya dalam rancangan Peraturan BAPETEN ini dapat mengacu ke ketentuan-ketentuan Peraturan BAPETEN lainnya yang sudah diundangkan.

REFERENCES

- [1] Government Regulation of the Republic of Indonesia No. 5, Implementation of Risk-Based Business Licensing (Ministry of the State Secretariat of the Republic of Indonesia, Jakarta, 2021) available at https://jdih.setkab.go.id/PUUdoc/176386/PP_Nomor_5_Tahun_2021.pdf.
- [2] Government Regulation of the Republic of Indonesia No. 2, Licensing for Nuclear Installations and the Use of Nuclear Materials (Ministry of the State Secretariat of the Republic of Indonesia, Jakarta, 2014) available at <https://jdih.bapeten.go.id/unggah/dokumen/peraturan/276-full.pdf>.
- [3] Government Regulation of the Republic of Indonesia No. 54, Safety and Security of Nuclear Installations (Ministry of the State Secretariat of the Republic of Indonesia, Jakarta, 2012) available at <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-pemerintah-nomor-54-tahun-2012-tentang-keselamatan-dan-keamanan-instalasi-nuklir>.
- [4] Ministry of Public Works and Housing, Application for Response Spectrum in Indonesia (Ministry of Public Works and Housing, Jakarta, 2021) available at <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>.
- [5] R. Parithusta and S.P. Mangkoesobroto, *Seismic Hazard Analysis of the Bandung Nuclear Reactor Site*, (P.T. Propenta Persisten Indonesia, Bandung, 2005).
- [6] International Atomic Energy Agency, *Safety of Nuclear Power Plants: Design – Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev. 1)* (IAEA, Vienna, 2016).
- [7] International Atomic Energy Agency, *Safety of Research Reactors: Specific Safety Requirements No. SSR-3* (IAEA, Vienna, 2016).
- [8] International Atomic Energy Agency, *Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities: Specific Safety Requirements No. SSR-4* (IAEA, Vienna, 2017).
- [9] International Atomic Energy Agency, *Evaluation of Seismic Safety for Nuclear: Draft Safety Guide No. DS522* (IAEA, Vienna, 2021).
- [10] International Atomic Energy Agency, *Seismic Design for Nuclear Installations: Specific Safety Guide No. SSG-67* (IAEA, Vienna, 2021).
- [11] International Atomic Energy Agency, *Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations: Specific Safety Guide No. SSG-9 (Rev. 1)* (IAEA, Vienna, 2022).
- [12] International Atomic Energy Agency, *Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants: Safety Guide No. NS-G-3.6* (IAEA, Vienna, 2004).
- [13] International Atomic Energy Agency, *Defence in Depth in Nuclear Safety: INSAG-10* (IAEA, Vienna, 1996).
- [14] Presidential Decree No. 68, Presidential Approval for Draft of Ministerial/State Agency Regulations (Cabinet Secretariat, Jakarta, 2021) available at https://jdih.setkab.go.id/PUUdoc/176484/Perpres_Nomor_68_Tahun_2021.pdf.
- [15] BAPETEN Regulation No. 12, Classification of Structures, Systems, and Components for Nuclear Installations (Nuclear Energy Regulatory Agency, Jakarta, 2020) available at <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-badan-pengawas-tenaga-nuklir-no-12-tahun-2020-tentang-klasifikasi-struktur-sistem-dan-komponen-instalasi-nuklir>.
- [16] BAPETEN Regulation No. 5, Volcanic Aspects in Site Evaluation for Nuclear Installations (Nuclear Energy Regulatory Agency, Jakarta, 2015) available at <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-no-5-tahun-2015-tahun-2015-tentang-evaluasi-tapak-instalasi-nuklir-untuk-aspek-kegunungapian>.
- [17] International Atomic Energy Agency, *Safety Assessment for Facilities and Activities: General Safety Requirements No. GSR Part 4 (Rev. 1)* (IAEA, Vienna, 2016).
- [18] International Atomic Energy Agency, *Site Evaluation for Nuclear Installations: Specific Safety Requirements No. SSR-1* (IAEA, Vienna, 2019).
- [19] International Atomic Energy Agency, *Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation – Specific Safety Requirements No. SSR-2/2 (Rev. 1)* (IAEA, Vienna, 2016)



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



KEADILAN RESTORATIF DALAM PENEGAKAN HUKUM KETENAGANUKLIRAN

Reza Fahlevi^{1, 2, a)}

¹Kanit II Industri Dagang Direktorat Kriminal Khusus POLDA Metro Jaya

²Fakultas Hukum Universitas Indonesia

^{a)}rezafdoktoral@gmail.com

Abstrak. Dalam penegakan hukum pidana modern, di dunia saat ini sudah lumrah konsep pemidanaan dengan berlandaskan keadilan restoratif. Yakni, dimana pemidanaan tidak lagi dipandang sebagai sarana membalas dendam, melainkan bagaimana pemidanaan dapat memberikan rasa keadilan dan pemulihan keadaan. Penyelesaian perkara pidana melalui keadilan restoratif dapat mengakomodasi kepentingan para pihak, terutama dalam menimbulkan ketertiban dan keteraturan hukum. Untuk itu, diperlukan suatu reorientasi pemahaman dalam menggunakan sarana pemidanaan bagi masyarakat dan penegak hukum, termasuk dalam hal ini penegakan hukum di bidang ketenaganukliran. Upaya menciptakan dan memanfaatkan langkah-langkah alternatif untuk mengadili kasus-kasus ketenaganukliran, seperti keadilan restoratif, perlu didorong untuk memperoleh sistem peradilan pidana yang lebih baik di Indonesia.

Kata Kunci: Penegakan Hukum, Keadilan, Ketertiban

Abstract. In modern criminal law enforcement, in today's world, the concept of punishment is based on restorative justice. Namely, where punishment is no longer seen as a means of revenge, but how punishment can provide a sense of justice and restoration of the situation. The settlement of criminal cases through restorative justice can accommodate the interests of the parties, especially in creating law and order. For this reason, a reorientation of understanding in using the means of punishment for the public and law enforcers is needed, including in this case law enforcement in the nuclear field. Efforts to create and utilize alternative measures to adjudicate nuclear cases, such as restorative justice, need to be encouraged to obtain a better criminal justice system in Indonesia.

Keywords: Law Enforcement, Justice, Order

PENDAHULUAN

Penerapan ketentuan pidana yang tepat terhadap tindak pidana yang terjadi, tidak cukup melalui cara sederhana melalui mencocok-cocokkan suatu kejadian dengan suatu ketentuan dalam undang-undang. Formulasi pemidanaan dengan memperhatikan unsur-unsur tindak pidana untuk menilai baik buruknya sebuah perilaku ataupun penyimpangannya, tanpa memberi perhatian kepada suasana kebatinan yang hidup di masyarakat ketika perbuatan atau penyimpangan hukum terjadi, hanya akan melahirkan asumsi bahwa sebuah peraturan perundang-undangan adalah sinonim dengan hukum. Secara hakiki, di luar undang-undang, rasa keadilan masyarakat tersebut menjelma pokok krusial yang juga wajib diperhitungkan. Dalam konteks peristiwa pidana, konsepsi rasa keadilan masyarakat itu terejawantahkan setidaknya dalam menilai sifat melawan hukum dari suatu perbuatan dengan isi rumusan suatu tindak pidana. Penilaian dapat dicelanya pelaku karena perbuatannya itu, dan penilaian pengaruh tindak pidana terhadap korban, masyarakat, tujuan hidup bernegara, serta prediksi tentang pengaruh pemidanaan yang akan dijatuhkan, bagi pembuat hukum itu sendiri penting untuk dianalisis sehingga dapat menentukan putusan penjatuhan pidana yang setepat-tepatnya[1]

Dalam konteks ini, pidana dengan dicabutnya kemerdekaan pelaku kejahatan yang dikenal dengan pidana penjara ataupun pidana kurungan sebagai salah satu bentuk sanksi pidana tertua. Selanjutnya menetapkan tujuan pemidanaan menjelma problem yang relatif dilematis, utamanya untuk mendeterminasikan apakah pemidanaan dimaksudkan guna membalas tindak pidana ataupun yang kemudian menjadi tujuan memadamkan dalam proses pemidanaan sebagai pencegahan perilaku antisosial.

Hukum pidana klasik berorientasi kepada pembalasan atau yang dikenal sebagai *Lex Tallionis*. Pidana yang divoniskan kepada pihak-pihak yang dinilai bersalah, adalah sifat pemberi penderitaan (*suffering*) yang mesti dihadapi. Meski begitu, sanksi pidana tidaklah semata-mata bermaksud memberi penderitaan. Pidana diberikan

dengan sengaja oleh negara kepada terpidana supaya dijalankan layaknya nestapa. Penderitaan pidana menjadi cara menebus dosa oleh pelaku. Lewat cara menebus dosa, kesalahan pelaku nantinya dipulihkan keberimbangan nilai kepada diri sang pelaku. Penebusan diri menjadi keperluan fondasional pada moralitas kita. Lantas, apakah dengan dijatuhkan hukuman dengan pembatasan kemerdekaan, pelaku akan berbenah jadi lebih baik serta tertib hukum?

Dalam konteks penegakan hukum ketenaganukliran sebagaimana diatur dalam UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU Ketenaganukliran) [2], yang telah diubah sebagian dengan UU Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja (UU Cipta Kerja) [3] telah mengalami perkembangan dalam konteks implementasi penegakan hukumnya. UU Cipta Kerja sendiri, memberikan paradigma baru dalam politik hukum penjatuhannya sanksi, dimana yang dikedepankan adalah sanksi administrasi, dengan memposisikan pidana sebagai *ultimum remedium* atau upaya terakhir hanya untuk aktivitas usaha dengan klasifikasi risiko tinggi. Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko [4], semua kegiatan usaha sektor ketenaganukliran diklasifikasikan sebagai kegiatan usaha dengan risiko tinggi. Hal ini berarti, semua kegiatan usaha sektor ketenaganukliran dapat langsung dikenakan sanksi pidana.

Dalam tatanan praktis, Kepolisian Republik Indonesia telah merespons paradigma baru penegakan hukum pidana ini dengan Peraturan Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2021 tentang Penanganan Tindak Pidana Berdasarkan Keadilan Restoratif.[5] Yang kemudian menjadi pembahasan dalam makalah ini adalah kemungkinan pengimplementasian keadilan restoratif tersebut dalam penegakan hukum ketenaganukliran.

METODE PENELITIAN

Penyusunan makalah ini dilakukan dengan metode penelitian kualitatif dengan kajian hukum sosio-legal. Penelitian kualitatif adalah penelitian untuk mencari jawaban dari suatu pertanyaan dengan menggunakan seperangkat prosedur yang sistematis, mengumpulkan bukti, guna memahami sebuah fenomena secara mendalam. Metode kualitatif dilakukan dengan menggunakan kajian hukum sosio-legal. Penelitian sosio-legal dilakukan mengingat penulis hendak meneliti sekaligus persoalan hukum dalam arti norma (*law in the book*), dan persoalan hukum dalam arti kenyataan (*law in action*).

LANDASAN TEORI

Keadilan Restoratif

Keadilan restoratif, secara gagasan, dimulai dari 1977 oleh Albert Eglash, seorang psikolog yang banyak mendampingi korban kejahatan, pada tulisan mengenai ganti rugi atau reparasi. Keadilan restoratif ini sangat mengutamakan terhadap upaya rekonstruksi ulang relasi-relasi setelah pasca-tindak pidana, tidak sekedar memperbaiki relasi pelaku dengan masyarakat. Menurut Eglash pendekatan hukuman dengan keadilan restoratif mengedepankan kehendak bebas dan sisi psikologis dari para pihak yang berkonflik, khususnya korban. Pelaku dibebankan atas tanggung jawab atas kesalahannya yang mengakibatkan kerusakan atau kerugian. Penghukuman dengan keadilan restoratif tidak merusak konsep tanggung jawab pelaku atas apa yang telah dilakukannya. Penghukuman dengan pendekatan keadilan restoratif mendefinisikan kembali tanggung jawab pelaku untuk melakukan tindakan-tindakan konstruktif dan perbaikan atas kesalahannya, tanpa menegasikan adanya kesalahannya atas tindakannya di masa lalu. [6]

Beberapa pakar hukum memberikan pengertian keadilan restoratif secara tidak seragam. Howard Zehr, yang sering disebut sebagai arsitek dari keadilan restoratif, mengartikan keadilan restoratif sebagai proses untuk menginklusi sedalam-dalamnya, mereka yang berkepentingan dalam suatu pelanggaran, dan untuk secara kolektif mengidentifikasi dan mengatasi kerugian, kebutuhan, dan kewajiban, untuk memulihkan dan memposisikan hal-hal tersebut seoptimal yang dapat dilakukan. Tony Marshall pada forum *Restorative Justice Consortium* pada tahun 1996 di Inggris, mendefinisikan keadilan restoratif sebagai suatu proses ketika semua pihak yang berkepentingan dalam suatu pelanggaran atau tindak pidana tertentu berkumpul untuk menyelesaikan secara kolektif bagaimana menangani akibat dari pelanggaran dan implikasinya dalam rangka pemulihan keadaan untuk masa depan yang lebih baik. [7]

United Nations Office on Drugs and Crimes (UNODC) memberi definisi keadilan restoratif sebagai pendekatan yang menawarkan pemulihan kondisi bagi korban, masyarakat, bahkan pelaku dengan jalan damai yang mengutamakan keadilan. Mempromosikan partisipasi dari para korban dalam menyelesaikan situasi, dan menawarkan kesempatan kepada pelaku untuk bertanggungjawab atas kerugian yang disebabkan oleh tindakannya. [8] Hal tersebut mengacu kepada pengakuan bahwa perilaku kejahatan tidak hanya merupakan sebuah perbuatan melanggar hukum, tapi turut merugikan korban serta masyarakat.

Keadilan restoratif dapat dilihat dari 2 perspektif, yakni perspektif konsep dan perspektif proses. Keadilan restoratif dalam perspektif konsep adalah pemulihan keadaan yang tidak menitikberatkan kepada penghujuman. Sedangkan keadilan restoratif dari perspektif proses adalah suatu bentuk penyelesaian sengketa pada perkara pidana dengan melibatkan interaksi langsung antara korban dan pelaku dalam proses penyelesaiannya. Keadilan restoratif tidak hanya bermakna memberi kepuasan kepada pihak pemenang dan memberikan rasa nestapa bagi pelaku sebagai pihak yang kalah (dikenal juga dengan keadilan retributif atau *advertorial system*), dimana

konsep pemberian nestapa bagi pelaku ini cenderung menghasilkan sifat permusuhan atau perlawanan yang tiada akhir. Keadilan restoratif menargetkan sebuah sarana dialogis antara semua pihak yang terdampak atas pelanggaran hukum, mencakup korban, pelaku, elemen pendukung, dan pemulihan keadaan dari lingkungan yang terdampak.

Tindak Pidana Administrasi

Ketentuan pidana dalam UU Ketenaganukliran, diatur dalam pasal 41, pasal 42, pasal 43, dan pasal 44 dengan ancaman sanksi sebagai berikut:

1. Pasal 41 untuk pengoperasian reaktor nuklir tanpa izin:
 - ayat (1): ancaman sanksi pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan pidana denda paling banyak Rp10.000.000.000,00 (sepuluh miliar rupiah)
 - ayat (2): ancaman sanksi pidana penjara maksimal seumur hidup atau pidana penjara paling lama 15 (lima belas) tahun.
 - ayat (3): ancaman sanksi pidana kurungan paling lama 1(satu) tahun
2. Pasal 42 untuk petugas instalasi nuklir yang tidak memiliki izin:
 - ayat (1): ancaman sanksi pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.50.000.000,00 (lima puluh juta rupiah).
 - ayat (2): ancaman sanksi pidana kurungan 6 (enam) bulan jika tidak mampu membayar denda.
3. Pasal 43 untuk pemanfaatan tenaga nuklir tanpa izin:
 - ayat (1): ancaman sanksi pidana denda paling banyak Rp 100.000.000,00 (seratus juta rupiah)
 - ayat (2): ancaman sanksi pidana kurungan paling lama 1 (satu) tahun jika tidak mampu membayar denda
4. Pasal 44 untuk limbah radioaktif ilegal:
 - ayat (1): ancaman sanksi pidana penjara paling lama 5 (lima tahun) dan pidana denda paling banyak Rp.300.000.000,00 (tiga ratus juta rupiah).
 - ayat (2): ancaman sanksi pidana denda paling banyak Rp 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
 - ayat (3): ancaman sanksi pidana kurungan paling lama 1 (satu) tahun jika tidak mampu membayar denda

Secara konsep sanksi pidana dalam sektor-sektor yang diatur dalam UU Cipta Kerja, termasuk UU Ketenaganukliran dijatuhkan terhadap tidak dipenuhinya persyaratan perizinan berusaha ataupun tujuan pengawasan yang ditetapkan oleh regulator (dalam hal ini BAPETEN). Dalam hal ini merupakan salah satu bentuk pemidanaan berupa *regulatory offence* atau dikenal dengan tindak pidana administrasi. Tindak pidana administrasi di bidang-bidang seperti perizinan berusaha, keselamatan masyarakat, ataupun ketentuan dalam proses suatu kegiatan telah menjadi objek banyak studi empiris. Banyak pakar hukum yang beranggapan bahwa tindak pidana administrasi ini bukanlah "*real crime*". Pakar hukum pidana pada umumnya berpendapat bahwa tindak pidana pada ranah tradisional adalah suatu kejahatan yang secara kasar disamakan dengan pelanggaran yang membutuhkan bukti adanya niat atau "*mens rea*". Sementara pelanggaran dalam tindak pidana administrasi diperlakukan dengan prinsip pertanggungjawaban mutlak atau "*strict liability*" tanpa perlu membuktikan adanya "*mens rea*" dalam pelanggaran tersebut. Sebagai contoh, pelanggaran lalu lintas dengan menyerobot lampu merah dapat langsung diberikan sanksi pidana tanpa perlu membuktikan apakah yang bersangkutan memiliki niat atas pelanggaran tersebut. Demikian juga dalam pelanggaran perizinan berusaha, ketika pelaku usaha tidak memiliki izin, maka dapat ditindak tanpa perlu membuktikan apakah pelaku usaha tersebut memiliki niatan atau tidak untuk tidak mengurus izin.

Menurut Nicola Lacey kurangnya persyaratan "*mens rea*" dalam pelanggaran ini berfungsi untuk meningkatkan legitimasi golongan kaya, dalam hal ini pelaku usaha, yang biasanya melakukan tindak pidana administrasi dalam menjalankan bisnis mereka. Dalam konteks ini, anggapan bahwa tindak pidana administrasi bukan "kejahatan nyata" haruslah dibantah. Pelanggaran atas hukum bagaimanapun harus mendapat sanksi, dan sanksi hukuman yang tidak menstigmatisasi seperti denda dalam tindak pidana administrasi adalah dalam rangka menurunkan resistensi dari golongan kaya yang umumnya enggan mendapat hukuman penjara. [9]

Terkait hubungan antara pertanggungjawaban mutlak dan tindak pidana administrasi ini, Barda Nawawi Arief berpendapat bahwa pelaksanaan pertanggungjawaban mutlak ini sangat bertentangan dengan asas kesalahan, untuk itu diperlukan pembatasan dalam implementasinya hanya untuk delik-delik khusus. Hampir semua delik yang diatur di undang-undang (*regulatory offences, statutory offence, atau mala prohibita*) mengenai kesejahteraan umum (*public welfare*) adalah dalam bentuk pertanggungjawaban mutlak. Mencakup tindak pidana administrasi, seperti pelanggaran lalu lintas; pencegahan terhadap polusi udara atas suatu kegiatan; penjualan makanan, minuman, dan/atau obat-obatan berbahaya; dan pemakaian gambar dagang tidak sesuai sehingga menimbulkan penyesatan di masyarakat.[10]

Pertanggungjawaban mutlak menuntut adanya kriteria dan batasan membahayakan masyarakat untuk menentukan suatu tindak pidana administrasi yang dilanggar. Adapun kriteria membahayakan masyarakat dalam pertanggungjawaban mutlak dalam tindak pidana administrasi seperti pencemaran lingkungan; pelanggaran lalu lintas; penjualan makanan, minuman, dan obat-obatan yang tak sesuai persyaratan kesehatan menjadi tantangan

bagi masing-masing regulator kegiatan usaha dalam menentukan batasannya, termasuk juga bagi BAPETEN dalam bidang ketenaganukliran.

PEMBAHASAN

Pergeseran Paradigma Pemidanaan

Konsep pembalasan dan pemberian nestapa atas kejahatan atau yang dikenal dengan keadilan retributif dianggap menimbulkan hal negatif dari sisi pelaku tindak kejahatan. **Pertama**, adanya suatu pelanggaran hak asasi manusia dalam bentuk dehumanisasi (tidak memanusiakan) pelaku tindak pidana. Keadilan retributif yang dicapai melalui pidana penjara mengakibatkan pelaku tindak pidana tidak mampu menjalankan kehidupan secara produktif pada masyarakat. **Kedua**, timbulnya subkultur di lingkungan para narapidana. Narapidana yang mengintegrasikan dalam masyarakat narapidana akan cenderung untuk beradaptasi dengan sejumlah aturan yang ada pada masyarakat tersebut yang ditakutkan akan terinternalisasi dalam diri individu tersebut walaupun dia sudah berada di luar lingkungan narapidana. **Ketiga**, stigmatisasi negatif di masyarakat terhadap narapidana. Hoefnagels mendefinisikan stigma sebagai identitas seorang yang terganggu dan rusak akibat pandangan masyarakat sekitar terhadapnya.[11] Stigmatisasi ini juga mengakibatkan pelaku tindak pidana tidak dapat melanjutkan hidupnya secara efektif dalam masyarakat. Jika kita melihat hal-hal tersebut di atas, masihkah kita dapat berpendapat bahwa keadilan retributif adalah satu-satunya jalan untuk menegakkan keadilan di dalam masyarakat?

Sebagai solusi atas sisi negatif dari keadilan retributif tersebut maka hadirlah konsep keadilan restoratif. “Keadilan restoratif adalah sebuah konsep keadilan yang timbul berdasarkan sebuah kepercayaan bahwa pihak-pihak yang bersengketa harus secara aktif untuk memecahkan masalah dan mengurangi efek buruk yang timbul dari sengketa tersebut. Pada awalnya mediasi merupakan pengejawantahan dari keadilan restoratif. Pada mediasi, sejumlah pihak yang menghadapi sengketa diberi fasilitas oleh pihak ketiga yang netral untuk berdialog mengenai: (1) bagaimana sebuah pelanggaran hukum mempengaruhi dalam kehidupan mereka, (2) berbagi informasi perihal pelanggaran tersebut, (3) menciptakan sebuah perjanjian yang dapat memulihkan keadaan antara pihak-pihak yang bersengketa, (4) mengembangkan sebuah rencana aksi untuk menindaklanjuti perjanjian tersebut.

Katleen Daly memaparkan konsep perbedaan antara peradilan pidana keadilan retributif dengan dengan konsep peradilan keadilan restoratif sebagai berikut:

Tabel 1. Perbedaan keadilan retributif dan keadilan restoratif [12]

Keadilan Retributif	Keadilan Restoratif
Penegakan hukum dilakukan dengan tujuan utama untuk memidana pelaku.	Penegakan hukum mengutamakan pemulihan dampak dari tindak pidana baik bagi korban ataupun lingkungan yang terdampak atas tindak pidana.
Negara mewakili masyarakat yang menjadi korban.	Tidak harus diwakilkan oleh negara, korban dan elemen masyarakat dapat mengambil bagian dalam prosesnya.
Proses berlangsung adalah proses hukum atau yang dikenal dengan hukum acara.	Proses yang berlangsung merupakan suatu dialog ataupun mediasi.

Lebih lanjut, Eva Achjani Zulfa memberi kesimpulan secara sederhana bahwa terdapat kekurangan dalam konsep pemidanaan yang berlaku jika dibandingkan dengan konsep keadilan restoratif sebagai berikut:

Tabel 2. Perbandingan pemidanaan saat ini dan keadilan restoratif [13]

Pemidanaan Saat ini	Keadilan Restoratif
Keadilan dimaknai sebagai proses yang berjalan dalam bentuk hukum acara dan bukan kepada hasil yang diperoleh dari pemidanaan.	Tindakan penghukuman mengutamakan hasil yang dapat diterima dengan mengembalikan hak korban, hak masyarakat, pemulihan keadaan dari lingkungan terdampak/
Pandangan umum yang menunjukkan bahwa pemidanaan hanya memperhatikan kepentingan negara bukan masyarakat.	Mengutamakan upaya diwujudkannya pemulihan setelah terjadinya tindak pidana, dengan posisi Negara hanya dalam fungsi fasilitator.

Dalam praktek, ternyata sistem keadilan retributif tidak dapat membuat pelaku tindak pidana menuju ke arah perbuatan yang lebih baik sebagaimana diharapkan ketika hukuman dijatuhkan. Bahkan dengan fasilitas lembaga pemasyarakatan di Indonesia yang dalam banya kesempatan menunjukkan kondisi kelebihan kapasitas, pelaksanaan pidana penjara belum efektif untuk memberikan pembinaan dan menyiapkan mantan narapidana untuk kembali ke masyarakat. Penjara hanya akan menjadi tempat bagi seseorang untuk belajar “lebih mahir” dalam melakukan kejahatan.

Dasar Hukum Keadilan Restoratif

Pelaksanaan kewenangan penyelidikan dan penyidikan tindak pidana oleh POLRI dengan menerapkan prinsip keadilan restoratif, didasarkan pada ketentuan sebagai berikut:

1. Pasal 7 ayat 1 huruf j Undang-Undang Nomor 8 tahun 1981 tentang Hukum Acara Pidana (KUHP), yang menetapkan bahwa penyidik POLRI boleh menjalankan tindakan lain menurut hukum secara bertanggung jawab.[14]
2. Pasal 16 ayat 1 huruf L dan pasal 18 Undang-Undang Nomor 2 tahun 2002 tentang Kepolisian Negara Republik Indonesia (UU POLRI), yang menetapkan bahwa tindakan penyelidikan dan penyidikan yang dilaksanakan harus memenuhi syarat tidak bertentangan dengan hukum positif yang berlaku, selaras dengan kewajiban Kepolisian yang mengharuskan tindakan hukum atas nama jabatan, patut dan masuk akal, berdasarkan pertimbangan yang layak, serta tidak melanggar hak asasi manusia. [15]
3. Pasal 18 UU POLRI, yang mengatur bahwa untuk kepentingan umum petugas kepolisian negara Republik Indonesia dalam melaksanakan tugas dan wewenangnya dapat bertindak menurut penilaiannya sendiri; dan
4. Peraturan POLRI Nomor 8 Tahun 2021 tentang Penanganan Tindak Pidana Berdasarkan Keadilan Restoratif sebagai dasar dan tata cara dalam pelaksanaan penegakan hukum dengan pendekatan keadilan restoratif.

Penanganan Tindak Pidana Ketenaganukliran dengan Metode Keadilan Restoratif

Berdasarkan penelusuran penulis, tindak pidana ketenaganukliran yang dilanjutkan sampai ke proses persidangan dijatuhkan hukuman pidana denda dengan jumlah yang tidak terlalu banyak. Adapun beberapa Putusan Pengadilan yang penulis dapatkan:

1. Putusan Majelis Hakim Pengadilan Negeri Medan Tahun 2015 Nomor 3474/Pid.Sus/2015/PN Mdn, dengan sanksi pidana denda Rp 10.000.000,-
2. Putusan Majelis Hakim Pengadilan Negeri Medan Tahun 2015 Nomor 3828/Pid.Sus/2015/PN Mdn, dengan sanksi pidana denda Rp 10.000.000,-
3. Putusan Majelis Hakim Pengadilan Negeri Sidikalang Tahun 2019 Nomor 150/Pid.Sus/2019/PN. Sdk, dengan sanksi pidana denda Rp 15.000.000,-
4. Putusan Majelis Hakim Pengadilan Negeri Sei Rampah Tahun 2019 Nomor 468/Pid.Sus/2019/PN Srh, dengan sanksi pidana denda Rp 6.000.000,-
5. Putusan Majelis Hakim Pengadilan Negeri Gunung Sugih Tahun 2020 Nomor 549/Pid.B/LH/2020/PN Gns, dengan sanksi pidana penjara 6 bulan dan denda Rp 5.000.000,- (tindak pidana lingkungan hidup dan tindak pidana ketenaganukliran).
6. Putusan Majelis Hakim Pengadilan Negeri Binjai Nomor 487/Pid.Sus/2020/PN Bnj, dengan putusan lepas.

Dari 6 putusan tersebut, dapat dilihat bahwa pemidanaan dalam sektor ketenaganukliran terkesan tidak berat bahkan cenderung ringan. Secara mendasar, pemidanaan adalah “puncak” daripada Sistem Peradilan Pidana lewat penjatuhan putusan oleh hakim. Jika, putusan hakim sedemikian ringannya, maka menurut penulis hal ini justru merugikan bagi “marwah” hukum ketenaganukliran sendiri. Dengan memperhatikan realita lemahnya sanksi pidana dalam UU Ketenaganukliran, dan tidak maksimalnya putusan hakim, menurut penulis untuk kasus-kasus ketenaganukliran yang bersifat tindak pidana administrasi, serta tidak menimbulkan korban, akan lebih tepat jika dikedepankan penanganan dengan keadilan restoratif.

BAPETEN dapat membuat laporan atas temuan dugaan tindak pidana ketenaganukliran kepada pihak Kepolisian. Pihak Kepolisian dengan berpedoman kepada peraturan perundang-undangan, dapat “memaksa” tersangka untuk kemudian memenuhi segala ketentuan dalam pemanfaatan tenaga nuklir yang ditetapkan oleh BAPETEN. Dan jika ada kerugian bagi masyarakat ataupun lingkungan yang terdampak atas tindak pidana ketenaganukliran tersebut, BAPETEN bersama Kepolisian dapat memerintahkan pelaku tindak pidana ketenaganukliran tersebut untuk melakukan tindakan-tindakan korektif untuk mengganti kerugian korban masyarakat terdampak dan memulihkan keadaan lingkungan.

Sebagaimana dikutip oleh Luhut M.P Pangaribuan dari Roeslan Saleh tentang asas subsidiaritas, dijelaskan bahwa hukum pidana adalah sebagai upaya penegakan hukum yang terakhir (dikenal dengan *last resort* atau *ultimum remedium*), selama instrumen hukum lain telah tersedia dan dapat dijalankan. [16] Dengan demikian, baik dengan memperhatikan fungsi pemidanaan dan efektivitas dari pemidanaan tersebut, jika proses penegakan hukum dapat diselesaikan dengan metode di luar sistem peradilan pidana, maka perkara tidak perlu diteruskan ke penuntut umum.

KESIMPULAN

Dari penjelasan di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam penegakan hukum ketenaganukliran, kerjasama yang saling terintegrasi antara Badan Pengawas

- Tenaga Nuklir (BAPETEN) dengan Kepolisian mutlak diperlukan. Penanganan tindak pidana merujuk Kitab Undang-Undang Hukum Acara Pidana, adalah penanganan tindak pidana dengan suatu “Sistem Peradilan Pidana Terpadu” atau “Integrated Criminal Justice System”. Dimana tanggung jawab masing-masing instansi harus jelas terbagi, agar efektivitas menyeluruh dari sistem peradilan pidana dapat tercapai
2. Pergeseran paradigma hukum pidana dari keadilan retributif, yang menitikberatkan kepada pembalasan kepada pelaku, menuju keadilan restoratif, yang mengutamakan pemulihan keadilan kepada korban dan lingkungan terdampak adalah suatu kebutuhan dalam rangka memberikan rasa keadilan, kepastian, dan kemanfaatan. Keadilan restoratif menjadi sebuah pendekatan kepada keadilan atas dasar falsafah serta nilai-nilai tanggung jawab, transparansi, kepercayaan, harapan, pemulihan, yang menaruh perhatian kepada reparasi kerugian yang diakibatkan kejahatan atau pelanggaran.
 3. Dalam relasi konflik hukum positif dan moralitas masing-masing mempunyai otonomi “wilayah” yang eksklusif, ihwal itu menandakan validitas dan kekuatan mengikat suatu regulasi hukum pertama-tama mengacu kepada kriteria hukum. Dahulu, pada tahun 1997 ketika UU Ketenaganukliran diundangkan, pidana denda dengan jumlah maksimal Rp 100.000.000,- adalah jumlah yang besar, namun pada saat ini jumlah tersebut bukan jumlah yang besar, sehingga efektivitasnya untuk dapat menimbulkan efek jera patut dipertanyakan. Hal ini berarti kriteria hukum yang berlaku pada masa 1997 sudah berubah dengan kriteria hukum pada masa kini. Dengan demikian, pemecahan tindak pidana dengan keadilan restoratif tepat dikedepankan untuk menegakkan hukum ketenaganukliran, untuk mendorong kepatuhan kepada ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang ketenaganukliran.
 4. Keadilan sebagai salah satu tujuan hukum, adalah sebuah ungkapan yang mudah diucapkan, namun “ias jadi” sulit untuk diwujudkan. Untuk itu, bagaimana menegakkan hukum ketenaganukliran yang tidak mencederai rasa keadilan di masyarakat harus dikedepankan dan menjadi perhatian penting bagi semua pihak yang terlibat, khususnya bagi BAPETEN dan Kepolisian.

REFERENSI

- [1] Chairul Huda dalam prakata untuk buku “Penjatuhan Pidana dan Dua Prinsip Dasar Hukum Pidana” lihat Muhammad Ainul Syamsu, Penjatuhan Pidana dan Dua Prinsip Dasar Hukum Pidana, (Jakarta: Prenamedia, 2016), hlm. Vi.
- [2] Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Lembaran Negara Tahun 1997 Nomor 23, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3676.
- [3] Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja, Lembaran Negara Tahun 2020 Nomor 245, Tambahan Lembaran Negara Nomor 6573.
- [4] Peraturan Pemerintah Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko, Lembaran Negara Tahun 2021 Nomor 15, Tambahan Lembaran Negara Nomor 6617.
- [5] Peraturan Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2021 tentang Penanganan Tindak Pidana Berdasarkan Keadilan Restoratif, Berita Negara Tahun 2021 Nomor 947.
- [6] Albert Eglash, “Beyond Restitution-Creative Restitution.” dalam Joe Hudson dan Burt Galaway, *Restitution in Criminal Justice: A Critical Assessment of Sanctions*, (Lanham: Lexington Books, 1977), hlm. 91.
- [7] Paul McCold, *The Recent History of Restorative Justice: Mediation, Circles and Conferencing*, *Handbook of Restorative Justice: Global Perspective* (New York: Routledge, 2006), hlm 23.
- [8] United Nations Office on Drugs and Crime, *Handbook on Restorative Justice Programmes- Second Edition*, (Vienna: United Nations, 2020), hlm. 4.
- [9] Nicola Lacey, *Criminalization as Regulation; The Role of Criminal Law*, (Oxford: University of Oxford Legal Research Paper Series, July 2012), hlm. 1-3.
- [10] Barda Nawawi Arief, *Perbandingan Hukum Pidana* (Jakarta: Rajawali, 1990), hlm. 29.
- [11] M Taufik Makarao (ed), *Pengkajian Hukum Tentang Penerapan Restorative Justice dalam Penyelesaian Tindak Pidana yang Dilakukan oleh Anak-Anak*, (Jakarta: Badan Pembinaan Hukum Nasional, 2013), hlm xxiii.
- [12] Katleen Daly, *Revisiting the Relation between Retributive and Restorative Justice*, disampaikan pada *Restorative Justice and Civil Society Conference Australian National University*, Canberra, Februari 1999, hlm. 6.
- [13] Eva Achjani Zulfa, *Restorative Justice dan Reorientasi Bekerjanya Sistem Peradilan Pidana*, dalam *Demi Keadilan Antologi Hukum Pidana dan Sistem Peradilan Pidana - 6 Dasawarsa Harkristuti Harkrisnowo*, Editor Jufrina Rizal dan Suhariyono AR, (Jakarta: Pustaka Kemang, 2016), hlm. 354.
- [14] Undang-Undang Nomor 8 Tahun 1981 tentang Hukum Acara Pidana, Lembaran Negara Tahun 1981 Nomor 76, Tambahan Lembaran Negara Nomor 3209.
- [15] Undang-Undang Nomor 2 tahun 2002 tentang Kepolisian Negara Republik Indonesia, Lembaran Negara Tahun 2002 Nomor 2, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4168.
- [16] Luhut M.P. Pangaribuan, *Hukum Pidana Khusus Tentang Tindak Pidana Ekonomi Pencucian Uang, Korupsi, dan Kerjasama Internasional serta Pengembalian Aset*, (Depok: Pustaka Kemang, 2016) hlm. 24.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



THE IMPLEMENTATION OF THE GRADED APPROACH IN THE SAFETY DESIGN REQUIREMENTS OF RESEARCH REACTORS

Diah Hidayanti Sukarno^{1,a)}, Sri Budi Utami^{2,b)}

^{1,2}Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN), Jl. Gajah Mada 8 Jakarta, Indonesia

^{a)}d.hidayanti@bapeten.go.id

^{b)}s.utami@bapeten.go.id

Abstract. The IAEA has recommended the use of a graded approach in the implementation of research reactor safety design requirements that is commensurate with the reactor's potential hazards. Unfortunately, it has not yet been well informed how to implement the graded approach in the research reactor's safety design requirements and how far the graded approach implementation in BAPETEN Regulations on research reactor safety design requirements. Therefore, this paper aims to inform the method of the graded approach implementation in the research reactor safety design requirement, identify the existing implementation of the graded approach in BAPETEN's safety design requirements for research reactors, identify the grading examples of the research reactor safety design requirements, and identify the graded approach implementation in other country regulations. The assessment was conducted by identifying BAPETEN's safety design requirements for research reactors which have implemented the graded approach, the grading examples of the research reactor general design requirements, and the graded approach implementation in other country regulations. The implementation of a graded approach in the safety design requirements can be performed through 4 steps: reactor categorization, identification of safety design requirements, safety classification of SSCs or management system elements, and graded approach implementation. Most of the BAPETEN Regulations have not yet described the grading of the research reactor safety design requirements in detail. The grading examples of the research reactor general design requirements show that most of the requirements can be graded. The grading of research reactor safety regulations in the USA is performed in more detail than that in Canada through the reactor hazard categorization and the guidelines development. Therefore, it is recommended for BAPETEN to elaborate its safety design requirements and other related requirements to implement the graded approach in more detail and/or to develop guidance on how to meet the requirements using the graded approach.

Keywords: implementation, graded approach, safety design requirement, a research reactor, guidance

INTRODUCTION

The implementation of a graded approach concept in nuclear facilities and activities has been recommended by the IAEA as stated in the third and fifth safety principles [1]. The third safety principle states that the safety of facilities and activities shall be assessed consistently with the graded approach, while the fifth safety principle states that all radiation risks must be assessed using a graded approach [1]. The fifth safety principle also states that the allocation of resources for safety by the licensee, as well as the scope, stringency, and application of regulations, have to be equated to the radiation risk magnitude [1]. The application of safety requirements for the research reactor during site evaluation until decommissioning stages, including utilization and modification, shall use a graded approach [2]. The wide variety of research reactor characteristics (power level, fuel element type, utilization, moderator, coolant, reflector types, etc.) gives different potential hazards. This requires a flexible approach for each reactor in achieving and managing its safety. Naturally, a graded approach is also needed to achieve efficiency without compromising safety.

Unfortunately, it has not yet been well informed how to implement the graded approach in the safety design requirements for research reactors. It also has not yet been evaluated how far the implementation of the graded approach in BAPETEN's safety design regulations for research reactors. Therefore, the assessment in this paper aims to: 1) inform the method of the graded approach implementation in the research reactor safety design requirement; 2) identify the existing implementation of the graded approach in BAPETEN Regulations related to the safety design requirements of research reactors; 3) identify the examples of detailed grading of the safety design requirements of research reactors which can be applied in BAPETEN regulations or guidance; and 4)

identify the graded approach implementation in other country regulations. Currently, IAEA is developing the Draft Specific Safety Guide DS511 [3] which discusses how to use a graded approach in the application of research reactor safety requirements. That DS511 document is the revision of the IAEA Safety Guide SSG-22 [4].

The results of the assessment provide insight for the regulatory body, especially BAPETEN, to implement the graded approach in the safety design requirements in more detail and clearer, and to develop the technical guidance to help the applicants to apply the graded approach in their research reactor design.

METHODOLOGY

The assessment of the graded approach implementation in this paper was conducted by:

- identifying the safety design requirements for research reactors in BAPETEN Regulations which have implemented the graded approach;
- identifying the examples of the graded approach implementation in various safety design requirements from the literature and existing research reactors condition in Indonesia. The graded approach implementation in other country regulations is also identified. The results of identification can be used in elaborating BAPETEN Regulations or developing guidance to implement the graded approach.

The safety design requirements discussed in this paper are limited to the general design requirements.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The implementation of the graded approach in the safety design requirements of research reactors may be performed in four steps, as explained below.

Step 1: Categorization of Facilities

Referring to the DS511 [3], research reactor facilities can be categorized qualitatively based on their potential radiological hazards as follows:

- a. Facilities that have off-site potential radiological hazards are categorized as facilities with high potential hazards;
- b. Facilities that have onsite potential radiological hazards only are categorized as facilities with medium potential hazards;
- c. Facilities that do not have potential radiological hazards beyond the reactor hall, including the connected experimental facilities or beam tubes, are categorized as facilities with low potential hazards.

Several facility characteristics can be considered in determining the facility category based on its potential hazards. They include but are not limited to:

- The reactor power; the radiological source term; the type and amount of fissionable and fissile material; the type and characteristics of fuel elements (properties of fuel and cladding); the type, characteristics, and mass of coolant, moderator, and reflector; the excess reactivity, maximum reactivity addition rate, control of reactivity, and safety features; the number of spent fuels, flammable materials, heating systems, and high-pressure systems; the limitations in containment or confinement structures design; the site characteristics, including external hazards, and the distance from the population; the reactor utilization; and the flexibility of the overall configuration change; [3]
- The life cycle stage of facility. [5]

The IAEA publications [3,4] inform that the graded approach implementation in the safety design requirements of research reactors should consider the categorization of facilities based on their potential radiological hazards. This paper suggests that reactor design maturity is also an important factor to be considered in the graded approach implementation. The reactor facility, which has a low potential hazard and less degree of design maturity, could present a potential hazard higher than previously expected. Thus, a larger safety margin is needed to be provided for the reactor facility with a lesser degree of design maturity. The consideration of design maturity becomes important due to the intense development of non-light water reactor technologies nowadays, such as the HTGR and the MSR types. Several first-of-a-kind reactors have been built and operated for research.

Step 2: Identification of safety design requirements

In step 2, the safety design requirements which are applicable for the graded approach implementation are identified. Not all safety design requirements can be graded. For example, the requirement that there is no single failure which results in the failure of structures, systems, and components (SSCs) in safety systems to perform their functions cannot be applied using the graded approach.

Step 3: Classification of SSCs or management system elements

Each design requirement is associated with certain SSCs or management system elements. So, to grade the design requirements for the associated SSCs or elements of the management system, those SSCs and management system elements need to be classified based on their safety significance. The safety classification of SSCs is determined by performing a safety assessment.

Step 4: Implementation of the graded approach

Based on the results of the safety classification of SSCs or management system elements and by considering the categorization and design maturity of the reactor facility as well as other factors that may affect the reactor's potential hazard, the appropriate manner and level of effort to meet the design requirements will be implemented. Expert judgment may contribute to perform this step.

Several safety requirements related to the design of research reactors have been implemented in BAPETEN Regulations, as follows:

- a. BAPETEN Regulation Number 1 Year 2011 [6], which contains the safety design requirements for research reactors, has adopted the graded approach. However, the implementation of the graded approach concept is only stated in Article 3 which states that the implementation of general and specific design requirements shall use the graded approach. Article 3 also states that the graded approach is performed based on the reactor characteristics and the probability and intensity of the reactor's radiation exposure. The detailed grading of the safety design requirements of research reactors is not given in that BAPETEN Regulation.
- b. The requirement on design for nuclear emergency preparedness and response [7] has applied the graded approach in the determination of emergency zones. The graded approach is applied based on the radiological hazard category of the facility. Reactors or facilities are categorized into five categories, ranging from facilities posing the highest radiological hazard (category I) to those posing the lowest radiological hazard (category V). The implementation of the graded approach is defined below:
 - The radius of emergency zones, which consist of preventive action zone, planning zone, and food supervision zone, is determined for each facility category. For example, the radius of the preventive action zone for reactor/facility in category I are 3-5 km (for reactor > 1000 MWt) and 0.5-3 km (for a reactor with a power level of 10-1000 MWt).
 - Category I and II facilities shall provide early detection equipment and alarm in the facility and the site. They also have to provide (thyroid agent blocking). Facility with category III shall only provide early detection equipment and alarm in the facility.
- c. The requirement of safe utilization and modification provision in research reactor [8] has implemented the graded approach based on the categorization of the utilization or modification project. There are two categories of utilization or modification projects:
 - The utilization or modification which has a major effect on safety
 - The utilization or modification has a minor effect on safety.

Examples of several provisions for the utilization or modification which has a major effect on safety are: the utilization or modification project has to be submitted to the regulatory body for review and approval, the operating organization has to establish the utilization/modification program and utilization/modification management system, the utilization/modification organization shall exist, and the safety analysis must be performed before the utilization/modification is conducted. For the utilization or modification which has a minor effect on safety, it just needs to be reported to the regulatory body before the project is started.
- d. The safety requirement of ageing management for research reactor [9] applies the graded approach in the screening of SSCs for ageing management. The screening of SSCs is performed to identify "the critical SSCs", i.e. the SSCs which require ageing management. By screening the SSCs, the use of resources in performing ageing management actions becomes more effective.
- e. The requirement of operational limits and conditions for research reactors [10] uses the graded approach in accordance with the characteristics and radiological hazard potential of the facility, which are based on the reactor and fuel types, the power level, and the scope of utilization. However, no further detailed grading of the requirement is available.
- f. The requirement of safety assessment and verification for research reactors [11] uses a graded approach in accordance with the reactor characteristics and radiological hazard potential, which are based on the reactor and fuel types as well as the power level. However, no specific information on the aspects of the requirement which implement the graded approach is available.
- g. The requirement of maintenance for research reactors [12] also applies the graded approach in accordance with the potential radiological hazards of the research reactor facilities and the safety classes of SSCs. Similarly, the requirement is not graded in detail.

In general, the BAPETEN Regulations have not yet given a detailed grading of the safety design requirements of research reactors. A more detailed grading of the safety design requirements for research reactors is needed. The development of guidance on how to implement the graded approach in fulfilling the

safety design requirements of research reactors is needed. The guidance can help the applicants/licensees to meet the requirements using the graded approach. The guidance also helps the regulatory body to implement the graded approach in all regulatory activities.

The SSR-3 [2] establishes three categories of safety design requirements of research reactors, i.e., principal technical, general design, and specific design requirements. The principal technical requirements consist of main safety functions, radiation protection, design, defence in depth, interfaces of safety, security, and safeguards, practices of proven engineering, construction provision, and radioactive waste management and decommissioning features. The general design requirements consist of reliability of items important to safety, physical separation and independence, single failure criteria, fail-safe design, common cause failure design, qualification of items important to safety, commissioning design, decommissioning design, maintenance, repair, replacement, calibration, testing, monitoring, and inspection of items important to safety, emergency preparedness and response design, radiation protection design, ageing management design, optimal human (operator) performance design, safety classification of SSCs, design basis of items important to safety, Postulated Initiating Event (PIE), internal and external hazards, Design Basis Accident (DBA), design limits, Design Extension Condition (DEC), Engineered Safety Feature (ESF), safe utilization and modification provision, long shutdown period provision, prevention of unauthorized access to or interference with items important to safety, prevention of disruptive or adverse interactions among systems important to safety, and design safety analysis. The specific design requirements consist of buildings and structures, confinement means, design of reactor core and fuel, reactivity control provision, reactor shutdown systems, design of reactor coolant and related systems, Emergency Core Cooling System (ECCS), Instrumentation and Control (IC) system provision, Reactor Protection System (RPS), reliability and testability of IC systems, radiation protection systems, use of computer-based equipment in systems important to safety, control room, supplementary control room, onsite emergency response facilities, electrical power supply systems, storage and handling systems for fuel and components of the core, radioactive waste systems, the performance of auxiliary and supporting systems, fire protection systems, lighting systems, lifting equipment, air conditioning and ventilation systems, compressed air systems, and experimental devices.

The substances of several principal technical requirements have been included in the general design requirements and the specific design requirements. Therefore, the examples of the graded approach implementation in the general design requirements in this paper also include the graded approach implementation in the relevant principal technical requirements.

The examples of a graded approach implementation in the general design requirements are presented in Table 1 by referring to the literature and the existing condition of the research reactors in Indonesia.

Table 1. Examples of the graded approach implementations in the general design requirements of research reactors

No.	Requirements	Graded Approach Implementation
1.	Reliability of items important to safety	<p>The reliability (diversity, redundancy, functional independence and physical separation) level required by the safety systems to prevent the exceedance of design limit can be graded. The examples are:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The more the redundant channels in the safety systems are used, the higher the reliability level is achieved. [3] - The degree of physical separation of system cable trains for two independent safety systems increases when they are installed on separate floors of the facility rather than located in separate rooms on the same floor or separated from each other within the same room. [3] - The use of two methods in performing reactor trip, such as control rod insertion and liquid absorber injection, will increase the reliability of reactor trip or scram system. The importance of design diversity is that different designs will have different failure modes and will not be susceptible to the same common cause failures [13].
2.	Physical separation and independence	Has been explained in Requirement no. 1
3.	Single failure criteria	The requirement that there is no single failure which results in the loss of capability of SSCs in safety systems to perform their functions cannot be applied using the graded approach. [3]
4.	Fail-safe design	The extent of the use of fail-safe design features in components and systems important to safety can be graded. Examples of fail-safe design features are a fail-safe control rod drive system and a freeze valve in the molten salt reactor. The failure of plug salt to freeze allows the coolant salt in the reactor tank flows to the drain tank and causes the safe shutdown of the reactor.
5.	Common cause failure design	The number of multiple failures that occurs at the same time due to a common cause can be graded to achieve the reliability level needed to ensure operational safety. [3]

6.	Qualification of items important to safety	The qualification level of items to perform their safety functions in associated environmental conditions can be graded based on their safety classification. [3]
7.	Commissioning design	The requirement to provide design features to facilitate the commissioning process (e.g. testings, examinations, and measurements) cannot be graded. [3]
8.	Decommissioning design	<ul style="list-style-type: none"> - The design features used to meet the radiation protection requirements for workers, the public and the environment can be graded. Examples of design features are provisions and tools for handling, removal, and packaging of the reactor core components, radioactive waste storage and disposal facilities, shielding, and specialized transport equipment. [3] - US NRC applies the graded approach in decommissioning by categorizing nuclear facilities into 7 groups based on their potential hazards. For example, Facilities in Groups 1 and 2 are not required to submit a site-specific decommissioning plan because the decommissioning activities will not pose a potential risk to the public or workers. Groups 3–7 must submit a site-specific decommissioning plan because they give the potential risk to the public or workers. [14]
9.	Ageing management design	<ul style="list-style-type: none"> - The number of SSCs for ageing management and monitoring activities can be graded. A research reactor which has a lot of SSCs will need more ageing management activities during the operation stage. [3] - The use of materials resistant to degradation mechanisms and inspection, testing, and replacement provisions can be graded. The SSCs important to safety need to use materials resistant to degradation mechanisms and stringent provisions for inspection, testing, and replacement. [3]
10.	Maintenance, repair, replacement, calibration, testing, monitoring, and inspection of items important to safety	<ul style="list-style-type: none"> - Testing provision for SSCs during reactor operation can be graded. For example, safety system components in a high-power research reactor need testing more frequently during operation than those in a low-power reactor. So, a high-power reactor should have specific features to enable that necessity. In a low-power facility, the reliable performance of safety system components can be demonstrated adequately using testing during periodic shutdowns. [3] - The use and storage of spare parts can be graded. For a high-power research reactor, the provisions of specification, procurement, and storage of spare parts need to follow higher standards than those for a low-power research reactor. [3]
11.	Emergency preparedness and response design	<ul style="list-style-type: none"> - The design of the escape route (type, number, and size, including ventilation, emergency lighting, and other essential services) and the location where personnel assemble can be graded; [3] - The emergency zone can be graded according to the reactor power level. The emergency zone for the Kartini Reactor 100 kW is only in the area of the reactor building. The higher the power level which means the higher potential hazards, the larger the area of the emergency zone. The NUREG 0849 [15] determines the acceptable emergency planning zone (EPZ) size for 5 groups of authorized power level, namely operations boundary (for ≤ 2 MW), 100 m (> 2 MW and ≤ 10 MW), 400 m (> 10 MW and ≤ 20 MW), 800 m (for > 20 MW and ≤ 50 MW), and will be determined on a case-by-case basis (for > 50 MW). - The existence of the emergency control room can be graded based on the reactor's potential hazards. In Indonesia, the emergency control room is provided in the RSG-GAS 15 MW reactor, but not in the Kartini Reactor 100 kW and the TRIGA 2000 2 MW Reactor. - The NUREG-0849 [15] categorizes reactors by their thermal power levels (≤ 100 W, > 100 W to < 100 kW, ≥ 100 kW to ≤ 2 MW, and > 2 MW). The emergency planning requirements are presented for each category of the reactor. For example, only reactors with a power level of > 2 MW have to: <ul style="list-style-type: none"> a. establish reliable means of communication, e.g., public telephone and radio, that are compatible with local off-site support groups; b. have the capability of the emergency organization to function around the clock for a protracted time following the initiation of an emergency.
12.	Safety classification of SSCs	The increase of the reactor power and design complexity, especially in-core experimental devices, typically requires more SSCs with high safety classes. [3]
13.	Radiation protection design	<p>The graded approach for this aspect can be implemented in:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The engineered features design (shielding, ventilation, filtration and decay systems) to keep doses ALARA. For example, the emergency filtration system for a high potential hazard research reactor can be larger and more complex than that for a low potential hazard research reactor. In a low potential hazard reactor, the number of locations which need ventilation systems and the number of SSCs with high radiation is typically fewer than those in a high potential

		<p>hazard reactor. [3]</p> <ul style="list-style-type: none"> - The design of equipment for access monitoring and control of SSCs and experimental facilities which have radiological hazards. For example, the high potential hazard reactor usually has a lot of SSCs and experimental facilities with radiological hazards, so it needs more equipment for access monitoring and control of those SSCs and experimental facilities. [3]
14.	PIE	<p>The number of PIEs for a research reactor varies depending on the reactor design characteristics and complexity as well as the site characteristics. A high potential hazard reactor has more PIEs to analyse. Consequently, the scope and detail level of the safety analysis also can be graded.</p>
15.	Optimal human (operator) performance design	<p>The examples of graded approach implementation in the human factor and ergonomic aspects are:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The audible signals and control room displays for parameters important to safety can be designed using a graded approach associated with the number of items important to safety and safety parameters that need to be monitored. The number of SSCs in the low potential hazard reactor is typically fewer than that in the high potential hazard reactor. The reactor with a complex design may have more safety parameters than that with a simple design. [3] - The development of operating procedures for human error prevention can be graded. The reactor with a complex design and high potential hazard needs a lot of procedures to minimize the potential of human error.
16.	Design basis of items important to safety	<p>In a high potential hazard research reactor which needs more ESFs and has complex experimental facilities, the design basis for items important to safety is typically more complex and needs more detail.</p>
17.	Internal and external hazards	<p>The internal and external hazards applicable to a reactor facility depend on the reactor design and the site characteristics. The scope and detail level of the safety analysis to evaluate the internal and external hazard effects can be graded commensurate with the reactor's potential hazards. [3]</p>
18.	DBA	<p>The number of DBAs depends on the number of PIEs which is corresponding to the potential hazard and the complexity degree of the facility. US NRC uses a standard maximum hypothetical accident (MHA) which is specific to the reactor design and power. There are 5 reactor categories with each MHAs [16]. For example, for plate fuel type reactors with low power levels that cannot result in fuel melt, the MHA is the stripping of cladding from a specified fraction of the fuel plates with the resulting release of fission products. For higher-powered plate reactors, the MHA is the melt of a specified fraction of the fuel plates in the core which results in a larger release of fission products.</p>
19.	Design limits	<p>The degree of conservatism included in design limits can be graded commensurate with the reactor potential hazard and the conservatism degree of the safety analysis. A low potential hazard research reactor can apply simple safety analysis and conservative design limits, whereas a high potential hazard research reactor can apply less conservative design limits and more detailed safety analysis. [3]</p>
20.	DEC	<p>The number of DECAs for a research reactor is associated with its potential hazard. The low potential hazard reactor will have a few DECAs. A subcritical assembly that has few SSCs important to safety may have no DEC.</p>
21.	ESF	<p>The need for the existence of ESFs and their number could be determined using the graded approach. A high potential hazard research reactor needs more ESFs to maintain the operational parameters within the design limits in all design basis accident conditions and the selected DECAs. For example, in a very low-power research reactor where the decay heat in the core can be safely transferred to the environment by natural convection of air, no emergency core cooling system (ECCS) is needed. The Kartini Reactor 100 kW and the TRIGA 2000 Reactor 1 MW do not require the ECCS, but the RSG-GAS 15 MW reactor requires that feature.</p>
22.	Prevention of unauthorized access to or interference with items important to safety	<p>This requirement cannot be graded. The prevention of unauthorized removal of nuclear material is the main purpose of this requirement. [3]</p>
23.	Prevention of disruptive or adverse interactions among systems important to	<p>This requirement cannot be graded. But, the implementation of this requirement, such as physical separation and functional independence, can be graded as explained above. [3]</p>

	safety	
24.	Safe utilization and modification provision	<p>Several things that can be graded associated with the safe utilization and modification provision are: [3]</p> <ul style="list-style-type: none"> - The need for performing safety analysis and establishing procedures for design construction, commissioning, and decommissioning for new utilization and modification projects; The utilization and modification projects which give a major effect on safety require the safety analysis and procedures for construction, commissioning, and decommissioning. - The need to change in the existing operating limits and conditions and the need to get approval from the regulatory body; The utilization and modification projects which cause the change of operating limits and conditions shall get approval from the regulatory body. <p>The complexity of the commissioning test that is needed to verify the acceptability of modifications; The modifications with a significant effect on safety require a formal commissioning programme.</p>
25.	Long shutdown period provision	<ul style="list-style-type: none"> - The testing, inspection, maintaining, dismantling, and disassembling of provisions during the long shutdown period can be graded. A research reactor with a greater number of SSCs important to safety requires more provisions for testing, inspection, maintaining, dismantling, and disassembling during the long shutdown period. [3] <p>The fuel storage location design for a long shutdown period can be graded based on the decay heat generated, the number of irradiated fuel elements, the fission product inventory, and the corrosion resistance of the fuel cladding. In a very low potential hazard reactor, the irradiated fuels can be stored in a simple dry storage area. Otherwise, a high potential hazard reactor may need a separate storage fuel with heat removal and purification systems. [3]</p>
26.	Design safety analysis	<p>Some aspects that can be graded are:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The scope and detail level of the safety analysis; The grading of this aspect is affected by many factors, such as the reactor's potential hazard, the number of items important to safety, the number of PIEs, the presence and number of ESFs, the use of inherent or passive safety features, the number of experiments in the core, etc. The fewer the factors involved, the more complex the safety analysis needed. [3] - The conservatism of safety analysis; The low potential hazard reactor can apply the conservative criteria in the safety analysis because it will not impact the facility design and the cost. However, the high potential hazard reactor needs less conservative safety analysis. [3] <p>The updating frequency and the detail level of safety assessment; For example, in Finland, a safety assessment for occupational, public, and medical exposure has to be revisited in a period of 2 years for category 1; 3 years for category 2; 5 years for category 3. Category 1 corresponds to the highest radiation exposure, and category 3 corresponds to the lowest radiation exposure. [17]</p>

The United States has long applied the concept of a graded approach through a risk-based regulatory framework. The application of the graded approach in the regulation of research reactors is carried out through the determination of reactor categorization. US NRC classifies non-power reactors into 2 groups, namely research reactors and test reactors. Research reactors are divided into 2 categories, namely low-power research reactors (< 2MW) and high-power research reactors (2-10 MW), while test reactors are reactors that have power > 10 MW or less than 10 MW but have certain characteristics. The technical requirements for research reactors do not follow the general design criteria for nuclear power plants in Appendix A of 10 CFR Part 50. The primary regulatory requirements for the design of research and test reactors are maintaining radiation doses of reactor workers and the public within acceptable limits during both normal operation and accident conditions [18]. This allows the flexibility for a wide variety of research and test reactor designs. By using the guidelines in NUREG-1537 for preparing applications for the licensing of non-power reactors, the applicant may apply the graded approach as long as it meets the primary regulatory requirements.

The US DOE also sets standards for the categorization of nuclear facilities based on the hazard level [19], namely Hazard Category (HC) 1, HC 2, and HC 3. The hazard categorization of the nuclear facilities allows the implementation of the graded approach in determining the level of safety analysis as guided in the DOE Standard-1228. The design criteria for research reactors also apply a graded approach [20], for example in terms of fire protection as guided in the DOE Standard-1066 and the cognitive system engineer (CSE) program.

So, by determining the categorization of nuclear facilities based on their hazards, the regulations will be more stringent with the progression from low-power research reactors to high-power research reactors to test reactors to power reactors. Guidelines for implementing the graded approach are available.

The safety regulations in Canada have used the graded approach but they do not give a detailed grading of the requirements. Most nuclear safety requirements in Canada can be implemented in a way that is commensurate with the potential hazards posed by the facility/activities [21] This means the requirements can be used for a wide range of reactor designs without compromising safety. The applicants can propose a proposal on how they will meet the requirements in a risk-informed manner.

The implementation of the graded approach in the research reactor safety design requirements in Canada is similar to that in Indonesia. The regulations implement the graded approach in a general way. In the USA, the safety design requirements for research reactors are graded in a little bit more detail through the categorization of reactor facilities and the development of guidelines. It can be concluded that the implementation of the graded approach in the safety design requirements for research reactors may be performed in a general way, not in a too detailed way. But, guidance to implement the requirements using the graded approach should be provided. Therefore, it is recommended for BAPETEN to elaborate its safety design requirements and other related requirements to implement the graded approach in more detail and/or to develop guidance on how to meet the requirements using the graded approach. The readiness of the regulatory infrastructure for nuclear reactors contributes not only to the safety aspect but also to human and environmental health.

CONCLUSION

The graded approach can be applied to the safety design requirements for research reactors through 4 steps. The examples of the grading in the general design requirements of research reactors discussed in this paper show that most of the requirements can be graded. The graded approach implementation of the safety design requirements for research reactors may be performed in a general way, not in a too detailed way, but guidance to help the applicant/licensee in implementing the requirements using the graded approach should be provided. Since most of the BAPETEN Regulations have not yet described the grading of the research reactor safety design requirements in detail, it is recommended for BAPETEN to elaborate its safety design requirements and other related requirements to implement the graded approach in more detail and/or to develop guidance on how to meet the requirements using the graded approach.

REFERENCES

- [1] IAEA, IAEA Safety Standards Series No. SF-1: Fundamental Safety Principles (IAEA, Vienna, 2006).
- [2] IAEA, IAEA Safety Standards Series No. SSR-3: Safety of Research Reactors (IAEA, Vienna, 2016).
- [3] IAEA, Draft Specific Safety Guide DS511: Use of a Graded Approach in the Application of the Safety Requirements for Research Reactors (IAEA, Vienna, 2020).
- [4] IAEA, IAEA Safety Standards Series No.SSG-22: Use of a Graded Approach in the Application of the Safety Requirements for Research Reactors (IAEA, Vienna, 2012).
- [5] <https://www.ecfr.gov/current/title-10/chapter-III>, 10 CFR Chapter 3 Part 830, up to date as of 7/28/2022.
- [6] BAPETEN, BAPETEN Regulation Number 1 Year 2011 on the Safety Design Requirements for Non-Power Reactors (BAPETEN, Jakarta, 2011).
- [7] BAPETEN, BAPETEN Regulation Number 1 Year 2010 on the Nuclear Emergency Preparedness and Response (BAPETEN, Jakarta, 2010).
- [8] BAPETEN, BAPETEN Regulation Number 5 Year 2012 on the Safety of Utilization and Modification for Non-Power Reactors (BAPETEN, Jakarta, 2012).
- [9] BAPETEN, BAPETEN Regulation Number 8 Year 2008 on the Safety Requirements of Ageing Management for Non-Power Reactors (BAPETEN, Jakarta, 2008).
- [10] BAPETEN, BAPETEN Regulation Number 9 Year 2013 on the Operational Limits and Conditions of Non-Power Reactors (BAPETEN, Jakarta, 2013).
- [11] BAPETEN, BAPETEN Regulation Number 2 Year 2015 on the Safety Verification and Assessment of Non-Power Reactors (BAPETEN, Jakarta, 2015).
- [12] BAPETEN, BAPETEN Regulation Number 5 Year 2011 on the Requirements of Maintenances for Non-Power Reactors (BAPETEN, Jakarta, 2011).
- [13] G. G. Preckshot, NUREG/CR-6303: Method for Performing Diversity and Defense-in-Depth Analyses of Reactor Protection Systems (US NRC, Washington, 1994).
- [14] K.L. Banovac et.al., NUREG-1757 Vol. 1 Rev. 2: Consolidated Decommissioning Guidance, Decommissioning Process for Materials Licensees (US NRC, Washington, 2006).
- [15] -, NUREG-0849: Standard Review Plan for the Review and Evaluation of Emergency Plans for Research and Test Reactors (US NRC, Washington, 1983).
- [16] Office of Nuclear Reactor Regulation, NUREG-1537 Part 2: Guidelines for Preparing and Reviewing Applications for the Licensing of Non-Power Reactors, Standard Review Plan and Acceptance Criteria (US NRC, Washington, 1996).
- [17] R. Bly, "Application of the Concept of Graded Approach in Core Regulatory Functions – Finnish, 2015.
- [18] A. Adams, Jr., "The Application of a Graded Approach in the Regulation of Research and Test Reactors at the U.S. Nuclear Regulatory Commission".

- [19] US DOE, DOE-STD-1027-2018: DOE Standard, Hazard Categorization of DOE Nuclear Facilities (US DOE, Washington, 2018).
- [20] US DOE, Order DOE O 420.1C: Facility Safety (US DOE, Washington, 2012).
- [21] M. de Vos, "Use of the Graded Approach in Regulation", Presentation, 2014.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



IMPLEMENTASI ANALISIS JABATAN DI BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

Rizky Dimas Satria Mutter^{1, a)}, Ratna Sari S.^{1, b)}, Adinda Ayu Mahardhika^{1, c)},
Dwi Lailatul Fitri^{1, d)}

¹Badan Pengawas Tenaga Nuklir

Jl. Gajah Mada No.8, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, Indonesia 10120

a) Corresponding author : r.satriamutter@bapeten.go.id

b) r.ratnasari@bapeten.go.id

c) a.dinda@bapeten.go.id

d) d.lailatulfitri@bapeten.go.id

Abstrak. Menurut Undang-Undang Nomor 5 Tahun 2014 tentang Aparatur Sipil Negara, setiap instansi pemerintah wajib menyusun kebutuhan formasi PNS yang didasari analisis jabatan dan analisis beban kerja. Hal ini sejalan dengan persyaratan 18 GSR Part 1. *Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety* dimana badan pengawas harus mempekerjakan staf yang berkualifikasi dan kompeten dalam jumlah yang cukup, sepadan dengan sifat dan jumlah fasilitas dan kegiatan yang akan diatur, untuk menjalankan fungsinya dan untuk melaksanakan tanggung jawabnya. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji implementasi analisis jabatan yang semestinya dilaksanakan dalam kaitannya untuk perencanaan pegawai di Bapeten agar mutasi dan promosi pegawai lebih terstruktur sehingga dapat meningkatkan kinerja pegawai BAPETEN. Kajian ini dilakukan melalui tahapan kegiatan pengumpulan dan penelaahan literatur serta analisis. Dasar penyusunan analisis jabatan adalah Peraturan Kepala BKN Nomor 12 Tahun 2011 tentang pedoman pelaksanaan analisis jabatan. Dari hasil kajian dapat disimpulkan bahwa penerapan analisis jabatan di Bapeten dapat diperbaiki. Hal ini di antaranya disebabkan masih belum adanya kekuatan hukum yang dapat menjadi landasan tentang pentingnya penerapan analisis jabatan dalam perencanaan SDM.

PENDAHULUAN

Manajemen Sumber Daya Manusia (SDM) merupakan hal penting dalam pengelolaan pegawai dalam mencapai misi organisasi dan memperkuat budaya kerja di suatu organisasi, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) memiliki kurang lebih 450 (empat ratus lima puluh) pegawai. Oleh karena itu, perencanaan SDM perlu mengikuti Standar yang telah diakui secara global. Di antara sumber daya yang perlu dikelola adalah SDM. Salah satu standar yang dapat digunakan untuk mengelola SDM adalah *General Safety Guide (GSG) 12 Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety* yang diterbitkan oleh *International Atomic Energy Agency (IAEA)* [1]. Standar tersebut menjelaskan bahwa badan pengawas harus memiliki kompetensi dan jumlah pegawai yang cukup untuk melaksanakan tugasnya. Berdasarkan pedoman tersebut BAPETEN perlu memahami kebutuhan kompetensi dan jumlah pegawainya secara akurat. Kebutuhan dan kompetensi pegawai biasanya dituangkan di dalam profil jabatan atau disebut analisis jabatan. Analisis jabatan berfungsi untuk melaksanakan perencanaan dan pengembangan SDM pada setiap jabatan. Perencanaan pegawai meliputi penerimaan, mutasi, promosi hingga pensiun. Perencanaan SDM yang baik dapat menghasilkan pegawai yang tepat di tempat yang tepat. Nashar (2014) dengan hasil penelitiannya yang menyatakan bahwa penempatan pegawai berdasarkan minat dapat mempengaruhi kinerja seseorang [2]. Dengan demikian, penerapan analisis jabatan akan berpengaruh pada meningkatnya kinerja pegawai di suatu instansi (Yurniati, 2016) [3]. Pengelolaan SDM yang tidak dilandasi oleh analisis jabatan memiliki resiko adanya penurunan motivasi dan membuat pegawai menjadi kontraproduktif. Penelitian terkait analisis jabatan sudah banyak dilakukan baik di lingkungan pemerintahan maupun non-pemerintahan. Hal ini menunjukkan pentingnya analisis jabatan diterapkan pada setiap instansi. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Laksmi Sito Dwi Irvianti dan Julius Adi (2010) di perusahaan PD Karunia Jaya yang menyatakan bahwa analisis jabatan memiliki pengaruh yang kuat dengan perencanaan SDM di perusahaan tersebut [4]. Hal ini diperkuat oleh Shinta Tanumihardjo, Abdul Hakim, dan Irwan Noor (2013) di Sekretariat Daerah Pemerintah Kabupaten Malang yang

menjabarkan bahwa analisis jabatan memiliki peranan yang sangat penting dalam meningkatkan kinerja pegawai di lembaga tersebut [5]. Ditambah penelitian yang dilaksanakan oleh Nashar (2014) menyebutkan kesesuaian pendidikan, keterampilan, serta pengalaman kerja memberikan pengaruh yang amat besar terhadap kinerja [2]. Penelitian lain juga dilakukan oleh Yurniati (2016) yang memaparkan bahwa analisis pekerjaan memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja karyawan di (BAPPEDA) Kabupaten Morowali [3]. Di BAPETEN belum adanya kajian terkait implementasi analisis jabatan sehingga penyusun memilih topik tersebut. Hasil penilaian nasional oleh BKN terkait Norma Standar Prosedur dan Kriteria, BAPETEN mendapatkan penghargaan peringkat-1 kategori penilaian kompetensi, peringkat-3 implementasi penilaian kinerja, dan peringkat-3 komitmen pengawasan dan pengendalian, namun pada kategori Perencanaan kebutuhan, pelayanan pengadaan, kepengangkatan dan pensiun belum bisa mendapatkan hasil terbaik [6]. Selain itu, Penilaian Sistem Merit yang dilaksanakan oleh KASN pada tahun 2021 khususnya penilaian pada aspek Perencanaan Kebutuhan. BAPETEN mendapatkan nilai 35 dari nilai maksimal 40 [7]. Pada aspek tersebut adalah indikator penilaian terkait analisis jabatan dan analisis beban kerja yang telah dilaksanakan oleh BAPETEN. Hal ini mencerminkan implementasi yang masih bisa ditingkatkan lagi sehingga dalam pelaksanaannya kegiatan kepegawaian lain seperti mutasi dan promosi dapat dilaksanakan dengan memanfaatkan dokumen analisis jabatan.

Dalam pidato pelantikannya, Presiden Republik Indonesia Joko Widodo menyatakan bahwa pembangunan SDM menjadi salah satu dari 5 visi utama pemerintahannya selama periode 2019-2024. Tentunya, setiap instansi pemerintah termasuk BAPETEN wajib memastikan pegawainya unggul demi mewujudkan Indonesia maju 2045. Langkah awal yang dapat dilaksanakan BAPETEN adalah mengoptimasi analisis jabatan untuk penempatan pegawai agar lebih terstruktur. Makalah ini bermaksud untuk mengkaji implementasi analisis jabatan yang semestinya dilaksanakan dalam kaitannya untuk perencanaan pegawai di BAPETEN agar mutasi dan promosi pegawai lebih terstruktur sehingga dapat meningkatkan kinerja pegawai BAPETEN. Hal ini dikarenakan pegawai tersebut bekerja sesuai dengan minatnya. Maka kajian ini dirasa penting untuk dilakukan. Kajian ini dilaksanakan melalui tahapan kegiatan pengumpulan dan penelaahan literatur serta analisis. Data primer yang digunakan sebagai acuan adalah analisis jabatan yang telah ditetapkan oleh BAPETEN pada tahun 2020 sesuai dengan SK 0913/K/IV/2020 tentang Analisis Jabatan dan Peta Jabatan di Lingkungan Badan Pengawas Tenaga Nuklir sedangkan data sekundernya adalah Peraturan Kepala BKN Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pedoman Pelaksanaan Analisis Jabatan, dan peraturan – peraturan terkait dan standar IAEA *GSR part 1 Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety* dan *GSG 12 Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety* dan beberapa publikasi ilmiah.

LANDASAN TEORI

Aparatur Sipil Negara (ASN) adalah aparatur yang bekerja pada instansi pemerintah, baik itu instansi pusat maupun instansi daerah yang diangkat sebagai pegawai tetap (PNS) dan/atau yang diangkat sebagai pegawai dengan perjanjian kerja (PPPK). Sesuai dengan Undang – Undang ASN Nomor 5 Tahun 2014, Badan Kepegawaian Negara (BKN) adalah lembaga pemerintah non kementerian yang diberikan kewenangan melakukan pengawasan dan pengendalian pelaksanaan norma, standar, prosedur, kriteria manajemen ASN, melakukan pembinaan serta penyelenggaraan manajemen ASN secara nasional [8]. Adapun manajemen ASN sendiri meliputi kegiatan perencanaan SDM untuk menjamin penyelenggaraan tugas pemerintahan dan pembangunan secara berdayaguna dan berhasil guna. Maka acuan yang digunakan untuk tulisan ini adalah Peraturan Kepala BKN Nomor 12 Tahun 2011 untuk melaksanakan analisis jabatan.

Berdasarkan Peraturan Kepala BKN Nomor 12 Tahun 2011, analisis jabatan adalah proses pengumpulan data jabatan untuk dianalisis, disusun dan disajikan menjadi informasi jabatan dengan penggunaan metode tertentu [9]. Penyusunan analisis jabatan memiliki dua tahapan, yaitu membuat Informasi Jabatan dan perhitungan analisis beban kerja. Informasi Jabatan menggambarkan profil pegawai untuk menduduki suatu jabatan sedangkan Analisis Beban Kerja merupakan gambaran perkiraan kebutuhan pegawai dalam sebuah jabatan dalam rencana waktu lima tahun yang berdasar pada rencana kerja setiap organisasi sehingga Analisis Beban Kerja merupakan hasil dari penyusunan Informasi Jabatan.

Penyusunan analisis jabatan di BAPETEN berawal dari penunjukkan wakil dari setiap unit kerja yang dirasa mampu untuk menjabarkan uraian tugas setiap jabatan di unit kerja tersebut. Wakil tersebut akan memaparkan uraian tugas hasil diskusi bersama dengan seluruh pegawai yang menduduki suatu jabatan tertentu di unit kerjanya. Analisis jabatan yang telah tersusun kemudian divalidasi oleh tim penyusun analisis jabatan (TPAJ) dengan sistem acu silang. Pembentukan TPAJ merupakan salah satu prosedur untuk menyusun analisis jabatan TPAJ bertugas memastikan kualitas analisis jabatan yang telah disusun di unit kerjanya agar dapat digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan perencanaan SDM.

Kebutuhan pegawai setiap unit kerja menjadi dasar pelaksanaan perencanaan SDM. Sesuai dengan Pasal 56 Undang-Undang ASN, setiap instansi pemerintah harus menyusun kebutuhan jabatan berdasarkan analisis jabatan dan analisis beban kerja dalam rangka menyusun formasi PNS. Analisis Beban Kerja ini selanjutnya dijadikan dasar suatu instansi dalam melaksanakan promosi, rotasi, maupun mutasi. Berdasarkan *GSG 12 Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety*, perpindahan pegawai merupakan salah satu jalan untuk menyediakan pegawai yang kompeten di badan pengawas untuk melaksanakan tugas pengawasan sesuai dengan Standar IAEA [1]. Pada Pasal 190 ayat (3) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia

Nomor 11 Tahun 2017 tentang Manajemen Pegawai Negeri Sipil mengamanahkan kepada Instansi pemerintah untuk melaksanakan mutasi di lingkungan organisasinya paling singkat dua tahun dan paling lama lima tahun [10]. Oleh karena itu setiap instansi diharapkan telah memiliki perencanaan SDM hingga lima tahun mendatang sesuai dengan analisis jabatan yang telah disusun.

Kegiatan perencanaan SDM merupakan salah satu implementasi dari Undang-Undang Manajemen ASN Nomor 5 Tahun 2014 yang bertujuan untuk menghasilkan Aparatur Negara yang profesional, beretika, memiliki nilai dasar, bersih dari praktik korupsi, kolusi, dan nepotisme. Hal ini sejalan dengan GSG 12 *Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety* yang menyatakan badan pengawas harus memiliki kompetensi yang cukup sehingga dapat melaksanakan kemandirian dalam pengambilan keputusan [1].

Berdasarkan GSR part 1 *Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety*, selain kemandirian, badan pengawas juga perlu memastikan bahwa pegawainya memiliki kompetensi yang cukup [11]. Cara yang dapat dilakukan untuk memastikan kompetensi badan pengawas adalah memberikan pelatihan terkait pengawasan ketenaganukliran kepada pegawai baru serta hanya melakukan penerimaan pegawai jika kualifikasi pendidikannya sesuai dengan tugas dan fungsi badan pengawas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Lampiran Peraturan Kepala BKN Nomor 12 Tahun 2011 tentang pedoman pelaksanaan analisis jabatan, dokumen akhir pelaksanaan analisis jabatan dan analisis beban kerja adalah dokumen informasi jabatan yang terdiri dari beberapa poin [9].

Identitas Jabatan

Poin yang pertama adalah identitas jabatan. Identitas jabatan terdiri dari nama jabatan, kode jabatan, letak jabatan, dan ikhtisar jabatan. Nama Jabatan adalah sebutan untuk mendeskripsikan ciri dan gambaran atas suatu jabatan, yang berupa sekelompok tugas yang melembaga atau menyatu dalam satu wadah jabatan. Kode Jabatan adalah kode yang merepresentasikan suatu jabatan, yang dirancang dengan tujuan mempermudah inventarisir jabatan. Letak jabatan merupakan posisi jabatan pada sebuah instansi. Sedangkan Ikhtisar Jabatan atau ringkasan tugas adalah ringkasan dari sekumpulan tugas yang dilaksanakan, yang tersusun dalam kalimat penjelasan yang mencerminkan pokok-pokok dari tugas jabatan. Pada poin yang pertama implementasi di BAPETEN telah disusun berdasarkan ketentuan yang berlaku yang ditetapkan pada Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No.0913/K/IV/2020 tentang Analisis Jabatan di Lingkungan BAPETEN [12]. Sebagai contoh, jabatan fungsional pengawas radiasi ahli pertama yang berkedudukan di beberapa unit kerja. Pegawai yang menduduki jabatan tersebut dapat mengetahui nama jabatan, gambaran umum pekerjaan dan bagian yang akan bekerja sama dengannya. Nama jabatan digunakan untuk memudahkan pemangku jabatan menggali informasi terkait informasi jabatannya karena nama tersebut telah diakui secara nasional. Sedangkan ikhtisar jabatan yang disusun untuk jabatan di atas telah disesuaikan dengan organisasi tata kerjanya sehingga dalam suatu jenis jabatan yang sama namun berbeda struktur organisasi-nya akan berbeda pula informasi jabatan yang dihasilkan.

Uraian Tugas

Poin yang kedua adalah uraian tugas yang menjelaskan detail pekerjaan yang dilakukan meliputi tahapan dan tujuan melaksanakan setiap pekerjaan. Sebagai contoh, jabatan fungsional pengawas radiasi ahli pertama di beberapa unit kerja telah menuliskan uraian tugas secara detail dan lengkap, contohnya adalah menyiapkan dokumen inspeksi sebagai bahan awal pelaksanaan kegiatan inspeksi dengan menyebutkan tahap-tahap pelaksanaan seperti mengidentifikasi daftar inspeksi, mencetak dan menghimpun dokumen yang akan diinspeksi dan mengumpulkan dokumen-dokumen yang diperlukan. sehingga pegawai baru yang menduduki jabatan tersebut dapat dimudahkan untuk mengetahui tahapan yang harus dilakukan dan diselesaikan sehingga dapat beradaptasi dengan cepat dan memberikan kinerja sesuai dengan standar.

Bahan dan Perangkat Kerja

Poin yang ketiga dan ke empat adalah bahan dan perangkat kerja. kedua poin ini menjelaskan bahan dan alat apa saja yang digunakan dalam melaksanakan dan menyelesaikan setiap uraian tugas suatu jabatan. dalam analisis jabatan fungsional pengawas radiasi di beberapa unit kerja sudah menjelaskan bahan dan perangkat yang dibutuhkan dalam melaksanakan sebuah pekerjaan. Alat dan bahan tersebut perlu mampu terap dan sesuai dengan standar contohnya adalah dalam penyiapan dokumen bahan kerja seorang pegawai menyiapkan daftar instansi atau fasilitas dengan perangkat kerja/alat kerja yaitu prosedur penyusunan data, instruksi kerja dalam melaksanakan suatu pekerjaan dan sistem aplikasi yang memudahkan pekerjaan pegawai tersebut.

Hasil Kerja

Poin kelima adalah hasil kerja dari setiap uraian tugas yang dilaksanakan per-tahun dan durasi pengerjaan setiap kegiatan. Hasil Kerja adalah produk yang harus dicapai oleh pemangku jabatan dengan target waktu dan dalam jumlah tertentu. Hasil kerja yang tertuang pada analisis jabatan fungsional pengawas radiasi di beberapa

unit kerja BAPETEN telah disusun berjenjang di setiap jabatan sesuai dengan pedoman penyusunan. Sebagai contoh seorang pegawai dalam melaksanakan tugas menghasilkan dokumen output seperti Dokumen Pelaksanaan Tugas, Notulensi, Laporan Tugas Kedinasan, dll.

Tanggung Jawab dan Wewenang

Poin keenam dan tujuh merupakan tanggung jawab dan wewenang suatu jabatan dalam melaksanakan tugas dan fungsinya. Hal ini dimaksudkan agar setiap pemangku jabatan mengerti hak dan kewajiban yang perlu di kerjakan ketika menduduki jabatan tersebut. Tanggung jawab dan wewenang yang tertuang dalam informasi jabatan fungsional pengawas radiasi di beberapa unit kerja telah disusun secara jelas sehingga dapat terlihat perbedaan tugas dengan jabatan lainnya. Sebagai contoh, suatu jabatan bertanggung jawab untuk menjamin kesesuaian rencana dan kegiatan unit kerja tertentu dengan rencana strategis unit kerja tersebut sehingga jabatan tersebut memiliki wewenang untuk menggunakan fasilitas pendukung seperti data dan informasi terkait pelaksanaan tugas.

Korelasi Jabatan

Poin kedelapan adalah korelasi jabatan. Pada poin ini menggambarkan keterkaitan antar jabatan. Sehingga pegawai yang menduduki jabatan tersebut memahami bagian, unit atau instansi yang akan bekerja sama, berkoordinasi dan memberikan instruksi kepada jabatan tersebut. Poin ini bertujuan agar pegawai yang baru menduduki jabatan tersebut tidak buta arah ketika menjalankan tugas dan fungsinya. Sebagai contoh, jabatan fungsional pengawas radiasi ahli pertama memiliki korelasi jabatan dengan atasan langsung dan sesama fungsional di unit kerja tersebut maupun dengan pihak eksternal dalam melaksanakan tugasnya. Oleh karena itu, pengawas radiasi ahli pertama di setiap unit kerja perlu memiliki surat tugas jika ingin berkoordinasi dengan sesama jabatan fungsional yang berada di unit kerja yang berbeda.

Kondisi Lingkungan Kerja

Poin ke Sembilan adalah kondisi lingkungan kerja yang harus dipenuhi untuk setiap jabatan. Setiap pekerjaan memiliki karakteristik yang berbeda – beda sehingga lingkungannya pun berbeda. Dalam penelitian yang dilaksanakan oleh Nyoman Doddy Widhiastana, Made Wardana, I Gede Adnyana Sudibya (2017) di Universitas Pendidikan Ganesha menyatakan bahwa lingkungan kerja memiliki pengaruh yang positif dan signifikan terhadap kinerja dan kreativitas pegawai [13]. Dari penjelasan di atas dokumen analisis jabatan di BAPETEN telah disusun sedemikian rupa agar setiap pegawai dapat bekerja di lingkungan sesuai dengan karakteristik pekerjaannya dengan harapan kinerja yang dihasilkan oleh pemangku jabatan optimal seperti tempat kerja yang berada di dalam dan luar ruangan, suara yang berisik, keadaan tempat kerja yang berinteraksi dengan kertas dan peralatan, dll.

Resiko Bahaya

Poin kesepuluh adalah resiko bahaya terhadap pekerjaan yang dilakukan oleh suatu jabatan. Pada poin ini digunakan manajemen untuk meminimalisir dampak yang diterima oleh pemangku jabatan. Tindakan preventif yang dapat dilakukan terkait hal ini adalah memberikan jaminan kesehatan dan pemeriksaan kesehatan secara rutin. Hal ini sejalan dengan kemungkinan resiko yang mungkin diterima oleh pengawas radiasi yang melaksanakan tugasnya dalam mengawasi objek pengawasan ketenaganukliran, sehingga dalam melaksanakan tugasnya pemangku jabatan dapat berhati-hati dan terhindar dari resiko bahaya. Sebagai contoh, suatu jabatan memiliki resiko bahaya kecelakaan kerja dalam melaksanakan suatu tugas yang menimbulkan bahaya fisik tertentu.

Syarat Jabatan

Poin kesebelas adalah syarat jabatan. Syarat jabatan mencakup pangkat/ golongan ruang, kualifikasi pendidikan yang spesifik sesuai pekerjaan, pelatihan yang perlu diikuti ketika menduduki jabatan tersebut. Pelatihan disini meliputi pelatihan teknis seperti pelatihan proteksi keselamatan radiasi dan pelatihan non teknis seperti pelatihan administrasi dan tata kelola perkantoran. Di dalam syarat jabatan juga mencakup pengalaman, pengetahuan, dan keterampilan kerja minimal yang wajib dimiliki oleh pegawai yang akan menduduki jabatan tersebut seperti pengalaman 1 (satu) tahun dalam bidang ketenaganukliran, pengetahuan dalam mengoperasikan suatu aplikasi, dan keterampilan dalam menyiapkan dan mengelola peralatan komputer atau peralatan pengawasan ketenaganukliran. Selain itu syarat jabatan juga menjabarkan bakat, tempramen dan minat pekerja yang menjelaskan kondisi psikologi pegawai yang sesuai dengan pekerjaan yang akan dilakukan seperti bakat ketelitian, temperamen yang selalu menghadapi pekerjaan yang rutin, dan minta kerja dalam melaksanakan kegiatan yang bersifat ilmiah dan Teknik. Terdapat juga upaya dan kondisi fisik di dalam syarat jabatan. Dua hal tersebut merupakan kondisi fisik yang dibutuhkan untuk menunjang pelaksanaan kegiatan, seperti tinggi badan, jenis kelamin, berat badan dan respon – respon fisik yang perlu dilakukan ketika melaksanakan pekerjaannya. Contohnya untuk Inspektur, berdasarkan Pasal 9 huruf b Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 1 tahun

2017 tentang pelaksanaan inspeksi dalam pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir bahwa syarat menjadi inspektur adalah cakap jasmani dan rohani yang dibuktikan dengan surat keterangan dokter [14]. Poin terakhir di syarat jabatan adalah fungsi pekerja. Poin ini dibuat berjenjang dalam suatu kelompok jabatan hubungannya adalah dengan suatu data, orang, dan benda dalam pekerjaannya seorang pegawai berfungsi untuk menganalisis suatu data, menyelia orang, dan mengerjakan suatu pekerjaan dengan alat dengan standar toleransi yang kecil atau presisi.

Hal ini dimaksudkan untuk memberikan kejelasan tugas dari setiap jenjang. Dengan poin -poin tersebut, BAPETEN telah menyusun deskripsi jabatan yang sesuai dengan karakteristik setiap jabatan, sehingga analisis jabatan dapat memberikan kontribusi bagi peningkatan produktivitas pegawai dengan menjaga standar kualifikasi dan kemampuan yang perlu dimiliki dalam menduduki suatu jabatan agar menghasilkan kinerja yang optimal. Saat ini BAPETEN sudah 45% memiliki Pendidikan S1, 32% memiliki Pendidikan S2, 9% memiliki Pendidikan D-III, 8% memiliki Pendidikan SLTA, 4% memiliki Pendidikan D-IV dan 2% memiliki Pendidikan S3. Hal ini dapat digambarkan dari kualifikasi Pendidikan pegawai BAPETEN seperti grafik dibawah ini

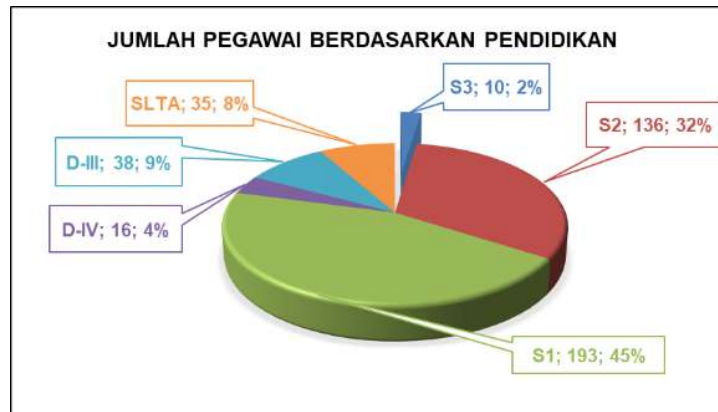


FIGURE 3. Jumlah Pegawai berdasarkan Pendidikan

Salah satu poin terpenting di dalam Informasi Jabatan adalah uraian tugas. Uraian tugas bertujuan untuk menyamakan pandangan terhadap jenis pekerjaan yang akan dilakukan. Hal ini dilakukan untuk menghindari konflik suatu jabatan dengan jabatan lainnya Dalam pelaksanaan tugas dan fungsi suatu jabatan di BAPETEN memungkinkan pekerjaan yang sama dilakukan meskipun mereka berada dalam bidang yang berbeda. Hal ini dapat memicu kesalahpahaman ataupun terjadinya konflik dalam hal pertanggungjawaban atas pekerjaan. Berdasarkan Pasal 1 Perka BAPETEN Nomor 10 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Balai Pendidikan Dan Pelatihan (BDL) BAPETEN menjelaskan bahwa BDL adalah Unit Pelaksana Teknis di bidang pendidikan dan pelatihan yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Kepala BAPETEN [15]. Namun pada praktiknya terdapat pelatihan – pelatihan yang diselenggarakan oleh unit kerja selain BDL. Hal ini disebabkan karena kurangnya SDM maupun sarana dan prasana yang dapat menunjang terlaksananya pelatihan-pelatihan untuk menghasilkan kinerja organisasi yang baik maka perlunya pemahaman terkait analisis jabatan dan analisis beban kerja yang menjadi dasar kebutuhan SDM dalam mendukung tugas dan fungsi organisasi agar proses organisasi berjalan dengan optimal dan efisien. Uraian tugas juga berfungsi sebagai suatu pedoman bagi pegawai yang menduduki jabatan baru, pada saat pegawai baru menduduki jabatan tersebut dalam upaya mengetahui pekerjaan yang dilakukan dapat melihat analisis jabatan sehingga akan tergambar seluruh proses kegiatan yang dilaksanakan dan perlu dikuasai serta dipahami oleh pegawai baru tersebut sehingga proses adaptasi pegawai akan berjalan dengan efisien dan tidak mengganggu pekerjaan pegawai lainnya.

Setelah menyusun Informasi Jabatan sesuai keadaan yang sebenarnya akan menghasilkan Analisis Beban Kerja yang sesuai dengan kebutuhan setiap unit kerja. Analisis Beban Kerja digunakan sebagai dasar menempatkan pegawai sesuai dengan beban kerja yang ada dengan tujuan optimalisasi beban kerja suatu unit sesuai dengan keluaran atau capaiannya. Analisis jabatan dan analisis beban kerja yang merupakan proses penyusunan dokumen informasi jabatan yang dijadikan dasar oleh BAPETEN untuk melaksanakan pelatihan. Pelatihan merupakan tanggung jawab badan pengawas untuk memastikan pegawainya memiliki kompetensi yang cukup. Seiring berjalannya waktu kompetensi yang diinginkan suatu jabatan akan meningkat. Pegawai yang telah menduduki jabatan tertentu namun belum memiliki kompetensi yang dibutuhkan wajib mengikuti pelatihan. Analisis jabatan juga berguna mensortir pegawai yang hendak mengajukan tugas belajar. Jika dirasa rumpun ilmu yang akan diperdalam kurang sesuai dengan tugas jabatan maka sebaiknya dipertimbangkan untuk mengambil rumpun ilmu yang sesuai dengan kualifikasi dan persyaratan yang diperlukan dalam suatu jabatan.

Kurangnya komitmen dalam penerapan analisis jabatan dan analisis beban kerja di BAPETEN di antaranya dapat disebabkan karena masih belum adanya Peraturan Badan mengenai Impelementasi dan Penggunaan Dokumen Informasi Jabatan dalam perencanaan SDM. Regulasi mengenai analisis jabatan dan Analisis Beban Kerja sendiri telah diterapkan pada berbagai instansi pemerintah, contohnya di Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional, Kementerian Keuangan Republik Indonesia, dan Kementerian Hukum Dan Hak Asasi Manusia.

KESIMPULAN

BAPETEN telah menyusun dan menetapkan Analisis Jabatan yang dituangkan dalam Surat Keputusan Kepala BAPETEN No. 0913/K/IV/2020 sesuai dengan kebutuhan instansi dan ketentuan yang berlaku namun penerapan analisis jabatan belum optimal berdasarkan ketersediaan dokumen analisis jabatan yang masih di angka 61,85% (214 dokumen analisis jabatan dari total keseluruhan 346) selain itu saat ini telah ditetapkan pedoman terkait Analisis jabatan dan Analisis Beban Kerja terbaru yaitu Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur No.1 Tahun 2020. Hal ini sangat disayangkan karena analisis jabatan memiliki banyak manfaat yang dapat digunakan dalam mengelola kualitas SDM di BAPETEN. Analisis jabatan dapat digunakan dalam melaksanakan perencanaan pegawai. Perencanaan pegawai tersebut meliputi mutasi dan promosi. Pegawai yang akan dimutasi dan dipromosikan ke suatu jabatan harus berdasarkan analisis jabatan yang telah disusun. Mutasi dan promosi tersebut harus disesuaikan dengan kualifikasi pendidikan dan pelatihan yang telah diikuti setiap pegawai. Pendidikan dan pelatihan yang diikuti oleh pegawai menggambarkan kompetensi yang dimilikinya dengan harapan terpenuhinya kesesuaian antara kompetensi dengan minat untuk menghasilkan produktivitas yang tinggi. Selain itu dalam melakukan perencanaan pengembangan SDM juga bisa memanfaatkan Analisis jabatan sebagai dasar profil suatu jabatan perlu memenuhi suatu kriteria tersebut, bila terjadi kesenjangan antara profil pegawai dengan standar Analisis jabatan maka perlu disusunlah data pengembangan kompetensi dan pendidikan suatu jabatan. Oleh karena itu implementasi analisis jabatan yang optimal dapat meminimalisir pegawai yang kurang produktif di suatu unit kerja dan menghasilkan pegawai yang memiliki produktivitas dan kinerja baik. Ketika pegawai BAPETEN memiliki produktivitas kerja yang bagus, maka kinerja pengawasan akan semakin baik sehingga dapat mewujudkan keselamatan dan keamanan ketenaganukliran. Hal ini sejalan dengan tujuan pengawasan BAPETEN yang tercantum dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran yang menjelaskan bahwa pengawasan meliputi terjaminnya keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup [16]. Untuk meningkatkan kegiatan pengawasan di BAPETEN maka implementasi analisis jabatan perlu ditingkatkan. Rekomendasi dari penulis adalah dengan cara membuat peraturan terkait pemanfaatan analisis jabatan di BAPETEN untuk menjadi dasar peraturan dalam pelaksanaan analisis jabatan, mengevaluasi dan memperbaharui dokumen analisis jabatan yang sudah ada berdasarkan peraturan terbaru, dan meningkatkan komitmen pimpinan terkait pemanfaatan analisis jabatan.

REFERENSI

- [1] IAEA. (2018). GSG-12 Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety. Vienna.
- [2] Nashar (2014). Pengaruh Kebijakan Penempatan Pegawai Terhadap Kinerja Pegawai Pada Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri (STAIN) Pamekasan. Nuansa, 445-462
- [3] Yurniati. (2016). Pengaruh Analisis Jabatan, Struktur Organisasi dan Kompetensi Terhadap Kinerja Pegawai pada Badan Perencanaan Penelitian dan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Morowali. Garuda, 109-117.
- [4] Irvianti, L. S., dan Adi, J. (2010). Pengaruh Analisis Jabatan dan Perencanaan Sumber Daya Manusia terhadap Rekrutmen Karyawan. The Winners, 11(1), 1-11.
- [5] Tanumihardjo, S., Hakim, A., dan Noor, I. (2013). Pengaruh Analisis Jabatan Terhadap Kinerja Pegawai (Studi Pada Sekretariat Daerah Pemerintah Kabupaten Malang). Jurnal Administrasi Publik, 1(6), 1114-1122.
- [6] Badan Kepegawaian Negara. (2021). Siaran Pers Nomor: 021/RILIS/BKN/VII/2021 tentang BKN Award. Jakarta
- [7] Komisi Aparatur Sipil Nasional. (2021). Keputusan Kepala KASN No. 25/KEP.KASN/C/VII/2021 tentang Penetapan Hasil Penilaian Sistem Merit Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Jakarta
- [8] Republik Indonesia. (2014). Undang-undang Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Manajemen Aparatur Sipil Negara. Jakarta
- [9] Badan Kepegawaian Negara. (2011). Peraturan kepala nomor 12 tentang Pedoman Pelaksanaan Analisis Jabatan. Jakarta
- [10] Republik Indonesia. (2017). Peraturan Pemerintah Nomor 11 tahun tentang Manajemen Pegawai Negeri Sipil. Jakarta
- [11] IAEA. (2010). GSR part 1 Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety. Vienna
- [12] Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2020) Keputusan Kepala BAPETEN No. 0913/K/IV/2020 tentang Analisis Jabatan dan Peta Jabatan di Lingkungan Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Jakarta
- [13] Widhiastana, N. D., Wardana, M., & Sudibya, I. G. (2017). Pengaruh Lingkungan Kerja Dan Penghargaan Terhadap Kreativitas Dan Kinerja Pegawai Di Universitas Pendidikan Ganesha. Garuda, 223-253.
- [14] Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2017). Peraturan Kepala Bapeten Nomor 1 Tentang Pelaksanaan Inspeksi Dalam Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Jakarta.

- [15] Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2020). Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 10 Tentang Organisasi Dan Tata Kerja Balai Pendidikan Dan Pelatihan Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Jakarta.
- [16] Republik Indonesia. (1997). Undang - undang Nomor 10 Tentang Ketenaganukliran. Jakarta.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PERAN PENGHARMONISASIAN RANCANGAN PERATURAN BADAN DALAM MENDUKUNG FUNGSI PENGAWASAN BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

Rr. Silvi Habsari Duria Sumariyastuti^{1, a)}

¹*Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, Indonesia*

^{a)} Corresponding author: h.duria@bapeten.go.id

Abstract Pengharmonisasian peraturan tampaknya masih merupakan salah satu solusi yang diharapkan mampu menyelesaikan berbagai permasalahan terkait peraturan dan juga mewujudkan peraturan yang baik. Hal ini dapat dilihat dari kemunculan pengaturan terbaru terkait pengharmonisasian, yaitu pengharmonisasian untuk Raperda Provinsi, Raperda Kabupaten/Kota, Raperka daerah Provinsi, dan Raperka daerah Kabupaten/Kota di dalam UU No.13/2022 yang merupakan perubahan kedua atas UU No.12/2011. Di level K/L, pengharmonisasian peraturan selain dilakukan terhadap RUU, RPP dan RPerpres, juga dilakukan terhadap Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga yang sebelumnya tidak memerlukan pengharmonisasian. Banyaknya jenis Peraturan Menteri/Lembaga yang dihasilkan K/L dalam rangka penyelenggaraan pemerintahan membuat pengharmonisasian Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga dirasa diperlukan sehingga dikeluarkanlah aturan mengenai pengharmonisasian terhadap Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga oleh Kemenkumham. Ditambah dengan keluarnya Perpres yang mengatur mengenai kewajiban mendapatkan persetujuan presiden bagi Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga dengan kriteria tertentu, maka diharapkan dapat dihasilkan peraturan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran pengharmonisasian Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga, khususnya pengharmonisasian Rancangan Peraturan Badan dalam mendukung fungsi pengawasan di Bapeten, terutama dengan semakin pesatnya perkembangan di bidang pemanfaatan ketenaganukliran. Metode penelitian dalam tulisan ini menggunakan penelitian hukum normatif empiris yang dilakukan dengan cara melakukan penelitian terhadap bahan pustaka dan pengamatan terhadap praktek pelaksanaan harmonisasi Raperba di Bapeten. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengharmonisasian Raperba di Bapeten berperan dalam mewujudkan peraturan yang baik. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan pengharmonisasian Raperba di Bapeten berperan dalam mendukung fungsi pengawasan di Bapeten dikarenakan peraturan merupakan salah satu dari tiga pilar pelaksanaan fungsi Bapeten sebagai badan pengawas terhadap pemanfaatan tenaga nuklir, dan juga menjadi dasar penyelenggaraan dua pilar lainnya, yaitu perizinan dan inspeksi.

Kata Kunci: harmonisasi, Peraturan Menteri/Lembaga, Raperba

PENDAHULUAN

Peraturan Menteri/Lembaga sebagai jenis peraturan terbanyak yang dihasilkan oleh K/L nampaknya telah memperoleh perhatian khusus dalam beberapa tahun belakangan ini. Hal tersebut antara lain tampak dengan dikeluarkannya aturan mengenai harus dilakukannya harmonisasi Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga oleh Perancang melalui Kementerian Hukum dan HAM (Kemenkumham) sebagai Pembina Perancang [1], serta aturan mengenai kewajiban mendapatkan persetujuan presiden bagi Peraturan Menteri/Lembaga dengan kriteria tertentu [2].

Perkembangan ini tentunya memberikan wawasan baru bagi praktek penyusunan Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga di masing-masing K/L. Di satu sisi, dilakukannya pengharmonisasian terhadap Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga oleh Kemenkumham membuat K/L harus bekerja ekstra mempersiapkan sebaik-baiknya rancangan peraturannya, baik dari sisi teknis penulisan maupun dari sisi materi. Hal tersebut dilakukan agar saat dilakukan pengharmonisasian oleh Kemenkumham tidak banyak perbaikan yang harus dilakukan terhadap rancangan peraturan mereka, serta mereka juga dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan sisi materi. Di sisi lain, dilakukannya pengharmonisasian terhadap Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga oleh Kemenkumham membantu dan memudahkan K/L dalam mengeliminir kemungkinan terjadinya ketidakharmonisan rancangan peraturan yang mereka buat dengan peraturan lain serta membantu

menyelaraskan rancangan peraturan mereka dengan berbagai aspek lain sehingga menghasilkan Peraturan Badan yang baik.

Di Bapeten sendiri, sejak awal kemunculan aturan mengenai pengharmonisasian Peraturan Menteri/Lembaga hingga sekarang, pelaksanaan pengharmonisasian terhadap Peraturan Menteri/Lembaga telah memberikan nuansa tersendiri dalam penyusunan Raperba (Rancangan Peraturan Badan) di Bapeten. Dengan adanya tahapan pengharmonisasian tersebut, segala Raperba di Bapeten yang hendak ditetapkan, termasuk yang terkait dengan tugas pengawasan pemanfaatan ketenaganukliran, selain diharmonisasi secara internal, juga harus melalui pengharmonisasian yang dilakukan oleh Kemenkumham, yang dalam pengharmonisasiannya mengikutsertakan instansi yang terkait dengan materi Raperba yang dibahas.

METODE/METODOLOGI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran pengharmonisasian Raperba (Rancangan Peraturan Badan) di Bapeten dalam mendukung fungsi pengawasan Bapeten, terutama dengan semakin pesatnya perkembangan di bidang pemanfaatan ketenaganukliran.

Pokok permasalahan penelitian ini adalah bagaimana peran pengharmonisasian Raperba di Bapeten dalam mendukung fungsi pengawasan Bapeten, dengan identifikasi masalah yaitu:

- a. Apa yang dimaksud dengan harmonisasi peraturan?
- b. Apa yang menjadi dasar hukum pelaksanaan harmonisasi Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga?
- c. Bagaimana pelaksanaan harmonisasi Raperba di Bapeten?
- d. Bagaimana peran pengharmonisasian Raperba di Bapeten dalam mendukung fungsi pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir?

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui peran pengharmonisasian Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga, khususnya di Bapeten dengan tujuan:

- a. Memahami apa yang dimaksud dengan harmonisasi peraturan.
- b. Memahami peraturan yang menjadi dasar hukum pelaksanaan harmonisasi Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga.
- c. Memahami pelaksanaan harmonisasi Raperba di Bapeten.
- d. Memahami peran pengharmonisasian Raperba di Bapeten dalam mendukung fungsi pengawasan Bapeten.

Metode penelitian dalam tulisan ini menggunakan penelitian hukum normatif empiris yaitu penelitian yang mengkaji implementasi ketentuan hukum positif yaitu Perundang-undangan (PUU) dan dokumen tertulis secara faktual pada suatu peristiwa hukum tertentu yang terjadi dalam masyarakat [3].

Jenis data yang digunakan untuk mengkaji penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh melalui studi kepustakaan (buku, jurnal, bahan hukum tertulis lainnya) dan studi dokumen (dokumen hukum peraturan PUU) serta data primer yang langsung diperoleh dari praktek pelaksanaan dilapangan.

Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa pengharmonisasian Raperba di Bapeten berperan dalam mewujudkan peraturan yang baik. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pengharmonisasian Raperba di Bapeten berperan dalam mendukung fungsi pengawasan di Bapeten dikarenakan peraturan merupakan salah satu dari tiga pilar pelaksanaan fungsi Bapeten sebagai badan pengawas terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir, dan juga menjadi dasar bagi penyelenggaraan dua pilar lainnya, yaitu perizinan dan inspeksi.

PENGERTIAN HARMONISASI PERATURAN

Secara etimologis, harmonisasi menunjuk pada proses yang bermula dari upaya menuju atau merealisasi sistem harmoni. Dalam bahasa Yunani, 'harmonia' diartikan sebagai terikat secara serasi dan sesuai. Dalam ilmu filsafat, harmoni dipahami sebagai kerjasama berbagai faktor yang sedemikian rupa hingga menghasilkan kesatuan yang luhur [4].

Harmonisasi menurut bahasa diartikan sebagai pengharmonisan, upaya mencari keselarasan [5]. Sedangkan harmonisasi hukum menurut BPHN Departemen Kehakiman diartikan sebagai kegiatan ilmiah untuk menuju proses pengharmonisan hukum tertulis yang mengacu pada nilai filosofis, sosiologis, ekonomis dan yuridis [6].

Dalam Permenkumham No.20/2015, harmonisasi dinyatakan sebagai 'proses penyelarasan substansi Rancangan Peraturan PUU dan teknik penyusunan peraturan PUU, sehingga menjadi peraturan PUU yang merupakan satu kesatuan yang utuh dalam kerangka sistem hukum nasional'[7].

Dasar Hukum Pelaksanaan Harmonisasi Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga

Pengaturan mengenai jenis peraturan berupa Peraturan Menteri/Lembaga dalam UU No.12/2011 dinyatakan dalam Pasal 8 yang menyatakan antara lain bahwa jenis peraturan PUU selain sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (1) mencakup juga peraturan yang ditetapkan oleh Menteri, badan, dan Lembaga, dan peraturan tersebut diakui keberadaannya serta mempunyai kekuatan hukum mengikat sepanjang diperintahkan peraturan PUU yang lebih tinggi atau yang dibentuk berdasarkan kewenangan [8].

Namun, dalam UU No.12/2011 tidak diatur mengenai harmonisasi terhadap Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga. Yang diatur dalam UU No.12/2011 hanyalah harmonisasi untuk Rancangan UU, PP, Perpres dan Perda Provinsi. Demikian juga dalam UU No.15/2019 yang merupakan peraturan perubahan dari UU No.12 Tahun 2011[9], serta Perpres No.87/2014 yang merupakan peraturan pelaksanaan dari UU No.12/2011[10], juga tidak mengatur mengenai hal itu.

Hal senada juga tampak dalam Permenkumham No. 20/2015 yang hanya menyebutkan bahwa pengharmonisasian dilakukan terhadap RUU, RPP, dan Raperpres. Demikian juga dalam peraturan perubahannya yaitu Permenkumham No.40 Tahun 2016 [11].

Pengaturan mengenai harmonisasi terhadap rancangan Peraturan Menteri/Lembaga baru muncul setelah keluarnya Permenkumham No. 23/2018. Konsiderans Permenkumham No. 23/2018 menyatakan bahwa rancangan peraturan menteri, lembaga pemerintah nonkementerian, atau lembaga nonstruktural harus diharmonisasikan perancang sebagaimana diperintahkan Pasal 3 ayat (2) PP No. 59/2015. Lebih lanjut, Pasal 2 peraturan tersebut menyatakan bahwa rancangan-rancangan tersebut harus diharmonisasi oleh perancang sebagai salah satu tahapan yang harus dipenuhi dalam membentuk peraturan PUU. Rancangan tersebut disampaikan kepada Direktur Jenderal Peraturan PUU, Kemenkumham, yang merupakan Pembina perancang secara tertulis [1]. Pasal 3 ayat (2) PP No. 59/2015 sendiri menyebutkan bahwa perancang harus melakukan pengharmonisasian terhadap rancangan peraturan PUU [12].

Munculnya UU No.13/2022 yang merupakan perubahan kedua dari UU No.12/2011 menguatkan kedudukan perancang dalam setiap tahapan pembentukan peraturan PUU. Pasal 98 ayat (1) peraturan tersebut menyatakan bahwa setiap tahapan dalam pembentukan peraturan PUU mengikutsertakan perancang [13]. Artinya perancang harus diikutsertakan dalam setiap tahapan pembentukan peraturan PUU, mulai dari tahapan perencanaan, penyusunan (dimana didalamnya dilakukan pengharmonisasian, pembulatan, dan pemantapan konsepsi rancangan), pembahasan, pengesahan atau penetapan, sampai pengundangan sebagaimana diuraikan dalam Pasal 1 butir 1 UU No.12/2011 [8].

UU No.13/2022 juga mengatur di dalam Pasal 58, 63 dan 97D mengenai pengharmonisasian bagi rancangan Peraturan Daerah Provinsi, peraturan daerah kabupaten/kota, peraturan kepala daerah provinsi dan peraturan kepala daerah kabupaten/kota yang dikoordinasikan oleh Kemenkumham [13]. Tidak ada pengaturan baru maupun yang menguatkan terkait pengharmonisasian Peraturan Menteri/Lembaga dalam UU tersebut.

Bila diperhatikan, pengaturan-pengaturan terkait pengharmonisasian peraturan tidak menyebutkan bahwa pengharmonisasian peraturan harus dilakukan oleh perancang dari Kemenkumham. Peraturan-peraturan tersebut hanya menyebutkan bahwa rancangan peraturan PUU harus diharmonisasi oleh Perancang. Dalam Pasal 6 ayat (2) Permenkumham No. 23/2018 juga hanya terdapat pembatasan bahwa perancang yang berasal dari instansi pemrakarsa tidak dapat ditugaskan memimpin rapat pengharmonisasian untuk menjaga objektivitas pembahasan dalam rapat pengharmonisasian [1].

Dalam praktek pelaksanaannya, pengharmonisasian peraturan dilakukan oleh Kemenkumham. Salah satu artikel hukum mencoba mengupas tentang hal itu. Menurut artikel tersebut yang menjadi alasan pengharmonisasian peraturan dilakukan oleh Kemenkumham adalah karena mayoritas K/L berpendapat mereka tidak memiliki sumber daya perancang yang cukup atau bahkan tidak memiliki sama sekali perancang. Ketiadaan perancang di K/L ini memiliki implikasi pada kualitas harmonisasi dan sinkronisasi Peraturan Menteri/Lembaga yang mereka buat. Sebagai hasilnya, keterlibatan perancang dari Kemenkumham dalam proses harmonisasi rancangan Peraturan Menteri/Lembaga cukup membantu dalam proses penyusunan peraturan di setiap K/L [14].

Artikel hukum tersebut juga menyorot mengenai kedudukan Permenkumham No. 23/2018. Menurut artikel tersebut, keberadaan Permenkumham No. 23/2018 yang dikeluarkan oleh Dirjen PUU Kemenkumham secara yuridis formil tidak dapat dipertanggung jawabkan, karena tidak ada satu pasal di dalam UU No. 12/2011, PP No. 59/2015 dan PP No. 87/2014, yang memberikan delegasi pada Kemenkumham untuk mengharmonisasi Rancangan Peraturan Menteri atau Lembaga. Namun pada prakteknya, Permenkumham No. 23/2018 tetap dilaksanakan. Berdasarkan penelitian dalam artikel hukum tersebut, 19 K/L mematuhi Permenkumham No. 23/2018 dengan alasan khawatir atas konsekuensi, diantaranya adalah tidak diundangkannya rancangan peraturan yang diajukan kepada Dirjen PUU. Konsekuensi lainnya adalah adanya perintah dan instruksi pimpinan untuk melaksanakan ketentuan Permenkumham No. 23/2018. Lebih lanjut artikel tersebut menyatakan 11 K/L menyatakan mengakui legitimasi Kemenkumham dan 2 K/L menyatakan bahwa setelah Permenkumham ini berlaku, mereka bersedia taat dengan Permenkumham No. 23/2018 karena bagaimanapun mereka tetap mengakui kewenangan Kemenkumham melalui Permenkumham No. 23/2018 dengan beberapa catatan [14].

Munculnya aturan bahwa rancangan peraturan menteri, lembaga pemerintah nonkementerian, dan lembaga nonstruktural harus diharmonisasi oleh perancang dapat ditafsirkan sebagai salah satu bentuk upaya dalam menyelesaikan berbagai permasalahan terkait regulasi yang ada di Indonesia saat ini. Kondisi regulasi yang ada sekarang ini di Indonesia menunjukkan bahwa terdapat berbagai permasalahan terkait regulasi, diantaranya terlalu banyaknya regulasi, saling bertentangan, tumpang tindih, multi tafsir, tidak taat asas, tidak efektif, menciptakan beban yang tidak perlu dan menciptakan ekonomi biaya tinggi [15].

Tanpa adanya upaya penyelesaian terhadap berbagai permasalahan terkait regulasi tersebut, maka dapat menimbulkan dampak yang merugikan. Sebagai contoh, permasalahan terkait regulasi berupa tidak taat asas (*inconsistency*). Naito Shintaro dalam paparannya yang disampaikan dalam Seminar Virtual yang diselenggarakan oleh Japan International Cooperation Agency dan Dirjen PUU, Kemenkumham pada tanggal 27

Januari 2022 menyatakan bahwa risiko yang diakibatkan oleh inkonsistensi UU yaitu penegakan hukum menjadi sulit, kepercayaan masyarakat terhadap hukum menjadi runtuh, berdampak negatif terhadap *Rule of Law* [16].

Pengaturan lain yang diberlakukan terhadap Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga yaitu pengaturan mengenai kewajiban mendapatkan persetujuan Presiden atas Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga dengan kriteria tertentu. Hal ini diatur dalam Perpres No. 68/2021. Dalam Pasal 2 peraturan tersebut dinyatakan bahwa Menteri/Kepala Lembaga menyusun Rancangan Peraturannya sesuai lingkup tugas dan kewenangannya dan dapat melibatkan K/L lain dalam penyusunannya. Penyusunan rancangannya berdasarkan perintah dari peraturan PUU, arahan dari Presiden, atau untuk melaksanakan penyelenggaraan urusan tertentu di dalam pemerintahan. Terkait kriteria rancangan yang wajib mendapatkan persetujuan Presiden, dalam Pasal 3 peraturan ini dinyatakan yaitu yang memiliki dampak luas bagi kehidupan masyarakat; yang sifatnya strategis, yaitu yang mempengaruhi program prioritas Presiden, target Pemerintah dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional dan Rencana Kerja Pemerintah, pertahanan dan keamanan, serta keuangan negara; dan/atau muatannya lintas sektor atau lintas K/L [2].

Terkait prosedur, Pasal 4, 5 dan 7 Perpres No. 68/2021 menyatakan bahwa sebelum dimintakan Persetujuan Presiden, Rancangan tersebut harus telah melalui proses harmonisasi oleh Kemenkumham. Kemudian permohonannya diajukan secara tertulis kepada Presiden dan berdasarkan hal itu, Sekretariat Kabinet menyampaikan rekomendasi atas permohonan tersebut kepada Presiden [2].

Untuk memudahkan koordinasi saat pengajuan permohonan persetujuan presiden, pelibatan Sekretariat Kabinet saat penyusunan maupun pengharmonisasian Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga merupakan sebuah pertimbangan yang tepat. Dalam prakteknya, Sekretariat Kabinet telah diikutsertakan dalam tahapan pelaksanaan harmonisasi Rancangan Peraturan Menteri/Lembaga yang dilakukan oleh Kemenkumham.

Pelaksanaan Harmonisasi Rancangan Peraturan Badan Di Badan Pengawas Tenaga Nuklir

Peraturan Lembaga yang dikeluarkan oleh Bapeten dinamakan Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Dalam penyusunannya, Raperba di Bapeten dapat dibedakan menjadi dua bidang, yaitu:

- bidang ketenaganukliran yang disusun oleh Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Radioaktif (DP2FRZR) dan Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (DP2IBN); serta
- bidang kelembagaan yang disusun oleh Biro Hukum Kerjasama, dan Komunikasi Publik (BHKKP).
- Pelaksanaan harmonisasi Raperba di Badan Pengawas Tenaga Nuklir dilakukan dalam dua tahapan, yaitu:
 - harmonisasi Raperba oleh internal Bapeten, yaitu unit kerja BHKKP; dan
 - harmonisasi Raperba oleh Kemenkumham.

Pelaksanaan Harmonisasi Rancangan Peraturan Badan Bidang Ketenaganukliran Oleh Internal Bapeten

Dalam Pasal 17 Peraturan Bapeten No.8/2018 dinyatakan bahwa Raperba bidang ketenaganukliran yang sudah selesai dibahas tim penyusun disampaikan unit kerja pengaturan kepada BHKKP (dahulu Biro Hukum dan Organisasi) untuk diharmonisasi dengan terlebih dahulu memastikan bahwa rancangan telah memenuhi ketentuan kaidah penulisan Bahasa Indonesia yang baik dan benar serta format penulisan dalam ketentuan tentang Pembentukan Peraturan PUU. Setelah diharmonisasi, unit kerja pengaturan menyampaikan rancangan kepada Deputi Bidang Pengkajian Keselamatan Nuklir untuk mendapatkan paraf persetujuan [17].

Berdasarkan Pasal 18 Peraturan Bapeten No.8/2018, BHKKP melaksanakan harmonisasi rancangan dalam jangka waktu paling lama 3 (tiga) minggu sejak permohonan disampaikan, dan dapat melibatkan wakil dari unit kerja pengaturan dan/atau unit eselon II terkait dalam pengharmonisasiannya. Harmonisasi dilakukan dengan cara menyelaraskan rancangan dengan ketentuan peraturan PUU lain dan/atau kebijakan dari pimpinan. Selain itu dengan memperhatikan kesesuaian tujuan dan sasaran Pembentukan peraturan PUU, dan logika antarpasal [17].

Pelaksanaan Harmonisasi Rancangan Peraturan Badan Bidang Kelembagaan Oleh Internal Bapeten

Pasal 19, 20, dan 21 Peraturan Bapeten No.8/2018 menyatakan bahwa penyusunan, pembahasan, dan harmonisasi Raperba bidang kelembagaan dilaksanakan oleh BHKKP dalam jangka waktu paling lama 1 (satu) tahun. Dalam hal ini, BHKKP membentuk tim penyusun dan tim harmonisasi. Tim penyusun meliputi unsur Biro, unit eselon I dan eselon II terkait, serta Perancang. Tim harmonisasi meliputi personel dari BHKKP. Rancangan yang telah diharmonisasi disampaikan ke Sekretaris Utama untuk mendapatkan paraf persetujuan [17].

Pelaksanaan Harmonisasi Rancangan Peraturan Badan Bidang Ketenaganukliran Dan Bidang Kelembagaan Oleh Kemenkumham

Pelaksanaan Harmonisasi Raperba Bidang Ketenaganukliran Dan Bidang Kelembagaan oleh Kemenkumham mengikuti aturan yang terdapat dalam Permenkumham No. 23/2018.

Pasal 5 Permenkumham No. 23/2018 mengatur mengenai cara penyampaian permohonan pengharmonisasian Rancangan Peraturan Menteri, Lembaga Pemerintah Nonkementerian, atau Lembaga

Nonstruktural oleh Perancang dengan cara disampaikan oleh Pemrakarsa secara tertulis kepada Menteri melalui Direktur Jenderal. Permohonan tersebut disampaikan dengan melampirkan naskah urgensi atau gambaran umum mengenai arah pengaturan dan ruang lingkup dari materi muatan, serta melampirkan juga rancangan peraturannya. [1]

Pasal 6 dan 7 Permenkumham No. 23/2018 lebih lanjut menyatakan bahwa berdasarkan permohonan dari Pemrakarsa, Direktur Jenderal menugaskan Perancang melakukan pengharmonisasian. Agar obyektivitas terjaga, Perancang dari instansi Pemrakarsa tidak dapat ditugaskan untuk memimpin rapat pengharmonisasian. Pelaksanaan pengharmonisasian mengikutsertakan unsur dari instansi Pemrakarsa dan lembaga pemerintah/instansi terkait. Selain itu dapat juga mengikutsertakan narasumber ahli dengan biaya yang dibebankan pada anggaran Pemrakarsa. Setelah diharmonisasi, Rancangan disampaikan kembali kepada Direktur Jenderal melalui Direktur Perancangan Peraturan PUU. Direktur Jenderal kemudian menyampaikan surat keterangan telah dilakukan pengharmonisasian kepada Pemrakarsa dengan melampirkan naskah Rancangan [1].

Peran Harmonisasi Rancangan Peraturan Badan Dalam Mendukung Fungsi Pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir

Bapeten merupakan Badan yang dibentuk oleh Pemerintah berdasarkan UU No. 10/1997. Dalam Pasal 4 ayat (1) UU tersebut dinyatakan bahwa Bapeten memiliki tugas melaksanakan pengawasan atas segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia [18].

Untuk melaksanakan tugas pengawasan sebagaimana dimaksud di atas, Pasal 4 ayat (2) UU No. 10/1997 menyatakan bahwa Bapeten menyelenggarakan peraturan, perizinan, dan inspeksi [18]. Dari pasal tersebut dapat dilihat bahwa penyelenggaraan peraturan merupakan salah satu pilar penting dalam pelaksanaan fungsi Bapeten sebagai badan pengawas terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir.

Penyelenggaraan peraturan memiliki peran penting dalam pelaksanaan fungsi pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir karena peraturan selain merupakan salah satu pilar dari tiga pilar pelaksanaan fungsi pengawasan, juga menjadi dasar bagi penyelenggaraan dua pilar lainnya, yaitu perizinan dan inspeksi. Peraturan menjadi dasar bagi penyelenggaraan perizinan, yaitu pemberian izin dengan berdasarkan persyaratan-persyaratan yang tertuang dalam peraturan yang ditetapkan. Demikian juga peraturan menjadi dasar bagi penyelenggaraan inspeksi secara berkala dan sewaktu-waktu terhadap instalasi nuklir dan instalasi yang memanfaatkan radiasi pengion, dengan memastikan apakah pemegang ijin telah mengikuti peraturan yang ditetapkan.

Dalam rangka penyelenggaraan peraturan, Bapeten telah menyusun berbagai peraturan. Sesuai dengan Pasal 2 Perpres No. 68/2021, peraturan-peraturan yang disusun Bapeten disesuaikan dengan lingkup tugas kewenangan Bapeten, dan juga disusun dengan berdasarkan perintah dari peraturan PUU, arahan dari Presiden, atau untuk melaksanakan penyelenggaraan urusan tertentu di dalam pemerintahan [2].

Diantara jenis-jenis peraturan yang telah disusun di Bapeten, Perba merupakan jenis peraturan terbanyak yang dikeluarkan oleh Bapeten. Jumlahnya sekitar 193 Perba jika dihitung sejak tahun 2005 berdasarkan data yang ada di website JDII Bapeten [19].

Perba yang berjumlah banyak tersebut tentunya memiliki peran besar dalam penyelenggaraan urusan pemerintahan yang diemban oleh Bapeten, yaitu fungsi pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir. Disamping itu, semakin pesatnya perkembangan di bidang pemanfaatan tenaga nuklir juga menuntut dilakukannya perubahan maupun penggantian terhadap Perba yang telah ada sebelumnya. Dengan adanya mekanisme pengharmonisasian terhadap Raperba, baik oleh internal Bapeten maupun dari Kemenkumham maka diharapkan dapat terwujud peraturan yang baik yang dapat mendukung fungsi pengawasan Bapeten terhadap pemanfaatan ketenaganukliran.

Namun, bagaimanakah mewujudkan peraturan yang baik? Dalam Pasal 5 UU No.12/2012 dinyatakan bahwa untuk membentuk PUU harus berdasarkan asas Pembentukan PUU yang baik, yaitu kejelasan tujuan; kelembagaan atau pejabat pembentuk yang tepat; kesesuaian antara jenis, hierarki, dan materi muatan; dapat dilaksanakan; kedayagunaan dan kehasilgunaan; kejelasan rumusan; dan keterbukaan. Lebih lanjut Pasal 6 UU No.12/2012 menyatakan materi muatan Peraturan Perundang-undangan harus mencerminkan asas pengayoman; kemanusiaan; kebangsaan; kekeluargaan; kenusantaraan; bhinneka tunggal ika; keadilan; kesamaan kedudukan dalam hukum dan pemerintahan; ketertiban dan kepastian hukum; dan/atau keseimbangan, keserasian, dan keselarasan. Selain itu PUU tertentu dapat berisi asas lain sesuai dengan bidang hukum PUU yang bersangkutan [8].

Dr. Wicipto Setiadi dalam paparannya yang disampaikan dalam Workshop Sinergi Kebijakan dan Regulasi (*Regulatory Impact Assessment*) Kerjasama Bappenas dan Bapeten, 30 November-04 Desember 2020 menyampaikan apa yang disebut sebagai regulasi yang baik sebagai berikut: [15]

- merupakan pengejawantahan dari Pembukaan UUD NRI Tahun 1945;
- mampu terapan dan ditaati dengan sukarela oleh semua pihak;
- sesuai dengan visi, misi K/L;
- melalui perencanaan yang baik;
- sesuai prinsip pembentukan regulasi yang baik.

Masih terkait dengan peraturan yang baik, dalam pedoman Lokakarya Pengembangan Peraturan (*Regulatory Development Workshop*) yang diselenggarakan *National Nuclear Security Administration* (NISA) secara virtual pada tanggal 16-18 Mei 2022, dinyatakan bahwa “Regulations should be effectively drafted.”[20]

- to promote understanding and compliance by operators.
- to facilitate oversight and accountability by regulatory bodies
- to withstand possible legal challenges by operators and other stakeholder
- to demonstrate responsible regulatory oversight

Sebagai upaya untuk menghasilkan peraturan yang baik sebagaimana disebutkan di atas, maka pelaksanaan harmonisasi terhadap rancangan peraturan, khususnya Raperba memiliki peran penting dalam mewujudkannya. Hal ini dikarenakan dalam pengharmonisasian peraturan, dilakukan penyesuaian antara rancangan peraturan yang disusun dengan berbagai aspek lain.

Hal ini bisa dilihat dalam Pasal 4 Permenkumham No. 23/2018 yang menguraikan bahwa pengharmonisasian bertujuan untuk menyesuaikan dengan Pancasila, UUDNRI 1945, peraturan perundang undangan yang memiliki hierarki lebih tinggi/setingkat, putusan yang dikeluarkan pengadilan, dan teknik penyusunan peraturan PUU, serta agar diperoleh kesepakatan mengenai substansi yang diatur [1].

Pentingnya peran harmonisasi peraturan dapat dilihat juga dari pandangan yang menyatakan bahwa terdapat beberapa alasan yang perlu dipertimbangkan agar harmonisasi dilaksanakan, yaitu:[21]

1. peraturan PUU merupakan sebagai bagian integral dari suatu sistem hukum.
2. peraturan PUU bisa diuji (*judicial review*) baik secara materiel maupun secara formal.
3. menjamin agar proses pembentukan peraturan PUU dilakukan dengan secara taat asas demi tercapainya kepastian hukum.

Di Bapeten sendiri, praktek pelaksanaan harmonisasi Raperba yang melalui dua tahapan harmonisasi, yaitu harmonisasi oleh internal Bapeten dan harmonisasi oleh Kemenkumham seolah menjadi filter ganda dalam upaya mewujudkan peraturan yang baik, yang pada akhirnya berperan dalam mendukung fungsi pengawasan yang dilakukan Bapeten.

Namun, perlu dicermati berdasarkan praktek pelaksanaan harmonisasi yang telah dilakukan, bahwa semua manfaat yang bisa didapatkan dari pengharmonisasian peraturan tidak akan terwujud tanpa adanya niat baik dari kedua belah pihak, yaitu baik dari pihak penyusun Rancangan Peraturan maupun pihak yang melakukan pengharmonisasian peraturan. Perlu adanya kesamaan tujuan dari kedua belah pihak untuk bersama-sama berupaya mewujudkan peraturan PUU yang baik, dengan tidak mengesampingkan tugas utama K/L dalam menyelenggarakan pemerintahan.

Dalam hal ini diperlukan sikap bersedia dan bersungguh-sungguh dari Penyusun Rancangan Peraturan untuk menerima dan menindaklanjuti hasil harmonisasi yang telah dilakukan. Hal itu dikarenakan hasil harmonisasi yang tidak ditindaklanjuti akan menjadikan upaya untuk mewujudkan peraturan PUU yang baik menjadi tidak maksimal, serta dapat menjadi bom waktu yang dapat meledak sewaktu-waktu dan menimbulkan permasalahan di belakang hari karena tidak segera diselesaikan walaupun telah terdeteksi. Demikian juga, diperlukan kesungguhan dari pihak yang melakukan pengharmonisasian dalam membantu mencari solusi terhadap berbagai ketidaktepatan dan ketidaksesuaian yang ditemukan dalam penyusunan Raperba, dengan tetap memperhatikan tugas utama K/L tersebut dalam menyelenggarakan pemerintahan. Dengan adanya kerjasama yang baik dari kedua belah pihak dalam tahapan pengharmonisasian Rancangan Peraturan, maka peraturan PUU yang baik diharapkan dapat terwujud dan dapat mendukung peran penyelenggaraan pemerintahan yang dilakukan K/L.

Demikian juga pelaksanaan pengharmonisasian Raperba yang ada di Bapeten. Dengan adanya kerjasama yang baik antara unit kerja pemrakarsa dan unit kerja yang melakukan pengharmonisasian Raperba di internal Bapeten, dan adanya kerjasama yang baik antara Bapeten sebagai penyusun Raperba dengan Kemenkumham beserta instansi yang terkait dengan materi Raperba, dengan tidak mengesampingkan tugas utama Bapeten sebagai badan pengawas terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir, maka diharapkan akan terwujud peraturan yang baik yang berperan dalam mendukung fungsi penyelenggaraan pemerintahan yang dilakukan Bapeten sebagai badan pengawas terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir.

KESIMPULAN

Istilah harmonisasi memiliki beberapa pengertian. Namun dalam konteks harmonisasi peraturan pada intinya merupakan penyesuaian substansi dan teknik penyusunan peraturan PUU. Di Bapeten pelaksanaan harmonisasi Raperba dilakukan dengan berdasarkan pada Permenkumham No. 23/2018 dan Peraturan Bapeten No.8 Tahun 2018. Harmonisasi tersebut dilaksanakan melalui dua tahapan harmonisasi, yaitu harmonisasi oleh internal Bapeten dan harmonisasi oleh Kemenkumham. Dengan dilaksanakannya pengharmonisasian Raperba di Bapeten, diharapkan peraturan PUU yang baik dapat terwujud. Dalam hal ini diperlukan adanya kerjasama yang baik antara pihak yang melakukan penyusunan Raperba dengan pihak yang melakukan pengharmonisasian Raperba, dengan tidak mengesampingkan tugas utama badan dalam menyelenggarakan pemerintahan. Terwujudnya Perba yang baik sebagai hasil dari pengharmonisasian Raperba berperan dalam mendukung fungsi penyelenggaraan pemerintahan yang dilakukan Bapeten sebagai badan pengawas terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir dikarenakan peraturan merupakan salah satu dari tiga pilar pelaksanaan fungsi

Bapeten sebagai badan pengawas terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir, dan juga menjadi dasar bagi penyelenggaraan dua pilar lainnya, yaitu perizinan dan inspeksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Permenkumham No.23 Tahun 2018 tentang Pengharmonisasian Rancangan Peraturan Menteri, Rancangan Peraturan Lembaga Pemerintah Nonkementerian, Atau Rancangan Peraturan Dari Lembaga Nonstruktural Oleh Perancang Peraturan Perundang-undangan.
- [2] Perpres No.68 Tahun 2021 tentang Pemberian Persetujuan Presiden Terhadap Rancangan Peraturan Menteri/Kepala Lembaga.
- [3] Dr. Muhaimin, SH., M.Hum, Metode Penelitian Hukum. Mataram: Mataram University Press, 2020.
- [4] Hendra Pakpahan, SH, M.Hum, Rudy, Harmonisasi Dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan. Kementerian Hukum dan HAM Kantor Wilayah Sumatera Utara Kementerian Hukum dan HAM, [https://kbbi.web.id/harmonisasi](https://sumut.kemenkumham.go.id/berita-kanwil/berita-utama/harmonisasi-dalam-pembentukan-peraturan-perundangundangan#:~:text=Secara%20etimologis%2C%20harmonisasi%20berasal%20dari,terikat%20secara%20dan%20sesuai, diakses. 29 Mei 2022.
[5] Kamus Besar Bahasa Indonesia, “Harmonisasi.” <a href=), diakses 28 Mei 2022.
- [6] Goesniadhe Slamet, Kusnu, Harmonisasi Hukum dalam Perspektif Perundangan-undangan, Jurnal Hukum No.27 Vol 11 September 2004.
- [7] Permenkumham No.20 Tahun 2015 tentang Tata Cara dan Prosedur Pengharmonisasian, Pembulatan, dan Pemantapan Konsepsi Rancangan Peraturan Perundang-undangan.
- [8] UU No.12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan.
- [9] UU No.15 Tahun 2019 tentang Perubahan atas UU No.12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan.
- [10] Perpres No.87 Tahun 2014 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No. 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan.
- [11] Permenkumham No.40 Tahun 2016 tentang Perubahan Atas Permenkumham No. 20 Tahun 2015 tentang Tata Cara dan Prosedur Pengharmonisasian, Pembulatan, dan Pemantapan Konsepsi Rancangan Peraturan Perundang-undangan.
- [12] PP No. 59 Tahun 2015 tentang Keikutsertaan Perancang Peraturan Perundang-Undangan Dalam Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan Dan Pembinaannya.
- [13] UU No.13 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua atas UU No.12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan.
- [14] Firdaus; Donny Michael, Implementasi Peraturan Menteri Hukum Dan Ham Nomor 23 Tahun 2018 Tentang Pengharmonisasian Rancangan Peraturan Menteri, Rancangan Peraturan Lembaga Pemerintah Non Kementerian Atau Rancangan Peraturan Dari Lembaga Non Struktural Oleh Perancang Peraturan Perundang-Undangan, Jurnal Penelitian Hukum DE JURE, Vol. 19 No.3, September 2019.
- [15] Setiadi, Dr. Wicipto, Sinergi Antara Kebijakan dan Regulasi, disampaikan dalam Workshop Sinergi Kebijakan dan Regulasi (Regulatory Impact Assessment) Kerjasama Bappenas dan Bapeten, 30 November-04 Desember 2020.
- [16] Shintaro, Naito. Gambaran Umum Proses Pembentukan Peraturan PUU di Jepang ” Fokus pada pencegahan inkonsistensi Peraturan PUU, disampaikan dalam Seminar Virtual yang diselenggarakan oleh Japan International Cooperation Agency dan Direktorat Jenderal Peraturan PUU, Kementerian Hukum dan HAM, 27 Januari 2022.
- [17] Peraturan Bapeten No.8 Tahun 2018 tentang Tata Cara Pembentukan Peraturan Perundang-undangan di Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
- [18] UU No.10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
- [19] Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum, “Peraturan Kepala Badan.” <jdih.bapeten.go.id/id/cari?DokumenSearchPrimary%5Bjenis%5D=39&DokumenSearchPrimary%5Bnomor%5D=&DokumenSearchPrimary%5Btahun%5D=&DokumenSearchPrimary%5Bq%5D=&DokumenSearchPrimary%5Bsubjek%5D=&aksi=dokumen>, diakses 29 Mei 2022.
- [20] National Nuclear Security Administration (NISA). “Participant Guide Regulatory Development Workshop,” Regulatory Development Workshop. 16-18 Mei 2022.
- [21] Kementerian Hukum dan Hak asasi Manusia, “Proses Pengharmonisasian Sebagai Upaya Meningkatkan Kualitas Peraturan PUU,” Artikel Hukum Tata Negara dan Peraturan PUU.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



GAP ANALISIS REGULASI KAJIAN ASPEK TAPAK KEGEMPAAN PEMBANGUNAN PLTN

Widjanarko^{1, a)}, Arisya Julviana^{2, b)}, Khusnul Khotimah^{3, c)}

^{1,3} Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Gedung 71, Lantai 1, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15313, Indonesia

²Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Gedung 31, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia

^{a)} widjanarko@brin.go.id

^{b)} aris023@brin.go.id

^{c)} khus003@brin.go.id

Abstrak. Aspek kegunaan merupakan salah satu aspek penting dalam penentuan tapak instalasi nuklir yang akan dibangun agar tidak menimbulkan risiko terhadap Keselamatan dan Kesehatan penduduk. Dalam menentukan tapak instalasi nuklir dibutuhkan suatu regulasi untuk memfasilitasi suatu organisasi yang akan melakukan evaluasi tapak disekitar instalasi yang akan dibangun. Saat ini, terdapat standar yang dapat dipergunakan untuk penentuan tapak instalasi nuklir, yaitu SNI 18-2034-1990 tentang Pedoman penentuan tapak reaktor nuklir. SNI 18-2034-1990 dinilai kurang relevan dengan keadaan dan kondisi pada saat ini, mengingat bahwa dalam menentukan tapak instalasi nuklir dibutuhkan pedoman yang lebih komprehensif dan lebih terperinci guna menjaga keselamatan dan kesehatan penduduk disekitar instalasi yang akan dibangun. Oleh karena itu, dilakukan studi kesenjangan (*gap analysis*) pada standar terdahulu yaitu SNI 18-2034-1990 tentang Pedoman penentuan tapak reaktor nuklir terhadap Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir. Metode penelitian melalui studi kesenjangan (*gap analysis*) dilakukan untuk mengidentifikasi apakah standar yang telah dibuat telah memenuhi regulasi yang telah disusun oleh suatu Badan dalam hal ini yaitu Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir. Penelitian studi kesenjangan (*gap analysis*) pada standar SNI 18-2034-1990 menghasilkan beberapa rekomendasi terhadap aspek kegunaan, organisasi diharuskan menentukan radius area nuklir, menyesuaikan karakteristik seismologi, geologi dan tektonik serta mengevaluasi bahaya gerakan tanah agar memenuhi keselamatan penentuan tapak instalasi nuklir yang lebih komprehensif dan relevan dengan situasi dan kondisi dimasa mendatang.

Kata kunci: Aspek Kegunaan, Studi Kesenjangan, Regulasi

PENDAHULUAN

Dalam rangka pelaksanaan perizinan pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir, perlu ditetapkan pedoman penentuan tapak instalasi nuklir khususnya terhadap aspek kegunaan. Faktor penting yang harus diperhatikan dalam menentukan tapak adalah rancangan instalasi dan sifat-sifat khusus serta kepadatan penduduk suatu tapak. Rancangan pembangunan dan operasi instalasi harus dilaksanakan sedemikian rupa, sehingga kebolehhadiah terlepasnya zat radioaktif hasil pembelahan adalah kecil.

Disebutkan dalam Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir, penentuan tapak instalasi nuklir harus memperhatikan berbagai macam hal, diantaranya: 1) Pemohon evaluasi tapak harus melakukan kegiatan evaluasi tapak setelah memperoleh persetujuan evaluasi tapak dari kepala badan; 2) untuk memperoleh persetujuan evaluasi tapak, pemohon evaluasi tapak harus mengajukan permohonan secara tertulis kepada Kepala Badan dengan melampirkan dokumen program evaluasi tapak dan sistem manajemen. Adapun kegiatan evaluasi tapak dilaksanakan untuk mengevaluasi: 1) pengaruh kejadian alam dan kejadian ulah manusia terhadap keselamatan Instalasi Nuklir di tapak dan wilayah sekitarnya; 2. karakteristik tapak dan wilayah sekitarnya yang berpengaruh pada perpindahan zat radioaktif yang dilepaskan oleh Instalasi Nuklir sampai pada manusia dan lingkungan hidup; 3) demografi dan karakteristik lain dari tapak dan wilayah sekitarnya yang berkaitan dengan evaluasi risiko terhadap anggota masyarakat dan kelayakan program kesiapsiagaan nuklir; 4) pemohon evaluasi tapak harus mempertimpangkan kejadian eksternal atau kombinasi kejadian eksternal yang

terjadi secara bersamaan. Evaluasi tapak dilaksanakan guna mengkaji kelayakan tapak dan menentukan nilai parameter desain instalasi nuklir yang akan dibangun. Evaluasi tapak meliputi berbagai macam aspek diantaranya kegempaan, kegunungpian, geoteknik, meteorology dan hidrologi, ulah manusia dan dispersi zat radioaktif.

Aspek kegempaan merupakan salah satu aspek yang harus diperhatikan dalam penentuan tapak instalasi nuklir, hal ini tercantum dalam Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2018. Lebih lanjut lagi, untuk menentukan apakah tapak sudah memadai dan untuk memperoleh jaminan yang cukup bahwa instalasi dapat dibangun dan dioperasikan pada tapak yang dicalonkan tanpa risiko yang tidak semestinya terhadap keselamatan dan kesehatan penduduk, maka harus dilakukan penelitian untuk memperoleh data seismologi.

Adapun dalam menentukan tapak instalasi nuklir, dibutuhkan suatu pedoman yang memadai untuk memfasilitasi suatu organisasi yang akan melakukan evaluasi tapak disekitar tempat dimana instalasi akan dibangun. Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah mengeluarkan satu dokumen Standar Nasional Indonesia untuk memfasilitasi organisasi dalam menentukan tapak instalasi nuklir, yaitu SNI 18-2034-1990 tentang Pedoman penentuan tapak reaktor nuklir. Standar tersebut ditetapkan di Jakarta pada Tahun 1982 oleh Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional, dimana hal-hal yang berkaitan dengan penentuan tapak instalasi nuklir terhadap aspek kegempaan terletak pada klausul 3.2 sampai dengan 3.7.

Substansi terkait aspek kegempaan yang tertuang di dalam SNI 18-2034-1990 dianggap kurang relevan dengan kondisi saat ini, mengingat bahwa dalam menentukan tapak instalasi nuklir dibutuhkan pedoman yang lebih komprehensif dan lebih terperinci guna menjaga keselamatan dan kesehatan penduduk disekitar instalasi yang akan dibangun. Sehingga perlu dilakukan studi kesenjangan (*gap analysis*) untuk mengidentifikasi apakah standar yang telah dibuat telah memenuhi regulasi yang telah disusun oleh suatu Badan dalam hal ini yaitu Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir. Melalui studi kesenjangan yang dilakukan diharapkan dapat menghasilkan suatu rekomendasi untuk perbaikan pedoman SNI 18-2034-1990, sehingga akan tercipta pedoman penentuan tapak instalasi nuklir yang lebih komprehensif dan relevan dengan situasi dan kondisi dimasa mendatang

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis bahaya eksternal dan bahaya internal perlu dilakukan dalam menentukan tapak instalasi nuklir untuk memperoleh tapak yang layak untuk dibangun instalasi nuklir diatasnya. Syarat suatu tapak dikatakan layak adalah tapak yang telah memenuhi kriteria keselamatan dan standar yang berlaku. Indonesia terletak di daerah tiga lempeng besar dimana merupakan jalur kegempaan dan gunungapi, sehingga dalam memperoleh tapak yang layak, aman dan selamat sesuai kaidah keselamatan nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten) mewajibkan untuk melakukan identifikasi dan karakterisasi pada calon tapak [1].

Tapak PLTN adalah lokasi yang layak untuk membangun reaktor nuklir serta sistem terkait lainnya [6]. Kajian terkait dalam pemilihan tapak PLTN perlu dilakukan, antara lain: (i) pengaruh kejadian eksternal di lokasi tapak dan wilayah sekitarnya baik yang berasal dari kejadian eksternal alamiah (bencana alam) maupun kejadian akibat kegiatan manusia, (ii) karakteristik tapak dan lingkungan yang berpengaruh terhadap reaktor nuklir dan perpindahan zat radioaktif yang dilepaskan reaktor nuklir sampai kepada manusia dan lingkungannya, (iii) kondisi demografi/kependudukan dan karakteristik lain dari tapak yang berkaitan dengan evaluasi risiko terhadap anggota masyarakat dan penerapan rencana penanggulangan kedaruratan. Adapun aspek yang mempengaruhi dalam penentuan evaluasi tapak untuk evaluasi kejadian eksternal alamiah meliputi: (i) gempa dan patahan permukaan, (ii) meteorologi (iii) hidrologi dan oseanografi, (iv) bahaya geoteknik, dan (v) bahaya gunung api [2].

Pengertian gempa secara umum adalah getaran yang disebabkan oleh proses pelepasan energi yang dapat disebabkan oleh aktivitas tektonik (patahan, penunjaman serta tumbukan lempeng litosfer di darat atau di laut), vulkanik maupun runtuhnya material yang besar. Terdapat tiga sumber utama gempa yang dapat mempengaruhi kondisi kegempaan disuatu daerah, diantaranya (i) gempa subduksi (akibat aktivitas lempeng), (ii) gempa kerak (akibat aktivitas patahan), dan (iii) gempa vulkanik (akibat aktivitas vulkanik) [3]. Kajian terhadap kondisi kegempaan di sekitar daerah tapak harus dilakukan untuk mendukung faktor keselamatan tapak PLTN. Kajian kondisi kegempaan di sekitar daerah tapak dilakukan dengan mengumpulkan dan mendokumentasikan informasi pra sejarah, sejarah dan rekaman terkait dengan data kegempaan di wilayah sekitar tapak. Tanggal dan waktu gempa, kontur isoseismal, lokasi episenter makroseismik, intensitas maksimum dan intensitas makroseismik episenter, penentuan magnitude, perkiraan kedalaman focal, perkiraan ketidakpastian parameter di atas, intensitas di tapak serta rincian efek tanah yang ada merupakan data sejarah terkait kegempaan yang perlu dikumpulkan dalam penentuan tapak [4]. Hasil evaluasi untuk analisis keselamatan berdasarkan aspek kegempaan wajib memberikan margin yang memadai diatas tingkat desain agar tidak terjadi kehilangan fungsi keselamatan yang fundamental.

Patahan permukaan atau sesar dapat diartikan sebagai pergerakan tanah/batuan akibat adanya gaya yang bekerja pada salah satu titik, sehingga menyebabkan retakan atau kerusakan [5]. Sesar permukaan terdiri dari sesar aktif, sesar tidak aktif (mati) dan sesar kapabel (capable fault). Sesar aktif ditandai dengan adanya gempa dangkal berskala besar ($M > 5.5$) dan minimal sekali bergerak dalam kurun waktu tertentu [6]. Sesar kapabel

adalah suatu patahan yang mempunyai potensi signifikan untuk terjadinya pergeseran pada atau dekat permukaan tanah dan menyebabkan patahan lain bergerak.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian kualitatif menjadi pilihan dalam penelitian ini. Instrumen pengumpul data pada penelitian ini menggunakan teknik kualitatif untuk deskripsi hasil gap analisis regulasi dari studi literatur [7]. Penelitian kualitatif yang beragam dapat dipandang sebagai brikolasi atau solusi [8], dimana hasil gap analisis regulasi dengan manual SNI 18-2034-1990 dapat menjadi suatu solusi untuk perbaikan manual SNI 18-2034-1990. Analisis dilakukan dengan mengadopsi kriteria keselamatan sebagai persyaratan untuk keamanan tapak PLTN aspek kegunaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil studi kesenjangan yang dilakukan antara standar SNI 18-2034-1990 tentang Pedoman penentuan tapak reaktor nuklir terhadap Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir ditunjukkan pada TABEL 1.

Tabel 1. Studi kesenjangan (*gap analysis*) SNI 18-2034-1990 terhadap Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2018

No.	Persyaratan (umum)	Existing	GAP
	Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2018	Manual SNI 18-2304-1990	
1.	Pasal 10 Ayat 1	Klausul 1.2 Peranan pemohon Pemohon harus bertanggung jawab dalam menyerahkan evaluasi mengenai tapak kepada Instansi Yang Berwenang, untuk mendemonstrasikan bahwa reaktor nuklir yang diusulkan dapat dibangun dan dioperasikan dengan aman pada tapak tersebut.	Sudah sesuai, namun tidak secara spesifik menyebutkan aspek kegunaan.
2.	Pasal 10 Ayat 2	Uraian tidak terdapat di dalam manual SNI 18-2304-1990	Pada manual SNI 18-2304-1990, tidak mencantumkan batasan wilayah/area evaluasi tapak untuk aspek kegunaan.
3.	Pasal 10 Ayat 3	Klausul 3.7.1 Seismologi dan geologi daerah tapak yang diusulkan harus dievaluasi.	Pada SNI 18-2304-1990 tidak menjelaskan secara eksplisit bahwa area evaluasi tapak bergantung pada karakteristik tektonik, hanya menyebutkan seismologi dan geologi.
4.	Pasal 11	Klausul 3.7.3 Dalam menentukan landasan disain untuk gempa bumi, pendekatan probabilistik, kombinasi dari kedua metode atau metode konservatif lainnya dapat diikuti. Klausul 3.7.4 Gerakan tanah bergetar yang digunakan sebagai landasan disain terhadap gempa bumi untuk tapak harus didefinisikan. Klausul 3.7.5 Gerakan tanah bergetar yang digunakan sebagai landasan disain untuk bangunan terhadap gempa bumi yang bukan merupakan bagian reaktor nuklir, yang	Pada SNI 18-2304-1990 tidak menjelaskan secara eksplisit bahwa perlu mencantumkan pembuatan model seismotektonik.

No.	Persyaratan (umum) Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2018	Existing Manual SNI 18-2304-1990	GAP
		kegagalannya mempunyai potensi membahayakan reaktor nuklir.	
5.	Pasal 12	<p>Klausul 3.7.1 Seismologi dan geologi daerah tapak yang diusulkan harus dievaluasi.</p> <p>Klausul 3.7.3 Dalam menentukan landasan disain untuk gempa bumi, pendekatan probabilistik, kombinasi dari kedua metode atau metode konservatif lainnya dapat diikuti.</p>	<p>Pada SNI 18-2304-1990 tidak mencantumkan secara eksplisit bahwa pengumpulan informasi dan investigasi dilaksanakan terhadap kondisi geofisik dan geoteknik.</p>
6.	Pasal 13 Ayat 1	<p>Klausul 3.4.2 Jika patahan permukaan ditemukan sebagai hasil penyelidikan tersebut, maka ia harus diperiksa untuk mengetahui apakah ia mampu menyebabkan penggeseran atau gempa bumi yang berarti.</p>	<p>Pada SNI 18-2304-1990 tidak mencantumkan secara eksplisit terkait indikasi patahan pada radius 5 (lima) kilometer serta pelaksanaan pengkajian potensi patahan kapabel.</p>
7.	Pasal 13 Ayat 2	<p>Uraian tidak terdapat di dalam manual SNI 18-2304-1990</p>	<p>Pada SNI 18-2304-1990 tidak menyebutkan indikasi patahan dalam radius 5 (lima) kilometer bergantung pada kondisi geologi dan tektonik.</p>
8.	Pasal 13 Ayat 3	<p>Uraian tidak terdapat di dalam manual SNI 18-2304-1990</p>	<p>Pada SNI 18-2304-1990 tidak menjelaskan informasi terkait patahan kapabel sesuai yang tercantum di dalam Perka Bapeten No. 4 Tahun 2018 Pasal 13 Ayat 3 poin a, b dan c.</p>
9.	Pasal 14	<p>Uraian tidak terdapat di dalam manual SNI 18-2304-1990</p>	<p>Pada SNI 18-2304-1990 tidak mencantumkan terkait pembuatan model seismotektonik menggunakan sumber jenis gempa sesuai dalam Perka Bapeten No. 4 Tahun 2018 Pasal 14 poin a dan b.</p>
10.	Pasal 15 Ayat 1	<p>Uraian tidak terdapat di dalam manual SNI 18-2304-1990</p>	<p>Pada SNI 18-2304-1990 tidak mencantumkan terkait evaluasi bahaya gerakan tanah dilakukan dalam periode ulang 500 tahun dan 10.000 tahun.</p>
11.	Pasal 15 Ayat 2	<p>Uraian tidak terdapat di dalam manual SNI 18-2304-1990</p>	<p>Pada SNI 18-2304-1990 tidak menjelaskan secara eksplisit bahwa PET harus memastikan percepatan tanah puncak di tapak pada periode ulang 10.000 tahun tidak melampaui 0,6 g pada level fondasi sesuai dalam Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2018.</p>
12.	Pasal 16	<p>Uraian tidak terdapat di dalam manual SNI 18-2304-1990</p>	<p>Terkait evaluasi tapak instalasi nuklir khususnya aspek kegempaan, SNI 18-2304-1990 tidak merujuk pada standar yang lain.</p>

Dari hasil studi kesenjangan (*gap analysis*) yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesenjangan antara yang telah ditetapkan oleh regulasi, yaitu Peraturan Kepala Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir terhadap SNI 18-2034-1990 tentang Pedoman penentuan tapak reaktor nuklir dalam penentuan tapak reaktor nuklir agar dalam pengoperasian reaktor nuklir berlangsung dengan aman dan selamat. Pada Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 10 Ayat 2 menguraikan bahwa evaluasi tapak pada aspek kegempaan harus dilaksanakan pada berbagai area dengan radius tertentu, hal ini berkaitan dengan keselamatan instalasi nuklir yang akan dibangun disekitar area tapak. Namun, uraian tersebut tidak tercantum didalam standar SNI 18-2034-1990, sehingga perlu penyesuaian kembali terhadap standar tersebut dengan mencantumkan area evaluasi tapak aspek kegempaan pada berbagai area dengan batas radius tertentu. yaitu area dengan radius paling sedikit 300 (tiga ratus) kilometer, area dengan radius paling sedikit 25 (dua puluh lima) kilometer, area dengan radius paling sedikit 5 (lima) kilometer; dan area dengan radius paling sedikit 1 (satu) kilometer.

Selain itu, pada Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 10 Ayat 3 menyatakan bahwa area evaluasi tapak yang dimaksud dalam berbagai area tersebut harus dilakukan dengan bergantung pada karakteristik geologi dan tektonik, hal ini dikarenakan terjadinya gempa bumi lebih banyak disebabkan oleh pergeseran lapisan kulit bumi akibat lepasnya energi dibandingkan dengan gempa bumi yang disebabkan oleh letusan gunung berapi. Namun, dalam standar SNI 18-2034-1990 hal tersebut tidak menjelaskan secara jelas bahwa area evaluasi tapak dilakukan bergantung pada karakteristik geologi dan tektonik, melainkan hanya bergantung pada seismologi dan geologi. Hal tersebut merupakan dua hal yang berbeda, sehingga dalam SNI 18-2034-1990 diberikan suatu rekomendasi untuk mencantumkan bahwa area evaluasi tapak bergantung juga pada karakteristik seismologi, geologi dan tektonik terutama pada patahan aktif (patahan kapabel). Hal tersebut dikarenakan bahwa gempa bumi tidak hanya disebabkan oleh gelombang seismik saja, tetapi juga disebabkan oleh pergeseran lapisan kulit bumi akibat lepasnya energi.

Lebih lanjut lagi, dalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 11 dijelaskan bahwa dalam melaksanakan evaluasi tapak instalasi nuklir untuk aspek kegempaan terhadap tapak dan wilayah sekitarnya, pemohon evaluasi tapak harus melaksanakan evaluasi tapak dengan melalui berbagai tahapan diantaranya a) pengumpulan informasi dan investigasi terkait kegempaan; b) pembuatan model seismotektonik, dan c) evaluasi bahaya gerakan tanah. Regulasi tersebut dijawab didalam SNI 18-2034-1990 tepatnya dalam klausul 3.7.3, 3.7.4 dan 3.7.5. yang berbunyi "Dalam menentukan landasan disain untuk gempa bumi, pendekatan probabilistik, kombinasi dari kedua metode atau metode konservatif lainnya dapat diikuti". Namun, ketiga klausul tersebut masih belum memenuhi regulasi yang disebutkan di dalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 11 terkait pembuatan model seismotektonik, sehingga untuk SNI 18-2034-1990 diberikan suatu rekomendasi untuk mencantumkan pembuatan model seismotektonik dalam melaksanakan evaluasi tapak instalasi nuklir. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui patahan yang mempengaruhi aktivitas seismik pada suatu daerah dengan menganalisis tektonik regional dan rekaman data seismik.

Dalam penentuan tapak instalasi nuklir untuk menjamin keselamatan, pengumpulan informasi dan investigasi kegempaan dalam penentuan tapak instalasi nuklir harus dilaksanakan terhadap kondisi geologi, geofisik, geoteknik dan seismologi, hal ini diatur dalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 12. Regulasi tersebut dijawab dengan SNI 18-2034-1990 pada klausul 3.7.1 dan 3.7.2. Akan tetapi, masih terdapat kesenjangan antara keduanya, dimana dalam SNI 18-2034-1990 tidak mencantumkan secara eksplisit bahwa pengumpulan informasi dan investigasi dilaksanakan terhadap kondisi geofisik dan geoteknik, sehingga diberikan suatu rekomendasi pada standar tersebut untuk menambahkan substansi tersebut dan dengan merubah kata seismologi menjadi gempa. Hal tersebut dikarenakan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya gempa dapat pula disebabkan oleh sifat-sifat fisika dalam bumi yang tidak dapat dilihat oleh mata. Begitu pula bahwa untuk pembangunan reaktor nuklir juga perlu menganalisa sifat-sifat tanah yang akan menopang bangunan reaktor nuklir.

Dijelaskan lebih lanjut terkait pengumpulan informasi dan invenstigasi kegempaan, jika dari kegiatan tersebut ditemukan suatu indikasi patahan dalam area dengan radius 5 (lima) kilometer dari tapak, maka perlu dilakukan pengkajian potensi patahan kapabel. Hal tersebut tercantum didalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 13 Ayat 1. Regulasi tersebut dijawab dalam SNI 18-2034-1990 pada klausul 3.4.2 dimana pada standar berbunyi "Jika patahan permukaan ditemukan sebagai hasil penyelidikan tersebut, maka ia harus diperiksa untuk mengetahui apakah ia mampu menyebabkan penggeseran atau gempa bumi yang berarti" Dari standar tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat kesenjangan antara keduanya, dimana pada standar tidak menjelaskan secara eksplisit terkait radius pada indikasi patahan dan pelaksanaan pengkajian potensi patahan kapabel. Sehingga dari hasil studi kesenjangan diberikan suatu rekomendasi untuk mencantumkan radius untuk indikasi patahan dan pelaksanaan pengkajian potensipatahan kapabel. Radius 5 (lima) kilometer yang dimaksud dalam regulasi Perka Bapeten Pasal 13 Ayat 2 harus bergantung pada kondisi geologi dan tektonik. Hal tersebut tidak terjawab di dalam SNI 18-2034-1990, sehingga uraian tersebut perlu dicantumkan ke dalam standar tersebut.

Adapun patahan kapabel yang disebutkan sebelumnya memiliki berbagai kualifikasi untuk dapat dikatakan sebagai patahan kapabel. Kualifikasi tersebut tercantum di dalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 13 Ayat 3, dimana terdiri dari 3 kualifikasi yang berkaitan dengan patahan kapabel. Namun, dalam SNI 18-2034-1990 tidak ada sama sekali kualifikasi terkait patahan kapabel. Sehingga hal-hal yang berkaitan dengan kualifikasi patahan kapabel perlu dicantumkan ke dalam standar tersebut. Hal ini bertujuan untuk memberikan

suatu informasi lebih lanjut terkait pengertian maupun kejadian yang dapat dikategorikan sebagai patahan kapabel. Seperti yang telah dijelaskan dalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 11 huruf b, pembuatan model seismotektonik dilakukan menggunakan data dari 2 (dua) jenis sumber gempa, dimana penjelasan lebih lanjut dijelaskan dalam Pasal 14. Pada Pasal 14, 2 jenis sumber gempa yang dimaksud, yaitu a) struktur seismogenik yang meliputi semua struktur seismogenik yang berkontribusi secara signifikan terhadap bahaya gerakan tanah dan pergeseran patahan; dan b) zona seismisitas menyebar yang meliputi area yang diasumsikan mempunyai potensi gempa yang sama. Akan tetapi, dua jenis sumber gempa dalam pembuatan model seismotektonik yang dimaksud pada Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 tidak dijelaskan di dalam SNI 18-2034-1990, sehingga diberikan suatu rekomendasi untuk mencantumkan hal tersebut ke dalam SNI 18-2034-1990.

Evaluasi bahaya gerakan tanah sebagaimana dimaksud dalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 11 huruf c harus dilaksanakan untuk periode ulang 500 (lima ratus) dan 10.000 (sepuluh ribu) tahun, hal ini tercantum di dalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 15 Ayat 1. Namun dari hasil studi kesenjangan, pelaksanaan evaluasi bahaya gerakan tanah tidak diatur di dalam SNI 18-2034-1990, sehingga pelaksanaan evaluasi bahaya gerakan tanah pada periode ulang 500 dan 10.000 tahun perlu dicantumkan ke dalam SNI 18-2034-1990. Adapun dalam melaksanakan evaluasi bahaya gerakan tanah yang dimaksud dalam Perka Bapeten Nomor 4 Tahun 2018 Pasal 15 Ayat 1, pemohon evaluasi tapak harus memastikan percepatan tanah puncak di tapak dengan periode ulang 10.000 (sepuluh ribu) tahun tidak melampaui 0,6 g (nol koma enam gal) pada level fondasi, hal ini diatur di dalam Pasal 15 Ayat 2. Hasil studi kesenjangan menunjukkan tidak terdapat uraian yang menjelaskan terkait hal tersebut di dalam SNI 18-2034-1990, sehingga uraian tersebut perlu dimasukkan ke dalam manual SNI 18-2034-1990. Akan tetapi, dalam penulisan satuan dalam dokumen standar perlu mengacu pada pedoman baku penulisan SNI, dimana satuan dituliskan dalam satuan standar internasional [9]. Sehingga pernyataan terkait 0,6 gal dikonversi menjadi satuan standar internasional yang setara dengan $0,006 \text{ m/s}^2$.

KESIMPULAN

Potensi bahaya eksternal alamiah dalam pemilihan tapak PLTN meliputi aspek kegunaan dengan kriteria keamanan berdasarkan hasil studi kesenjangan (*gap analysis*) yang dilakukan bahwa pada kriteria evaluasi tapak aspek kegunaan dipersyaratkan menunjukkan bahwa pada peraturan yang ditetapkan oleh regulasi lebih ketat dan lebih rinci. Hal ini dikarenakan dalam pembangunan dan pengoperasian reaktor nuklir diharapkan dapat berlangsung dengan aman dan selamat. Pada peraturan yang ditetapkan oleh regulasi dinyatakan bahwa organisasi yang akan membangun instalasi nuklir harus menetapkan standar yang memenuhi ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI). Saat ini, SNI yang mengatur tentang Pedoman penentuan tapak reaktor nuklir adalah SNI ISO 18-2034-1990. Berdasarkan studi kesenjangan (*gap analysis*) yang dilakukan, terdapat beberapa hal yang belum tercantum dalam SNI ISO 18-2034-1990. Beberapa hal yang harus ditambahkan antara lain terkait area radius tertentu evaluasi tapak, area evaluasi tapak yang bergantung pada karakteristik seismologi, geologi dan tektonik, pembuatan model seismotektonik pada area evaluasi tapak. Oleh sebab itu, SNI ISO 18-2034-1990 yang telah disusun sejak tahun 1990 perlu di revisi dan di mutakhirkan karena standar tersebut sepadan dengan regulasi, sehingga harmonis dan memenuhi sebagaimana yang telah dipersyaratkan oleh regulasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada ex Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-ex BATAN yang telah memberi kesempatan untuk melakukan penelitian ini dan mengarahkan dan memberi masukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, "Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir", Jakarta, 2018
- [2] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 18-2034-1990 tentang Pedoman penentuan tapak reaktor nuklir", Jakarta, 1982
- [3] Suntoko, Hadi, "Kajian Aspek Keselamatan Tapak PLTN di Ujung Lemah Abang, Sebagai Lokasi yang Aman dari Bahaya Kejadian Eksternal Alamiah", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 2 No. 2, Desember 2010.
- [4] IAEA "Site Evaluation for Nuclear Installations", IAEA Safety Standards No. NS-R-3, Safety Requirements, Vienna, 2016.
- [5] ROSHAN A.D., et.al., "Monograph on Siting of Nuclear Power Plant", Atomic Energy Regulatory Board, Mumbai India.
- [6] IAEA, "A Methodology to Assess the Safety Vulnerabilities of Nuclear Power Plants Against Site Specific Extreme Natural Hazards", IAEA Safety Related Publications, 2011.
- [7] IAEA, "Earthquakes and Associated Topics in relation to Nuclear Power Plant Siting" Safety series no. 50-SG-S1 (rev.1), IAEA Vienna, 1991.

- [8] BURGAZZI, L, et.al., "Risk Analysis of Nuclear Power Plants Against External Events", Report Ricerca Di Sistema Elettrico, September 2014.
- [9] Creswell, J.W, Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed. Terjemahan Fawaid, A. Yogyakarta, Pustaka Pelajar, 2013
- [10] Rukin, Metode Penelitian Kualitatif, Takalar, Yayasan Ahmar Cendekia Indonesia, 2019
- [11] Badan Standardisasi Nasional, Peraturan Kepala Badan Standardisasi Nasional Nomor 4 Tahun 2016 tentang Pedoman Penulisan Standar Nasional Indonesia, Jakarta, Kemenkumham RI, 2016



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



USULAN PENINGKATAN KEMAMPULAKSANAAN PERATURAN KEPALA BAPETEN NO. 7 TAHUN 2013 KAITANNYA TERHADAP PEMANTAUAN LEPASAN ZAT RADIOAKTIF KE UDARA PADA FASILITAS NUKLIR

Pandu Dewanto^{1, a)}, Nurhadiansyah^{2, b)}

^{1,2} Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif,
Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Indonesia

^{a)}p.dewanto@bapeten.go.id

^{b)}n.nurhadiansyah@bapeten.go.id

Abstrak. Peraturan Kepala BAPETEN No.7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan juncto Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 menyatakan bahwa pemantauan lepasan ke lingkungan dilakukan secara terus-menerus selama kegiatan operasi merupakan bentuk pertanggungjawaban publik pada kondisi normal. Praktik pada saat ini, pemantauan lepasan ke udara (gas dan aerosol) dilakukan secara berkala dengan pengambilan sampel filter di cerobong (*stack*) dan diukur dengan menggunakan spektrometer gama. Tetapi pemantauan gross sebagai dasar pemantauan radionuklida di fasilitas pada kondisi saat ini belum sesuai dengan pemantauan per-radionuklida yang merupakan amanat dari Peraturan Kepala BAPETEN No.7 Tahun 2013. Makalah ini mengusulkan fasilitas melakukan pemantauan lepasan zat radioaktif ke udara dilakukan dengan penerapan pendekatan bertingkat. Studi ini juga mengusulkan perlu adanya suatu panduan yang dapat mengatur pelaksanaan pemantauan lepasan zat radioaktif ke udara agar ketidaksesuaian dan kesenjangan terhadap pemenuhan amanat Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 dapat diatasi.

Kata kunci: radioaktivitas lingkungan, radionuklida, lepasan.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan tenaga nuklir ataupun kegiatan yang menggunakan bahan atau zat radioaktif yang menghasilkan lepasan, baik dalam bentuk gas ataupun cair dapat menimbulkan paparan radiasi terhadap anggota masyarakat dan lingkungan. Lepasannya radionuklida ke atmosfer dan lingkungan akuatik mungkin juga terjadi sebagai akibat dari kondisi operasi kegiatan normal suatu fasilitas. Dalam hal ini lepasan gas maupun cair yang dihasilkan perlu dikelola secara cermat agar tidak menimbulkan paparan radiasi yang tidak diinginkan terhadap anggota masyarakat dan lingkungan. Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Peninggian dan Keamanan Sumber Radioaktif pasal 27 ayat 1 mengatur bahwa Pemegang Izin wajib melaksanakan pemantauan radioaktivitas lingkungan secara terus menerus, berkala, dan/atau sewaktu-waktu [1]. Dalam pasal tersebut juga dijelaskan bahwa tingkat radioaktivitas lingkungan tidak boleh melebihi nilai batas radioaktivitas lingkungan yang ditetapkan oleh BAPETEN. Ketentuan mengenai nilai batas radioaktivitas lingkungan diatur lebih lanjut dengan Peraturan Kepala BAPETEN.

BAPETEN telah melakukan Kajian Penentuan Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan pada tahun 2010 [2] yang menjadi masukan dalam penyusunan produk turunan Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 yaitu penyusunan Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan.

Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 menjadi acuan diterbitkannya Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan [3] yang disempurnakan dengan Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan [4]. PP No.33 Tahun 2007 juga menjadi acuan diterbitkannya Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Pada Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013 di pasal 25 menyebutkan bahwa Pemegang Izin untuk

memastikan tidak terlampauinya Nilai Batas Dosis sebagaimana terdapat pada Tabel 1, serta wajib melakukan pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi [5]. Selain hal tersebut, sesuai amanat pasal 5 Perka BAPETEN No.7 Tahun 2013 menyatakan pula bahwa pemantauan lepasan ke lingkungan dilakukan secara terus-menerus selama kegiatan operasi merupakan tujuan untuk pertanggungjawaban publik pada kondisi normal.

Tabel 1. Besaran Nilai Batas Dosis (NBD) untuk anggota masyarakat [5].

Nilai Batas Dosis untuk anggota masyarakat	
Dosis Efektif	1 mSv/tahun
Dosis Ekuivalen lensa mata	150 mSv/tahun
Dosis Ekuivalen kulit	59 mSv/tahun

Praktik saat ini, untuk lepasan efluen udara (gas dan aerosol), pelaksanaan pembacaan pengukuran dilakukan secara berkala dengan pengambilan sampel filter di cerobong (*stack*) dan diukur dengan menggunakan spektrometer gama [6]. Namun, pemantauan gross sebagai dasar pemantauan radionuklida di fasilitas pada kondisi saat ini belum sesuai dengan pemantauan per-radionuklida yang merupakan amanat dari Peraturan Kepala BAPETEN No.7 tahun 2013. Ketidaksihinggaan serta kesenjangan antara kondisi saat ini dan peraturan yang belaku menjadi latar belakang dari studi tinjauan ini. Selama ini pemantauan gross menjadi justifikasi pemantauan lepasan per-radionuklida dikarenakan faktor ketersediaan sarana dan prasana peralatan pemantauan per-radionuklida yang belum memadai di fasilitas. BAPETEN sebagai Badan Pengawas memiliki tanggung jawab kepada publik untuk dapat memiliki informasi hasil pemantauan radionuklida apa saja yang dilepaskan ke lingkungan oleh fasilitas. Hal ini sudah dituangkan kedalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 dengan diamanatkannya pemantauan per-radionuklida. Dengan adanya kendala ketersediaan peralatan pemantauan per-radionuklida di fasilitas berimplikasi terhadap kemampuserapan Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013. Masalah kemampuserapan Peraturan terkait pemantauan per-radionuklida inilah yang menjadi fokus pembahasan pada tinjauan ini.

Dalam rangka meningkatkan kemampuserapan Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan juncto Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala No. 7 Tahun 2013, perlu adanya kesepahaman baik dari pihak Badan pengawas maupun Pemegang Izin (PI) terhadap isi dan cara penerapan Perka BAPETEN tersebut.

Guna memenuhi pemantauan lepasan zat radioaktif ke udara secara terus – menerus dan tetap memantau lepasan per-radionuklida, perlu dilakukan pengukuran sampel filter di cerobong untuk lepasan efluen udara. Sampel filter tersebut selanjutnya dicacah di laboratorium gama spektrometri untuk mengetahui radionuklida yang terkandung berdasarkan pendekatan bertingkat sesuai dengan proses bisnis fasilitas. Hal ini sesuai dengan poin 5.2 dalam dokumen IAEA *General Safety Guide No. GSG-9 Regulatory Control of Radioactive Discharge to the Environment* yang menyatakan bahwa Badan Pengawas harus membangun proses otorisasi kepada fasilitas dan kegiatan termasuk didalamnya terkait lepasan dengan menggunakan konsep pendekatan bertingkat yang berdasarkan potensi dampak radiologi kepada masyarakat dan lingkungan [7]. Dalam menjalankan pendekatan bertingkat tersebut, perlu adanya suatu acuan yang dapat mengatur pelaksanaan pemantauan lepasan zat radioaktif ke lingkungan oleh fasilitas khususnya lepasan ke udara berdasarkan proses bisnis fasilitas tersebut agar amanat Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 dapat diimplementasikan dengan lebih mudah serta secara utuh dan menyeluruh (*good practise*).

TINJAUAN PUSTAKA

Penyusunan makalah ini berdasarkan tinjauan dari beberapa literatur baik laporan evaluasi pemantauan lingkungan serta peraturan terkait dengan lepasan radioaktivitas ke udara yang diterbitkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).

Dokumen IAEA Tecdoc No. 1092 *Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency* [8] menjadi acuan dalam prosedur pengukuran sampel udara dan prosedur penggunaan spektrometer gama yang akan dimasukkan ke dalam dokumen acuan yang mengatur pelaksanaan pemantauan lepasan zat radioaktifitas ke lingkungan oleh fasilitas. Sedangkan bila menjadikan US.NRC tolak ukur, posisi Badan Pengawas berdasarkan dokumen US.NRC *Regulatory Guide 4.16 Monitoring and Reporting Radioactive Materials in Liquid and Gaseous Effluents from Nuclear Fuel Cycle Facilities*, menyatakan bahwa Badan Pengawas memiliki peran diantaranya mengatur metode analisis sampel, program pengambilan sampel, jaminan mutu, analisis sampel gas dan cairan, perkiraan paparan, dan hasil laporan [9].

Pentingnya pemantauan per-radionuklida dalam rangka memperkirakan laju lepasan rata-rata tahunan untuk model penyaringan yang membutuhkan informasi jumlah dan jenis radionuklida yang dilepaskan, mode pelepasan dan titik pelepasan [10] sesuai dengan dokumen IAEA *Safety Report Series No. 19 Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substance to the Environment* poin 2.2.1.

BAPETEN memberikan acuan Nilai Batas Lepasn Radioaktivitas Lingkungan untuk Pelepasan ke Udara sebagaimana tercantum dalam Lahiran 1 Tabel 1 Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2017. Tabel dalam lampiran tersebut merupakan kriteria lepasan umum (*generic release criteria*) untuk fasilitas kedokteran nuklir

dan fasilitas penelitian dan pengembangan terkait pemanfaatan selain fasilitas produksi radioisotop, fasilitas pengelolaan limbah radioaktif, fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir, fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir, fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir bekas, reaktor non daya dan reaktor daya. Fasilitas yang tidak termasuk di dalam kriteria lepasan umum (*generic release criteria*), maka harus menerapkan kriteria lepasan spesifik (*specific release criteria*). Mengacu pasal 6 ayat 1, fasilitas tersebut harus menetapkan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke lingkungan untuk tujuan desain proteksi radiasi fasilitas. Hal ini juga sesuai dengan dokumen IAEA *Safety Guide No. WS-G-5.1 Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices*, di poin 4.10 disebutkan bahwa untuk keperluan evaluasi potensi dampak radiologi yang dikaitkan dengan fasilitas setelah merilis lepasan, maka perlu diperhitungkan semua jalur paparan yang relevan. Kajian dosis yang melibatkan jalur paparan langsung, inhalasi dan injeksi penting dipergunakan untuk bisa menurunkan kriteria rilis dalam Bq/g atau Bq/cm². Dua macam pendekatan bisa dilakukan yaitu Badan Pengawas mengembangkan kriteria lepasan umum (*generic release criteria*) yang dapat digunakan oleh fasilitas, dan pendekatan kedua, fasilitas menurunkan kriteria lepasan spesifik fasilitas dengan berbasis proses optimisasi [11].

Selain itu, dipergunakan pula dokumen IAEA General Safety Guide (GSG) No. 9 *Regulatory Control of Radioactive Discharge to the Environment* sebagai acuan yang dipergunakan dalam meninjau permasalahan yang ada. Dalam dokumen tersebut dinyatakan bahwa fasilitas dan kegiatan yang menimbulkan risiko radiasi harus dirancang, dibangun, disahkan, dioperasikan, dan dipelihara untuk mencegah pelepasan radioaktif ke lingkungan atau meminimalkan konsekuensi pelepasan dan untuk memberikan tingkat perlindungan yang memadai bagi masyarakat dan lingkungan [7].

Disebutkan di awal, untuk menentukan sebuah fasilitas harus melakukan pemantauan per-radionuklida perlu dilakukan pendekatan bertingkat. Konsep pendekatan bertingkat tersebut dapat berdasarkan kriteria proses bisnis fasilitas dan asumsi pendukungnya, komposisi radionuklida, bentuk fisika dan kimia dari radionuklida, rute lepasan dan titik lepasan, total keseluruhan variasi radionuklida yang diperkirakan dilepas dalam satu tahun dan perkiraan pola waktu lepasan, termasuk lepasan dalam jangka waktu singkat. Kriteria pendekatan di atas, mengacu dan tercantum dalam bab 2 dokumen IAEA *Tecdoc- 1638 Setting Authorized Limits for Radioactive Discharge: Practical Issues to Consider* [12].

Selama pelaksanaan *safety assessment* sebagai bagian dari proses perizinan, pengoperasian fasilitas yang mungkin melepaskan radionuklida harus dianalisis, dievaluasi serta ditentukan kondisi operasinya. Umumnya data berikut ini ditetapkan sebagai bagian dari proses perizinan [13]:

- a. perkiraan spektrum radionuklida yang dilepaskan dalam berbagai kondisi pengoperasian termasuk kondisi abnormal;
- b. paparan melalui jalur paparan penting yang berkontribusi ke dosis yang diperkirakan karena lepasan;
- c. nilai batas lepasan.

Acuan utama yang dipergunakan dalam melakukan tinjauan ini yaitu Peraturan Kepala BAPETEN No.7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan juncto Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 [3][4] dengan fokus utama dilakukannya pembahasan tentang pemantauan lepasan ke lingkungan termuat di dalam. Peraturan Kepala BAPETEN No.7 Tahun 2013 tersebut merupakan penjabaran dari pengawasan paparan masyarakat dan paparan lingkungan yang merupakan amanat dari Peraturan Pemerintah (PP) No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [1]. Pada PP No.33 tahun 2007 Pasal 24 menyatakan bahwa Pemegang Izin, untuk memastikan Nilai Batas Dosis bagi pekerja dan masyarakat tidak terlampaui, wajib melakukan diantaranya pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi.

Pada PP No.33 tahun 2007 tersebut menyatakan pula bahwa Pemegang Izin wajib melaksanakan pemantauan radioaktivitas lingkungan secara terus-menerus, berkala, dan/atau sewaktu-waktu. Dan dinyatakan pula tingkat radioaktivitas lingkungan tidak boleh melebihi nilai batas radioaktivitas lingkungan yang ditentukan oleh BAPETEN.

Untuk menjalankan PP No.33 tahun 2007 dan sejalan dengan Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2013, terdapat pula Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, yang mewajibkan Pemegang Izin untuk melaksanakan pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi sesuai dengan Rencana Pengelolaan Lingkungan (RKL) dan Rencana Pemantauan Lingkungan (RPL)[5]. Pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi tersebut meliputi udara, tanah, air dan biota.

HASIL DAN DISKUSI

Kondisi Terhadap Implementasi Perka BAPETEN 7 Tahun 2013

Mengacu pada Pasal 5 Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2013 dinyatakan bahwa pemantauan lepasan ke lingkungan harus dilakukan secara terus-menerus selama kegiatan operasi. Saat ini, terdapat fasilitas yang melakukan pemantauan lepasan secara terus-menerus hanya pada saat terdapat kegiatan operasi secara fungsional saja. Kegiatan tersebut dilaksanakan dengan asumsi jika fasilitas tidak beroperasi maka sistem VAC juga dalam kondisi tidak beroperasi dan tidak menyebabkan adanya lepasan. Meskipun demikian terdapat

fasilitas yang tidak melakukan kegiatan operasi secara fungsional, tetapi sistem VAC selalu dalam kondisi menyala atau ON.

Beberapa fasilitas memiliki peralatan pemantauan lepasan cerobong terus-menerus yang dapat ditampilkan secara langsung (*realtime*) terhadap radionuklida yang dilepaskan. Praktik pemantauan lepasan secara terus-menerus selama kegiatan operasi yang saat ini dilakukan oleh beberapa fasilitas antara lain meliputi: praktik pemantauan gross alfa dan beta untuk lepasan efluen udara; praktik pemantauan iodine untuk lepasan efluen udara; dan praktik pemantauan partikulat untuk lepasan efluen udara.

Tipe teknik pemantauan lepasan menurut dokumen IAEA *Safety Report Series No. 64 Programmes and System for Source and Environmental Radiation Monitoring* [14] terbagi menjadi dua yaitu:

1. Pemantauan lepasan *online* (pengambilan sampel dan pengukuran secara terus-menerus)
2. Pemantauan lepasan *offline* yang terdiri dari:
 - a. Pengambilan sampel terus-menerus dan pengukuran laboratorium konsentrasi aktivitas sampel
 - b. Pengambilan sampel *intermittent* (jeda) dan pengukuran laboratorium konsentrasi aktivitas sampel.

Pengambilan sampel efluen udara yang selama ini dilakukan adalah pengukuran lepasan yang keluar dari cerobong yang ada pada fasilitas. Sedangkan parameter yang dipantau dalam pelaksanaan kegiatan meliputi: pemantauan lepasan cerobong gross alfa dan beta, pemantauan lepasan iodine, dan pemantauan partikulat. Lokasi pemantauan lepasan melalui cerobong/stack ini dilakukan di ruang stack monitor dan dapat dipantau melalui ruang keselamatan. Selain itu dilakukan proses penggantian filter untuk lepasan efluen udara.

Penentuan radionuklida yang harus diukur, didasarkan suku sumber yang telah ditetapkan oleh fasilitas berdasarkan dokumen perizinan yang telah disetujui oleh BAPETEN. Selain itu, frekuensi pelaksanaan kegiatan pemantauan lepasan melalui cerobong secara terus menerus belum dilakukan oleh semua fasilitas. Masih terdapat fasilitas yang mengalami kendala untuk melakukan pemantauan secara terus-menerus selama 24 jam dalam tujuh hari terhadap jenis radionuklida yang dilepaskan.

Kondisi Yang Diharapkan

Pemantauan dengan pengambilan sampel udara menggunakan alat yang terpasang di cerobong, di mana terdapat atau diletakkannya stack monitor, merupakan cara, teknik, atau metode yang digunakan dalam pelaksanaan kegiatan pemantauan lepasan cerobong. Fasilitas diharapkan untuk melakukan pemantauan secara terus-menerus selama 24 jam dalam tujuh hari terhadap lepasan radioaktivitas gross alfa dan beta ke udara. Fasilitas yang tidak memiliki peralatan pemantauan per-radionuklida, diharapkan untuk melakukan pengukuran filter dengan pencacahan menggunakan pencacah beta-gama, pemantau iodine dan/atau spektrometer gama. Kegiatan tersebut dilakukan untuk mendapatkan perkiraan radionuklida yang dilepaskan melalui cerobong. Hasil yang diperoleh dari pelaksanaan kegiatan ini adalah terpantaunya jenis dan jumlah lepasan dari *stack* pada fasilitas. Jika lepasan radionuklida dominan telah ditentukan, maka pemantauan gross tetap dapat dilakukan dengan asumsi lepasan yang keluar dari pemantau cerobong didominasi oleh radionuklida tersebut. Penentuan radionuklida dominan didasarkan kepada proses bisnis fasilitas. Jika terdapat kejadian lepasan melebihi batas, maka investigasi lebih lanjut perlu dilakukan dengan menggunakan spektrometer gama.

Tindak lanjut hasil pemantauan bila terdapat indikasi nilai lepasan yang melebihi batas, maka proses produksi atau kegiatan pemanfaatan lainnya akan secepatnya dihentikan, kemudian dilakukan isolasi dan dekontaminasi dengan mengoptimalkan kinerja sistem VAC serta dilakukan pemantauan kontaminasi udara. Satuan nilai lepasan yang perlu diperhatikan yaitu radioaktivitas per satuan waktu (Bq/minggu atau Bq/jam).

Selama proses dekontaminasi, analisis terhadap penyebab lepasan, dan tindakan teknis untuk mencegah terjadinya lepasan, fasilitas melakukan pengukuran filter dengan menggunakan spektrometer gama bila terdapat kejadian lepasan melebihi batas.

Hasil evaluasi dari pemantauan lepasan ke udara dapat digunakan sebagai dasar melakukan pemeriksaan HEPA filter VAC. Proses penggantian HEPA filter VAC bersifat rutin dan berkala, tetapi tetap memperhatikan kondisi, keadaan, dan kinerja filter. Proses penggantian filter dilakukan berdasarkan tingkat kejenuhan HEPA filter VAC dengan melihat parameter tekanan udara dan laju alir.

Tinjauan Dan Usulan Terhadap Pelaksaaan Kondisi Saat Ini

Di dalam pembahasan makalah ini, penulis mengusulkan perlu adanya pedoman bagi pemegang izin yang memuat alur pemantauan lepasan berdasarkan suku sumber, proses bisnis dan peralatan detektor yang dimiliki oleh fasilitas dalam rangka meningkatkan penerapan Perka 7 Tahun 2013. Pedoman ini nantinya juga menjadi acuan bagi Pemegang Izin untuk melakukan pengukuran sampel efluen udara dengan spektrometer gama sebagai justifikasi untuk memenuhi persyaratan pemantauan terus menerus yang dipersyaratkan di Perka 7 tahun 2013.

Pemantauan terus-menerus selama kegiatan operasi merupakan kegiatan pemantauan lepasan yang dilakukan dalam kurun waktu izin operasi. Kegiatan tersebut dilakukan 24 jam selama tujuh hari secara terus-menerus walaupun sistem VAC dalam kondisi mati (OFF). Fasilitas bisa tidak melakukan pemantauan lepasan secara terus-menerus, dengan mempertimbangkan pendekatan bertingkat sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Fasilitas diharapkan untuk melakukan kajian justifikasi keselamatan bilamana mengalami kendala untuk melakukan pemantauan secara terus-menerus selama 24 jam dalam tujuh hari terhadap jenis radionuklida yang

dilepaskan. Kajian justifikasi tersebut harus dapat memberikan penjelasan bahwa tidak terdapat dampak signifikan terhadap pemantauan lepasan radionuklida bila tidak dilakukan pemantauan 24 jam selama tujuh hari.. Perlu diperhatikan pula penyesuaian untuk satuan nilai lepasan (dalam Bq/minggu atau Bq/jam) untuk memenuhi persyaratan nilai lepasan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

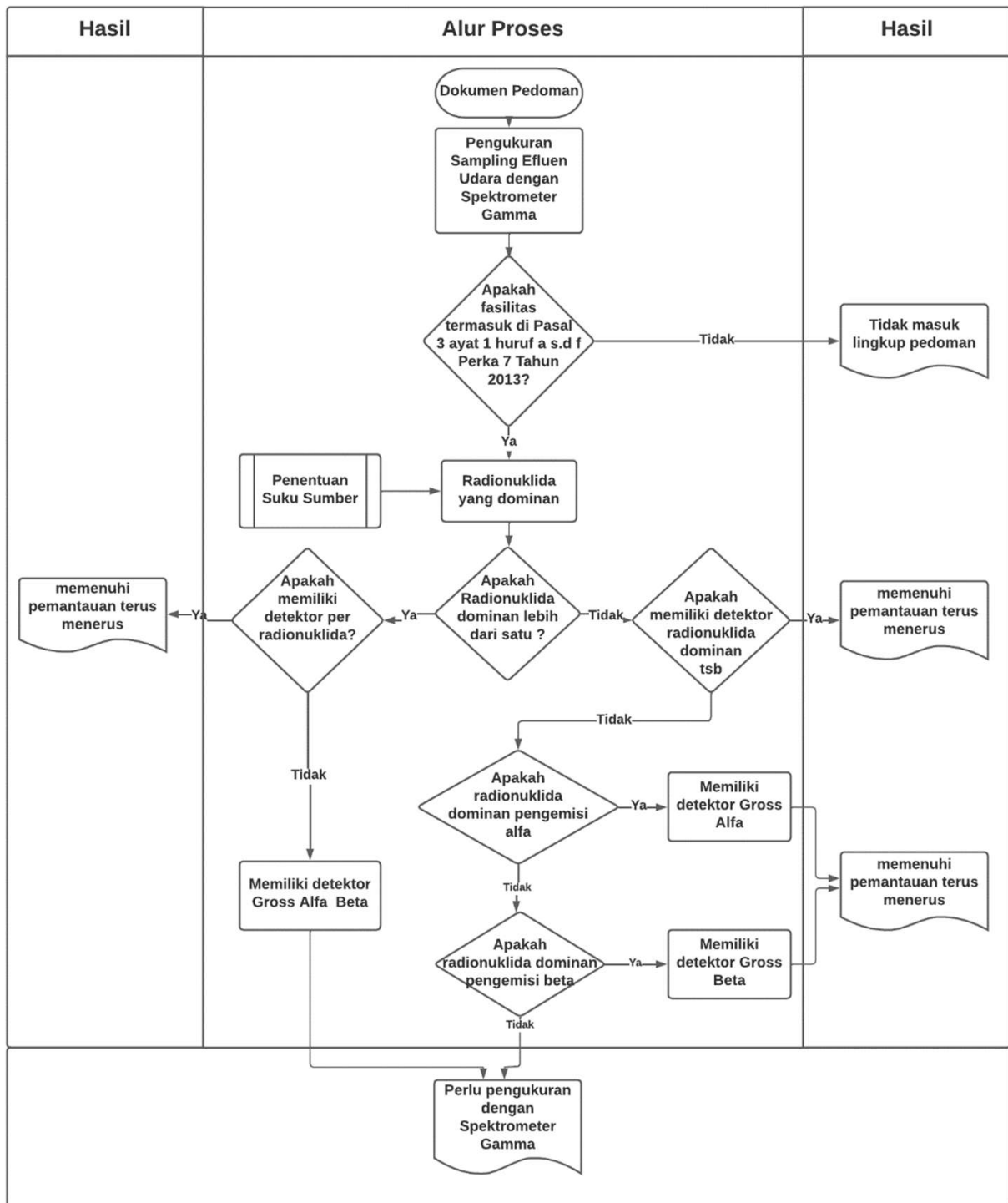
Fasilitas yang memiliki peralatan pemantauan lepasan di cerobong yang memantau lepasan per-radionuklida dapat terus menjalankan praktik yang sudah berlangsung. Selain itu fasilitas dapat mengacu Alur Pemantauan Lepas Efluen Udara yang tersaji dalam gambar 1 apabila fasilitas memiliki kondisi berikut ini:

- tidak dapat menentukan radionuklida dominan pada pemantauan terus-menerus dan
- mengasumsikan pengukuran radionuklida dominan dengan hasil pengukuran gross alfa dan beta pada pemantauan efluen udara,

Alur pemantau pada gambar 1 tersebut menunjukkan pertanggungjawaban publik di saat operasi normal. Fasilitas sudah melakukan praktik tersebut, maka fasilitas dinilai telah memenuhi Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2013 Pasal 5.

Adapun bukti melakukan praktik yang sesuai dengan tindakan pemantauan yang diharapkan ini antara lain: buku catatan (*log book*) pembacaan berkala hasil spektrometer gama, laporan hasil pengukuran detektor secara langsung (*real time*) fungsi atau perawatan dan rekaman lain yang mendukung kegiatan pemantauan lepasan ke udara.

Alur pada gambar 1 yang diusulkan penulis, dapat memberikan panduan kepada fasilitas dalam menentukan kriteria melakukan pengukuran sampel efluen udara dengan spektrometer gama. Fasilitas harus memastikan bahwa waktu, lokasi, dan frekuensi pengambilan sampel yang dilakukan secara berkala mewakili kondisi efluen yang sebenarnya.



Gambar 1. Alur usulan pemantauan lepasan ke udara

KESIMPULAN

Berdasarkan dokumen yang ada dan pengamatan lapangan, diperoleh dan didapatkan kondisi aktual dari pelaksanaan pemantauan lepasan radioaktif ke udara untuk fasilitas nuklir pada kondisi operasi normal. Masih terdapat ketidaksesuaian dan kesenjangan terhadap pemenuhan persyaratan pemantauan lepasan ke udara sebagaimana diamanatkan oleh Perka BAPETEN No.7 tahun 2013. Fasilitas diharapkan perlu melakukan peningkatan implementasi Perka tersebut. Peningkatan pelaksanaan pemenuhan persyaratan pemantauan lepasan ke udara dilakukan dengan menerapkan langkah-langkah yang telah diusulkan dalam pedoman pemantauan lepasan ke udara. Fasilitas diharapkan dapat meningkatkan kemampulaksanaan Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013 dengan mengikuti alur pemantauan lepasan ke udara yang terdapat di dalam pedoman tersebut .

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Kelompok Fungsi Pengkajian Industri dan Penelitian P2STPFRZR BAPETEN dan semua rekan yang telah memberikan bantuan, kontribusi dan akses sehingga artikel ini dapat terwujud. Karena kesempurnaan dalam penyusunan makalah artikel ini masih jauh, untuk semua pembaca dapat memberikan masukan sebagai masukan agar dalam proses penyusunan artikel kedepannya dapat lebih baik lagi.

REFERENSI

- [1] Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Indonesia
- [2] BAPETEN. (2010). Kajian Penentuan Baku Tingkat Radioaktivitas di Lingkungan. Jakarta:P2STPFRZR BAPETEN
- [3] BAPETEN. (2013). Peraturan Kepala BAPETEN No.7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan. Indonesia: BAPETEN.
- [4] BAPETEN. (2017). Peraturan Kepala BAPETEN No.7 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala BAPETEN No.7 tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan. Indonesia: BAPETEN.
- [5] BAPETEN. (2013). Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir Indonesia: BAPETEN.
- [6] BAPETEN. (2020). Laporan Evaluasi Pemantauan Lingkungan. Jakarta: DIIBN-BAPETEN.
- [7] IAEA. (2018). General Safety Guide No. GSG-9, Regulatory Control of Radioactive Discharge to the Environment. Austria: IAEA.
- [8] IAEA. (1999). Tecdoc No.1092, Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. Austria: IAEA.
- [9] USNRC. (2010). Regulatory Guide 4.16, Monitoring And Reporting Radioactive Materials In Liquid And Gaseous Effluents From Nuclear Fuel Cycle Facilities. USA: USNRC
- [10] IAEA. (2001). Safety Report Series No. 19, Generic Models For Use In Assessing The Impact Of Discharges Of Radioactive Substances To The Environment. Austria: IAEA.
- [11] IAEA. (2006). Safety Guide No. WS-G-5.1, Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices. Austria: IAEA.
- [12] IAEA. (2010). Tecdoc-1638, Setting Authorized Limits for Radioactive Discharge: Practical Issues to Consider. Austria: IAEA.
- [13] IAEA. (2005). Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection. Austria: IAEA
- [14] IAEA. (2010). Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring. Austria: IAEA.



PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2022



PELAKSANAAN PROGRAM KEANDALAN MANUSIA (PKM) SEBAGAI PERLINDUNGAN KESELAMATAN DAN KEAMANAN DI FASILITAS REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY

Dicky Tri Jatmiko¹, Endang Kristuti², Fatmuanis Basuki³

¹Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran-BRIN, Gd 31 Kawasan PUSPIPTEK, Serpong

²Biro Organisasi Sumber Daya Manusia-BRIN, Gd. BJ. Habibie, Jakarta

³Direktorat Pengembangan Kompetensi-BRIN, Gd. BJ. Habibie, Jakarta

email : dickytrijatmiko71@gmail.com

Abstrak. Program Keandalan Manusia (PKM) di Fasilitas Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS) telah diadakan pada tahun 2018. Program ini belum pernah dilakukan dan merupakan salah satu implementasi keamanan instalasi dan bahan nuklir serta sumber radioaktif sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 54 tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan Peraturan Kepala Bapeten No.1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. Pelaksanaan dimulai bulan Maret 2018 sampai bulan November 2018 meliputi sosialisasi, wawancara, penilaian dan pemberian sertifikat PKM. Hasil kegiatan PKM tahun 2018 yang mengikutsertakan 20 peserta terpilih dari 169 personil atau sekitar 11,8%, berjalan baik dan secara keseluruhan para peserta memperoleh nilai rata-rata sebesar 85,7 atau termasuk dalam kategori “baik”. Hal ini diartikan bahwa para peserta memiliki tanggung jawab pribadi yang bagus di dalam sistem organisasi serta memiliki probabilitas potensi resiko sebagai *insider* yang rendah terhadap fasilitas nuklir RSG-GAS.

Kata Kunci: keandalan, manusia, keamanan, *insider*, reaktor

Abstract. The Human Reliability Program (HRP) at the G.A Siwabessy Multipurpose Reactor Facility (RSG-GAS) was held in 2018. This program has never been carried out and is one of the implementations of security for installations and nuclear materials and radioactive sources in accordance with Government Regulation Number 54 of 2012 concerning Safety and Security of Nuclear Installations and Regulation of the Head of Bapeten No.1 of 2009 concerning Provisions for Physical Protection Systems for Nuclear Installations and Materials. The implementation starts from March 2018 to November 2018 including socialization, interviews, assessment and awarding of PKM certificates. The results of the PKM activities in 2018 which included 20 selected participants from 169 personnel or around 11.8%, went well and overall the participants received an average score of 85.7 or included in the "good" category. This means that the participants have good personal responsibility in the organizational system and have a low probability of being an insider of the RSG-GAS nuclear facility.

Keywords: reliability, human, security, insider, reactor

PENDAHULUAN

Dalam pengoperasian RSG-GAS yang memanfaatkan bahan nuklir dan sumber radioaktif, Manajemen organisasi perlu menjamin bahwa personil yang bekerja dan memiliki akses terhadap bahan nuklir dan sumber radioaktif serta program sensitif memenuhi persyaratan standar yang tinggi pada keandalan, kebenaran, kejujuran dan terpercayanya serta secara fisik dan mental stabil.

Saat ini masalah keamanan nuklir dan sumber radioaktif menjadi perhatian dunia, karena sudah ditemukan berbagai tindakan penyalahgunaan bahan nuklir dan sumber radioaktif. Ancaman dari luar terhadap fasilitas yang memiliki bahan nuklir dan sumber radioaktif berupa penyalahgunaan sebagai sumber paparan radiasi di fasilitas umum, pembuatan bom kotor (*dirty bomb*), pencurian, unsur sabotase merusak fasilitas atau maksud non damai lainnya dapat menyebabkan hilangnya bahan nuklir atau sumber radioaktif.

Hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah ancaman yang berasal dari orang dalam (*insider*). *Insider* mempunyai pengertian: setiap orang yang mempunyai kewenangan akses ke fasilitas atau pengangkutan yang berupaya melakukan pemindahan tidak sah atau sabotase atau yang dapat berkolusi dengan orang luar untuk melakukannya. *Insider* memiliki kesempatan, karena memiliki akses, pengetahuan dan kewenangan di dalam fasilitas. Bantuan insider kepada pihak luar, sangat memudahkan tindak penyalahgunaan tersebut.

Motivasi yang dimiliki oleh *insider* untuk melakukan kejahatan di fasilitas dapat berasal dari dirinya sendiri yang bersifat kriminal, ideologi, politik, keuangan dan personal atau dipaksa dan dibawah tekanan orang luar berupa ancaman, intimidasi dan faktor keamanan lainnya. Motivasi yang bersifat personal dapat pula muncul karena kekecewaan, frustrasi, ketidakpuasan, dendam dan merasa diabaikan atau tidak dihargai yang disebabkan¹⁴⁾:

- a. Penghasilan yang diterima tidak mencukupi untuk pemenuhan kebutuhan;
- b. Beban kerja yang terlalu berat;
- c. Jenis pekerjaan tidak sesuai dengan karakter pegawai;
- d. Tidak ada penghargaan yang memadai dari pihak manajemen;
- e. Memiliki masalah pribadi atau keluarga yang sulit diselesaikan.

Ditinjau dari produktivitas kerja, kekecewaan, frustrasi, ketidakpuasan, merasa diabaikan dan tidak dihargai akan membuat pegawai tersebut menurun kinerjanya, baik dari sisi mutu maupun kuantitasnya, bahkan bisa mempengaruhi kinerja pegawai lain di kelompoknya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menangani hal tersebut adalah dengan melakukan pendekatan psikologi melalui penerapan Program Keandalan Manusia (PKM).

Permasalahan saat ini, bagaimana implementasi Peraturan Pemerintah Nomor 54 tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir yang menetapkan adanya analisis keandalan manusia yang dipekerjakan di instalasi nuklir.¹¹⁾ serta Peraturan Kepala Bapeten No.1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir untuk menentukan tingkat kepercayaan terhadap pekerja yang diizinkan masuk ke daerah vital²⁾. Atas dasar hal ini maka Program ini merupakan salah satu upaya pendekatan untuk mengurangi ancaman orang dalam (*insider*), yang memiliki potensi terhadap masalah keamanan di fasilitas nuklir. Kegiatan PKM di Reaktor RSG-GAS belum pernah dilakukan sebelumnya dan pentiung dilakukan untuk melindungi keamanan dan keselamatan fasilitas nuklir melalui proses evaluasi secara terus menerus terhadap personil yang bekerja di fasilitas Reaktor RSG-GAS sebagai pemenuhan ketentuan perundang-undangan¹¹⁾²⁾. Kegiatan ini juga melakukan identifikasi terhadap personil yang memiliki potensi dapat menimbulkan gangguan keamanan, keselamatan dan keandalan yang disebabkan oleh kesalahan dalam pengambilan keputusan atau tindakan, yang diakibatkan oleh penyalahgunaan obat-obatan terlarang, kondisi fisik, gangguan mental/ kepribadian, atau keadaan lainnya

TUJUAN

Kegiatan PKM pada fasilitas RSG-GAS dilaksanakan untuk memberikan gambaran keandalan serta evaluasi sumber daya manusia yang mempunyai posisi kritis (sensitif) pada aspek keamanan fasilitas terkait sikap dan tanggung jawab pribadi terhadap organisasi pengoperasian reaktor serta penilaian kepada personil yang bersangkutan terkait potensi sebagai *insider* yang berpengaruh di dalam aspek keamanan nasional. Disamping itu PKM juga bertujuan menjamin bahwa personil yang bekerja dan memiliki akses terhadap bahan nuklir, sumber radioaktif, atau program sensitif memenuhi persyaratan standar yang tinggi pada keandalan, kebenaran, kejujuran dan terpercaya serta secara fisik dan mental stabil sehingga fasilitas reaktor RSG-GAS dapat dioperasikan dengan aman, selamat dan andal.

METODOLOGI

Metodologi dalam kegiatan PKM di RSG-GAS menggunakan metoda kualitatif dengan memeriksa *background check* dan memberikan penilaian hasil wawancara. Setelah wawancara selesai maka pewawancara memberikan penilaian hasil wawancara untuk selanjutnya dilakukan validasi secara bersama dengan anggota tim pewawancara PKM BATAN. *Background check* meliputi pemeriksaan daftar riwayat hidup, pemeriksaan Sasaran Kinerja Pegawai (SKP), Laporan kesehatan termasuk tes narkoba dan pemeriksaan keamanan untuk masing-masing peserta.

Selanjutnya dilakukan wawancara berdasarkan angket yang sudah diisi oleh peserta dan memberikan catatan pada formulir wawancara. Angket yang diisi peserta berupa pertanyaan dengan minimal penjelasan 100 kata kemudian dikumpulkan di Sekretariat untuk dijadikan bahan wawancara. Selain itu laporan hasil wawancara juga dijadikan bahan untuk dievaluasi

PELAKSANAAN

Kegiatan PKM telah dikenalkan di RSG-GAS melalui sosialisasi manajemen kepada seluruh pegawai pada Maret 2016 sebagai implementasi sistem keamanan instalasi dan bahan nuklir serta sebagai tindak lanjut

kegiatan *Workshop Human Reliability Program* antara Pusdiklat BATAN bersama *Pacific National Laboratory (PNL)* Amerika Serikat pada bulan Oktober 2014. Selanjutnya dibentuk Tim untuk mendukung pelaksanaan PKM di RSG-GAS. Tim terdiri dari pegawai yang dinilai mampu dan memiliki kompetensi dalam melaksanakan rangkaian kegiatan PKM di RSG-GAS. Ketua Tim diketuai Kepala Bagian Tata Usaha dan beranggotakan unsur pejabat struktural eselon III dan IV serta pejabat fungsional di lingkungan RSG-GAS.

Posisi peserta PKM adalah jabatan atau posisi personil yang kritis dan memiliki potensi yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada fasilitas dan atau keamanan nasional. Posisi PKM perlu diidentifikasi dan diperbarui setiap kali ada perubahan posisi maupun personil dalam organisasi. Dalam hal identifikasi peserta PKM, Manajer Supervisor melakukan penilaian dan identifikasi awal sikap dan perilaku peserta PKM berdasarkan hasil review tahunan dari Supervisor kepada personil atau berdasarkan pertimbangan terhadap personil yang memiliki indikasi/ dugaan terjadi penurunan keandalan dalam sikap dan perilaku terhadap organisasi. Pertimbangan terhadap peserta PKM meliputi hal-hal sebagai berikut ³¹:

- a. Karakterisasi fasilitas;
- b. Kondisi atau bentuk fisik fasilitas;
- c. Apa yang akan dilindungi di fasilitas;
- d. Proses Pemindahan bahan nuklir dan sumber radioaktif di fasilitas;
- e. Siapa yang harus dilindungi di fasilitas;
- f. Risiko ancaman dari dalam fasilitas GAS;
- g. Operasi fasilitas;
- h. Pertimbangan keselamatan fasilitas;
- i. Pertimbangan politik yang berpengaruh pada fasilitas;
- j. Otorisasi masuk fasilitas di fasilitas;
- k. Akses tidak sah ke informasi terlindung di fasilitas;
- l. Sabotase bahan dan fasilitas nuklir yang dapat terjadi di fasilitas;
- m. Risiko dari luar fasilitas.

Selanjutnya dilakukan pemilihan peserta yang didasarkan pada posisi risiko personil di dalam fasilitas reaktor RSG-GAS. Identifikasi peserta di dalam tulisan ini ditunjukkan berdasarkan bidang asal peserta tanpa memberikan nama identitas. Pemingkatan posisi risiko peserta PKM dan hasil identifikasinya ditampilkan sesuai Tabel 1 berikut ini:

Tabel 5. Hasil Identifikasi Posisi Peserta PKM¹¹⁾

Posisi Kritis	Akses	Risiko
Kepala Pusat	Tinggi	Tinggi
Operator	Tinggi	Tinggi
Petugas Pemeliharaan	Tinggi	Tinggi
Petugas <i>Safeguards</i>	Tinggi	Tinggi
Administrasi (IT Personil)	Tinggi	Tinggi
Personil keamanan	Medium	Tinggi
Petugas Akuntansi Bahan Nuklir	Medium	Tinggi
Manager Fasilitas	Tinggi	Medium
Petugas Proteksi Radiasi	Tinggi	Medium
Inspektur Internal	Medium	Medium
Inspektur Eksternal	Rendah	Medium
Petugas Kebersihan	Medium	Rendah
Pelanggan	Rendah	Rendah

Bahan wawancara disiapkan oleh tim pewawancara PKM dan dilanjutkan dengan melakukan identifikasi indikator yang akan digali kemudian menyusun bahan pertanyaan. Terdapat 10 (sepuluh) daftar pertanyaan dari 10 (sepuluh) indikator yang ditetapkan dan dibuat dalam bentuk formulir pertanyaan dan formulir penilaian beserta kriterianya. Tim PKM juga menyusun bahan bantu pertanyaan dengan tujuan untuk membantu dan mempermudah pewawancara melakukan wawancara..

Penyiapan dokumen PKM di dalam pelaksanaan PKM meliputi ¹¹⁾:

- a. Daftar riwayat hidup;
- b. Rincian daftar gaji pegawai;
- c. Hasil pemeriksaan kesehatan pegawai termasuk tes narkoba;
- d. Formulir perjanjian kerja;
- e. Penilaian kinerja pegawai;
- f. Formulir Angket yang berisi 10 pertanyaan yang harus dijawab oleh peserta minimal 100 (seratus) kata;

Dokumen yang telah disosialisasikan ke peserta PKM selanjutnya disampaikan kepada masing-masing peserta untuk ditandatangani sebagai bagian dari dokumen PKM. Penandatanganan didampingi Tim PKM untuk memastikan bahwa para peserta memahami seluruh isi dokumen dan dilakukan dalam keadaan sehat jasmani rohani, penuh kejujuran tanpa paksaan pihak manapun. Dokumen yang ditandatangani adalah ¹¹⁾:

- a. Surat pernyataan dan persetujuan untuk berpartisipasi;
- b. Surat kuasa dan persetujuan untuk menyerahkan rekaman PKM.

Dalam hal telah dilakukannya penandatanganan seluruh dokumen PKM oleh peserta PKM dan disaksikan oleh Tim PKM, maka peserta telah melepaskan hak secara pribadi terhadap segala sesuatu yang dilakukan dan dibutuhkan oleh manajemen RSG-GAS pada kegiatan PKM. Termasuk dalam pengambilan kebijakan apabila diduga terdapat ketidaksesuaian dan atau penyimpangan yang terjadi, termasuk jika ada kondisi fisik dan atau gangguan mental yang perlu penanganan dan tindak lanjut berupa perawatan atau pengobatan terhadap peserta PKM.

Setiap Manajer bertanggung jawab melaporkan dengan cepat setiap kejadian terkait PKM kepada Penanggungjawab PKM sehingga dapat diputuskan kebijakan yang perlu ditetapkan untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi. Setelah dilakukan workshop penerapan PKM untuk peserta PKM selanjutnya dibuatkan dokumen kegiatan dan disampaikan kepada masing-masing peserta untuk ditandatangani sebagai bagian dari dokumen pelaksanaan PKM. Kegiatan berikutnya adalah Wawancara PKM. Wawancara dilakukan oleh Tim Pewawancara yang berasal dari Tim PKM terhadap 20 (dua puluh) orang peserta PKM.

Persyaratan data dukung lainnya adalah laporan kesehatan. Para peserta melakukan pemeriksaan kesehatan yang dilakukan rutin setiap tahun di Klinik Kesehatan Organisasi Ex-BATAN di Kawasan Serpong, dan keseluruhan peserta telah melakukannya di tahun 2018 sesuai persyaratan yang ditentukan oleh manajer kesehatan PKM. Disamping kegiatan tersebut, peserta PKM juga telah melakukan pemeriksaan bebas dari narkoba di Balai Kesehatan PUSPIPTEK. Hasil rekaman kesehatan dan tes narkoba para peserta PKM didokumentasikan secara terpisah dan menjadi bagian yang tidak terpisahkan di dalam Pelaksanaan PKM. Penilaian awal kesehatan terhadap 20 (dua puluh) peserta PKM berupa penyusunan rekam kesehatan dilakukan pada saat awal menjadi peserta PKM oleh Manajer Kesehatan dan dilanjutkan dengan analisa kesehatan untuk seluruh peserta berdasarkan rekam kesehatan para peserta PKM dari dokter yang memiliki kompetensi. Hasil penilaian kesehatan para peserta PKM menjadi data dukung yang diperlukan manajemen organisasi RSG-GAS untuk diterbitkannya sertifikat PKM.

Setelah dilakukan wawancara dengan para peserta, masing-masing pewawancara membuat laporan hasil wawancara dan melaporkan ke Sekretaris Tim PKM serta memberikan penilaian dengan menggunakan kriteria penilaian yang telah disepakati. Sesudah hasil laporan terkumpul semua, Tim PKM melakukan rapat untuk melakukan validasi hasil penilaian yang dibuat. Validasi dilakukan dengan menganalisis dan mengidentifikasi catatan setiap indikator dari masing-masing peserta PKM. Tahap selanjutnya setelah melakukan analisis dan identifikasi. Selanjutnya tim melakukan *voting* penilaian. Setelah validasi selesai, selanjutnya dilakukan penilaian kategori untuk tiap peserta. Sesuai referensi IAEA⁹⁾, pemberian kategori ada tiga macam yaitu merah, kuning dan hijau.

1. Kategori merah artinya peserta PKM akan dikeluarkan dari posisi kritis apabila mendapatkan penilaian yang buruk;
2. Kategori kuning artinya peserta PKM perlu mendapatkan perhatian, pemantauan, pendampingan atau bahkan pemantauan tertutup apabila peserta PKM mendapatkan penilaian cukup atau kurang;
3. Kategori hijau artinya peserta dalam kondisi aman apabila peserta PKM mendapatkan penilaian baik atau sangat baik

Kriteria penilaian wawancara dapat dilihat pada Tabel 2. Kriteria Penilaian wawancara Peserta PKM.

Tabel 2. Kriteria Penilaian Wawancara Peserta PKM¹¹⁾

No.	Kriteria	Nilai	Uraian
1.	Baik Sekali	91- 100	probabilitas insider sangat rendah atau tanggung jawab bagus (andal, sehat, kinerja tinggi, terpercaya).
2.	Baik	81 - 90	probabilitas insider rendah atau tanggung jawab bagus.
3.	Cukup	71 - 80	monitoring dan evaluasi secara berkala, ada potensi kecenderungan.
4.	Rendah	60 - 70	perlu pengendalian dan pembatasan akses (Patut di duga).
5.	Sangat rendah	< 60	tidak boleh bekerja di daerah pengendalian dan teridentifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penilaian dilakukan baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Namun apabila menggunakan kriteria penilaian pada saat wawancara, maka secara kuantitatif didapatkan hasil yang baik untuk semua peserta karena rata-rata setiap peserta memiliki nilai baik. Oleh karena itu digunakan metode penilaian yang lain yaitu secara kuantitatif, 10 (sepuluh) indikator dari masing-masing peserta dicari rerata (*Mean*), nilai tertinggi (*NTg*), nilai terendah (*NTr*), dan standar deviasi (*Std*). Selanjutnya dihitung rerata ditambah standar deviasi ($Mean + Std$) sebagai Batas Atas dan rerata dikurangi standar deviasi ($Mean - Std$) sebagai Batas Bawah¹⁴⁾. Penilaian kategori didasarkan sebagai berikut:

- Jika nilai berada diantara Nilai Batas Atas dan Nilai Batas Bawah, maka dinyatakan normal (kategori hijau);
- Jika nilai berada dibawah Nilai Batas Atas dan Nilai Batas Bawah, maka dinyatakan kurang (kategori kuning);
- Jika nilai berada diatas Nilai Batas Atas dan Nilai Batas Bawah, maka dinyatakan sangat rendah (kategori merah).

Adapun hasil penilaian untuk setiap peserta PKM disajikan pada Tabel 3. Daftar Hasil Penilaian peserta PKM Tahun 2018 sebagai berikut:

Tabel 3. Data Hasil Penilaian peserta PKM 2018

No.	Nama	Nilai Rata-rata	Kriteria/Kategori
1.	X-1	87,9	Baik/Hijau
2.	X-2	84,4	Baik/Hijau
3.	X-3	85,3	Baik/Hijau
4.	X-4	85,8	Baik/Hijau
5.	X-5	84,3	Baik/Hijau
6.	X-6	85,6	Baik/Hijau
7.	X-7	85,8	Baik/Hijau
8.	X-8	84,3	Baik/Hijau
9.	Z-1	84,0	Baik/Hijau
10.	Z-2	84,5	Baik/Hijau
11.	Z-3	84,7	Baik/Hijau
12.	Z-4	84,2	Baik/Hijau
13.	Z-5	86,2	Baik/Hijau
14.	P-1	89,8	Baik/Hijau
15.	P-2	88,9	Baik/Hijau
16.	P-3	84,5	Baik/Hijau
17.	P-4	85,4	Baik/Hijau
18.	P-5	87,4	Baik/Hijau
19.	Q-1	86,2	Baik/Hijau
20.	Q-2	85,3	Baik/Hijau
Rerata Total		85,7	Baik/Hijau

Dilihat dari setiap indikator, secara umum hasil penilaian terhadap para peserta PKM¹¹⁾ adalah sebagai berikut:

1. Loyalitas;

Nilai rata-rata para peserta adalah 85,4 (delapan puluh lima koma empat) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki komitmen kepada pekerjaan yang dilakukan dan loyalitas tinggi pada institusi dengan kesediaan bekerja di luar jam kantor, siap panggil untuk menyelesaikan kegiatan serta selalu bersungguh-sungguh dalam bekerja untuk peningkatan kinerja.

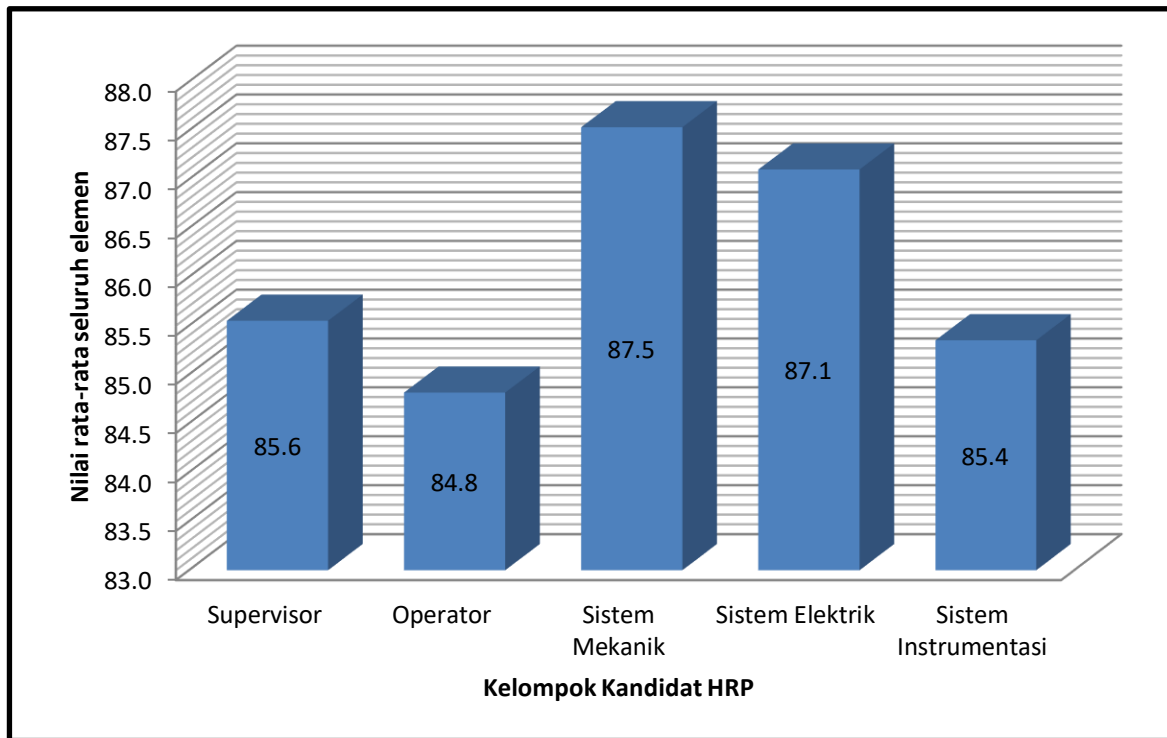
2. Ideologi: Pancasila, UUD'45, Wawasan Kebangsaan, Nasionalisme;

Nilai rata-rata para peserta adalah 87,0 (delapan puluh tujuh koma nol) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki pemahaman ideologi, tenggang rasa, nilai-nilai agama sebagai pemersatu, tidak ada hal-hal yang kontradiktif antara agama dan Pancasila, tidak ada pertentangan terkait keyakinan, selalu memelihara kesatuan dan persatuan, menerima perbedaan di lingkungan masyarakat serta menghindari radikalisme. Dan penghargaan pada nilai-nilai Pancasila dan keberagaman.

3. Keamanan Nuklir

- Nilai rata-rata para peserta adalah 86,3 (delapan puluh enam koma tiga) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki kesadaran keamanan, kepatuhan pada standar operasi prosedur keamanan, mengerti potensi insider, dan menginginkan adanya peningkatan aspek keamanan melalui komunikasi yang baik antara pengamanan dan lingkungan sekitarnya.
4. Kesehatan, Penggunaan Narkoba dan minuman keras;
Nilai rata-rata para peserta adalah 83,7 (delapan puluh tiga koma tujuh) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki kepedulian terhadap kesehatan pribadi, tidak mengonsumsi narkoba, minuman keras walaupun masih merokok namun dalam batas yang wajar dan memiliki keinginan untuk berhenti merokok.
 5. Tanggung Jawab Keuangan;
Nilai rata-rata para peserta adalah 85,5 (delapan puluh lima koma lima) atau masuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki tanggung jawab keuangan secara pribadi dan keluarga, tidak memiliki permasalahan dengan hutang dan mampu mengendalikan keuangan, serta selalu bersyukur apa yang diterima.
 6. Perilaku Kejujuran;
Nilai rata-rata para peserta adalah 86,0 (delapan puluh enam koma nol) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki perilaku jujur, dan paham bahwa pekerjaan di reaktor harus mengutamakan sifat jujur karena terkait kepada keselamatan dan keamanan.
 7. Perbuatan kriminal melawan hukum/prosedur;
Nilai rata-rata para peserta adalah 85,8 (delapan puluh lima koma delapan) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki kesadaran hukum, menjauhkan diri dari tindak kriminal dan tidak pernah melawan hukum dan berurusan dengan pidana.
 8. Interaksi Sosial;
Nilai rata-rata para peserta adalah 86,7 (delapan puluh enam koma tujuh) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki kepedulian sosial dalam berinteraksi dengan rekan kerja dan masyarakat, dapat bekerja secara tim serta menghindari konflik yang mungkin timbul menyelesaikan kegiatan.
 9. Kestabilan mental/sosial;
Nilai rata-rata para peserta adalah 85,3 (delapan puluh lima koma tiga) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki kestabilan mental/ sosial yang baik, mampu mengendalikan diri, dan berusaha menangani permasalahan saat menyelesaikan kegiatan dengan realistis dan tidak emosional.
 10. Kelemahan dan kelebihan yang dimiliki peserta
Nilai rata-rata para peserta adalah 85,8 (delapan puluh lima koma delapan) atau termasuk dalam kategori baik. Hasil ini menggambarkan bahwa peserta PKM memiliki unsur kelemahan dan kelebihan yang baik dan disadari oleh masing-masing peserta untuk digunakan dalam menyelesaikan pekerjaan.

Hasil penilaian jika ditinjau dari masing-masing kelompok di dalam peserta dan dibandingkan satu sama lain antara kelompok supervisor reaktor, operator reaktor, sistem mekanik, sistem elektrik dan sistem instrumentasi maka terlihat hasil penilaian sistem mekanik memiliki nilai rata-rata 87,5 (delapan puluh tujuh koma lima) atau termasuk dalam kategori baik. Nilai yang diperoleh paling tinggi dibandingkan dengan unsur lainnya sehingga memiliki probabilitas insider rendah atau tanggung jawab yang bagus di dalam sistem organisasi RSG-GAS. Hasil penilaian ditampilkan pada Gambar 1. Penilaian Rata-Rata Keseluruhan Elemen untuk Kelompok peserta PKM. Namun demikian hal ini tidak dapat dijadikan pembandingan sesungguhnya karena jumlah peserta sistem mekanik yang diikuti pada PKM sangat sedikit jika dibandingkan dengan peserta PKM di kelompok supervisor dan operator reaktor.



GAMBAR 9. Grafik Penilaian Rata-Rata Keseluruhan Elemen untuk Kelompok Peserta PKM Tahun 2018

Rekapitulasi yang mendapatkan kategori kuning hasil penghitungan secara kuantitatif setiap indikator ditampilkan pada Tabel 4, sebagai berikut:

Tabel 4. Rekapitulasi Penilaian Peserta PKM Tahun 2018

No.	INDIKATOR	KATEGORI		
		MERAH	KUNING	HIJAU
1.	Loyalitas terkait kepuasan kerja	-	7 peserta	13 peserta
2.	Ideologi: Pancasila, UUD'45, Wawasan Kebangsaan, Nasionalisme	-	2 peserta	18 peserta
3.	Keamanan Nuklir	-	2 peserta	18 peserta
4.	Kesehatan, Penggunaan Narkoba dan minuman keras	-	10 peserta	10 peserta
5.	Tanggung Jawab Keuangan	-	5 peserta	15 peserta
6.	Perilaku Kejujuran	-	-	20 peserta
7.	Perbuatan kriminal melawan hukum/prosedur	-	-	20 peserta
8.	Interaksi Sosial	-	1 peserta	19 peserta
9.	Kestabilan emosi/sosial	-	6 peserta	14 peserta
10.	Kelemahan dan kelebihan	-	-	20 peserta

Berdasarkan tabel tersebut nampak bahwa kategori kuning paling banyak ada pada indikator kesehatan dan indikator loyalitas terkait ketidapuasan kerja, serta urutan berikutnya adalah indikator kestabilan emosial/sosial, disusul kemudian indikator keuangan.

Disamping hal tersebut dapat dijelaskan pula :

1. Kategori kuning tertinggi pada indikator kesehatan, dari 20 peserta ada 10 peserta yang masuk kategori kuning. Oleh karena itu, sebaiknya para peserta memperhatikan kesehatannya. Jika perlu melakukan konsultasi ke dokter poliklinik untuk mendapatkan penanganan yang tepat. Hasil MCU setiap tahun juga perlu ditindaklanjuti oleh YBS dan pihak manajemen agar tidak terjadi yang tidak diinginkan. Peserta yang ada kategori kuning perlu dilakukan pemantauan, perhatian dan evaluasi dari pihak manajemen.
2. Kategori kuning juga banyak pada indikator loyalitas terkait kepuasan Kerja yaitu ada 7 (tujuh) peserta dan sebagian peserta memberikan usulan untuk meningkatkan kepuasan kerja. Ini merupakan tanda-tanda adanya sikap kecewa, ketidakpuasan, ada rasa ketidakadilan, merasa diabaikan atau tidak dihargai yang dimiliki pada peserta. Oleh karena itu pihak manajemen diharapkan bersikap komit dan konsisten dalam pengambilan keputusan, adil dan tidak pilih kasih dalam mengirimkan pegawainya mengikuti pelatihan/training/workshop. Prosedur atau SOP perlu disusun dan diimplementasikan agar kepuasan kerja meningkat.
3. Penangkalan adanya *insider* selain dengan melakukan Program Keandalan Manusia dapat pula

dilakukan dengan sistem penghargaan dan sanksi yang jelas, serta penerapan budaya keamanan sehingga target pengoperasian RSG-GAS yang aman dan handal dapat terwujud. Pegawai yang berprestasi sebaiknya diberi reward, misalkan dengan mengirim pegawai tersebut ke intansi atau fasilitas lain untuk melakukan studi banding seperti yang diusulkan beberapa peserta. Perlu juga disediakan sarana dan prasarana seperti kasur lipat.

4. Sistem manajemen perlu terus mengupayakan komunikasi yang baik dan menempatkan sumber daya manusia (pegawai) sebagai aset yang sangat penting dalam organisasi sehingga dapat meminimalkan timbulnya sikap kekecewaan, frustrasi, ketidakpuasan, atau merasa diabaikan dan tidak dihargai, yang dapat berakibat potensi resiko timbulnya *insider*. Penanganan secara psikologi dalam Program Keandalan Manusia membutuhkan pengetahuan dan keterampilan yang memadai, sehingga dapat mendukung kegiatan PKM. Secara umum penghargaan kepada pegawai juga perlu dikomunikasikan, misalnya pihak manajemen mendatangi pegawai atau dalam forum dengan mengucapkan terima kasih atas prestasinya.
5. Kategori kuning juga banyak pada indikator Kestabilan emosi/sosial yaitu ada 6 (enam) peserta. Manajemen bisa memberikan pencegah dengan memanggil konsultan untuk pengembangan pribadi. Setahun sekali mengajak para peserta untuk rekreasi atau *outbond*.
6. Kategori kuning pada indikator Ideologi yang ada pada pegawai RSG-GAS sebaiknya didampingi dan dipantau serta dievaluasi 6 (enam) bulan sekali.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil kegiatan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa pelaksanaan PKM berjalan lancar dan secara keseluruhan para peserta memperoleh nilai rata-rata sebesar 85,7 (delapan puluh lima koma tujuh) atau termasuk dalam kategori “baik”. Tidak ada peserta yang mendapatkan Kategori Merah, namun beberapa peserta mendapatkan Kategori Kuning.

Tidak adanya kategori merah dan penilaian kategori hijau yang diperoleh sebagian besar peserta PKM di PRSG menggambarkan para peserta memiliki tanggung jawab yang bagus di dalam sistem organisasi PRSG serta memiliki probabilitas potensi resiko *insider* yang rendah di fasilitas reaktor RSG-GAS.

DAFTAR ACUAN

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “Keamanan Sumber Radioaktif”, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2015 pasal 26,27, 30. 2015
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nomor 01 Tahun 2009 pasal 24 dan 77. 2009
- [3] Cameron W. Coates dan Gerhard R. Eisele, “Human Reliability Implementation Guide”, Oak Ridge National Laboratory. Tennessee. 2014.
- [4] Eisele, G.. “Bahan tayangan Interview Skits. Partnership for Nuclear Security. Oak Ridge National Laboratory. 2016.
- [5] Endang Kristuti.”Penerapan Program Keandalan Manusia pada Calon Pegawai Negeri Sipil BATAN”. Prosiding seminar SDM IPTEK STTN. 2018.
- [6] Fatmuanis Basuki,”Bahan tayangan Program Keandalan Manusia”, Workshop Pusdiklat BATAN. 26 April 2016.
- [7] Fatmuanis Basuki,”Bahan tayangan Implementasi Program Keandalan Manusia di PRSG. 2018.
- [8] Hani Handoko. T, “Manajemen Personalia dan Sumber Daya Manusia”. Edisi Kedua. BPFE-Yogyakarta. 2014.
- [9] IAEA, Nuclear Security Series No. 13, , ”Nuclear Security Recommendation on Physical Protection of Nuclear Matrial and Facilities,” INFCIRC/225/Revision 5, page 23 & 33, 2011
- [10] Partnership for Nuclear Security, “Roadmap to a suistainable Human Reliability Program”. 2013 hal:2.
- [11] Pelaksanaan Human Realaibility Program (HRP) di Pusat Reaktor Serba Guna, No. Ident. 008.001/KN 09 03/RSG No. rev/terbitan 2/0 tanggal 8 Juni 2018
- [12] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, “Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir” Nomor 54 Tahun 2012 pasal 64. 2012.
- [13] Sutarto Wijono. Psikologi Industri dan Organisasi”. PrenadaMedia Group. Cetakan ketiga 2012
- [14] Sutrisno Hadi, Metodology Research, Jilid III, Andy Offset Yogyakarta,
- [15] Yustina Tri Handayani. “Program Keandalan Manusia”,Widyanuklida, Vol. 14 No. 1, hal 28 – 31, 2014.



Alamat Redaksi

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat
Radioaktif (P2STPFRZR)
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)
Gedung B Lantai 5
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120
Email: p2stpfrzr@bapeten.go.id