

**KEPUTUSAN KEPALA  
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR  
NOMOR : 05/Ka-Bapeten/V-99  
TENTANG  
KETENTUAN KESELAMATAN DISAIN REAKTOR PENELITIAN**

**KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,**

**Menimbang :**

- a. bahwa penentuan disain merupakan salah satu kegiatan untuk mencapai keselamatan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup dalam pembangunan reaktor nuklir;**
- b. bahwa dengan Keputusan Presiden Nomor 76 tahun 1998 yang berwenang melakukan pengawasan dalam pembangunan reaktor nuklir adalah Badan Pengawas Tenaga Nuklir;**
- c. bahwa oleh karena itu perlu ditetapkan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Ketentuan Keselamatan Disain Reaktor Penelitian.**

**Mengingat :**

- 1. Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997;**
- 2. Peraturan Pemerintah RI Nomor 11 Tahun;**
- 3. Peraturan Pemerintah RI Nomor 12 Tahun 1975;**
- 4. Peraturan Pemerintah RI Nomor 13 Tahun 1975;**
- 5. Keputusan Presiden RI Nomor 161/M Tahun 1998;**
- 6. Keputusan Presiden RI Nomor 76 Tahun 1998;**
- 7. Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir 01/K-OTK/VIII-98.**

MEMUTUSKAN :

Menetapkan :

**PERTAMA** : Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Penelitian sebagaimana tersebut dalam Lampiran Keputusan ini.

**KEDUA** : Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di J a k a r t a

Pada tanggal 5 Mei 1999

Kepala,

ttd

Dr. Mohammad Ridwan, M.Sc., APU

Salinan sesuai dengan aslinya

**Kepala Direktorat Peraturan  
Keselamatan Nuklir,**

Drs. Martua Sinaga  
NIP.330002326

# **LAMPIRAN**

## **KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**

**NOMOR : 05/Ka-BAPETEN/V-99**

**TENTANG**

**KETENTUAN KESELAMATAN DISAIN REAKTOR PENELITIAN**

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
BAB I KETENTUAN UMUM.....	1
BAB II PENDAHULUAN.....	7
2.1. Latar belakang.....	7
2.2. Tujuan.....	8
2.3. Ruang lingkup.....	8
BAB III TUJUAN KESELAMATAN.....	10
BAB IV PERSYARATAN TAPAK.....	11
BAB V PERSYARATAN DESAIN UMUM.....	13
5.1. Umum.....	13
5.2. Pertahanan Berlapis.....	13
5.3. Analisis Keselamatan untuk Desain.....	14
5.4. Batasan Desain Parameter.....	16
5.5. Fungsi Keselamatan.....	16
5.6. Desain Keandalan Sistem.....	16
5.7. Persyaratan Jaminan Kualitas.....	17
5.8. Peraturan dan Standar.....	18
5.9. Pertimbangan khusus untuk Penggunaan Eksperimen.....	19
5.10. Desain untuk Keadaan Operasi Normal.....	19
5.11. Desain untuk Kondisi Kecelakaan.....	20
5.12. Proteksi Radiasi.....	21
5.13. Proteksi Fisik.....	22
5.14. Komisioning.....	22
5.15. Batasan dan Kondisi Operasi.....	22
5.16. Rencana Kedaruratan.....	22
5.17. Dekomisioning.....	22
BAB VI PERSYARATAN DESAIN KHUSUS.....	23
6.1. Umum.....	23
6.2. Gedung dan Struktur.....	23
6.3. Desain Teras Reaktor dan Kendali.....	23
6.4. Sistem Pendingin Reaktor.....	24
6.5. Sistem Pemadam Reaktor.....	25
6.6. Sistem Proteksi.....	26
6.7. Sistem Pendingin Teras Darurat.....	27
6.8. Sistem Pengungkung.....	27
6.9. Instrumentasi dan Kendali.....	28
6.10. Sistem Catu Daya Listrik.....	28
6.11. Sistem Bantu.....	29

6.12. Peralatan Eksperimen.....	29
6.13. Sistem Limbah Radioaktif.....	30
LAMPIRAN I : Kejadian Awal Postulasi.....	31
LAMPIRAN II : Fungsi Keselamatan.....	34

# **BAB I**

## **KETENTUAN UMUM**

Dalam ketentuan ini yang dimaksud dengan :

**1. Bahan Bakar Nuklir**

adalah komposisi atau unsur kimia yang mengandung bahan dapat belah dan fertil yang digunakan di dalam reaktor penelitian untuk menghasilkan neutron yang selanjutnya bisa disebut bahan bakar.

**2. Barang atau Sistem yang Berkaitan dengan Keselamatan**

adalah barang atau sistem yang penting untuk keselamatan tapi yang bukan merupakan barang dan sistem keselamatan.

**3. Batasan dan Kondisi Operasi**

adalah seperangkat aturan yang menetapkan batasan parameter, kemampuan fungsi dan tingkat unjuk kerja peralatan dan personil yang telah disetujui oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir untuk mengoperasikan fasilitas reaktor penelitian secara aman.

**4. Batas Keselamatan**

adalah batasan pada variabel proses dimana operasi fasilitas reaktor penelitian terbukti dalam keadaan aman.

**5. Dekomisioning**

adalah proses di mana suatu reaktor diberhentikan operasinya secara permanen.

**6. Efluen**

adalah fluida (cair atau gas) yang dilepas ke lingkungan. Fluida tersebut dapat mengandung padatan dalam bentuk partikel

**7. Elemen Bakar**

adalah komponen perangkat bahan bakar yang terutama terdiri dari bahan bakar nuklir dan bahan kelongsongnya.

**8. Fungsi Keselamatan**

adalah tujuan khusus yang harus dipenuhi untuk keselamatan.

**9. Jaminan Kualitas**

adalah semua tindakan yang terencana dan sistematis yang diperlukan untuk memperoleh keyakinan bahwa suatu barang atau jasa akan memuaskan sesuai dengan persyaratan kualitas.

**10. Kecelakaan Landasan Desain (KLD)**

adalah kondisi kecelakaan yang diasumsikan yang dijadikan landasan dalam mendesain fasilitas reaktor penelitian sesuai dengan kriteria desain yang ditetapkan.

**11. Kecelakaan Parah**

adalah kecelakaan di luar kondisi kecelakaan dan merupakan suatu konsep yang dipakai secara eksekutif untuk reaktor daya.

**12. Kegagalan dengan Penyebab Umum**

adalah kegagalan sejumlah peralatan atau komponen dalam melaksanakan fungsinya sebagai hasil dari kejadian atau penyebab khusus yang tunggal. (Sebagai contoh, penyimpangan desain, penyimpangan pembuatan, kesalahan operasi dan pemeliharaan, fenomena alam, kejadian yang disebabkan manusia, kejenuhan sinyal, atau efek-efek kaskade yang tidak diinginkan dari beberapa operasi lainnya atau kegagalan fasilitas atau perubahan kondisi *ambien*).

**13. Kegagalan Tunggal**

adalah suatu kegagalan yang mengakibatkan hilangnya kemampuan komponen dalam melaksanakan fungsi keselamatan yang dikehendaki. Kegagalan sebagai konsekuensi suatu peristiwa tunggal dianggap sebagai bagian dari kegagalan tunggal.

**14. Kejadian Awal Postulasi**

adalah kejadian tertentu yang memicu terjadinya peristiwa operasi yang diperkirakan atau kondisi kecelakaan dan pengaruh akibat kegagalannya. Penyebab utama kejadian awal postulasi, dapat berupa kegagalan peralatan dan kesalahan operator (di dalam dan di luar fasilitas reaktor), kejadian yang disebabkan manusia atau kejadian alam. Spesifikasi kejadian awal postulasi untuk reaktor penelitian harus dapat diterima Badan Pengawas Tenaga Nuklir.

**15. Kelonggaran Keselamatan**

adalah perbedaan antara batas keselamatan dan batas operasi. Hal ini kadang kadang dinyatakan sebagai rasio dari kedua nilainya.

**16. Kelonggaran Pemadaman**

adalah reaktivitas negatif yang disediakan sebagai tambahan yang diperlukan untuk mempertahankan reaktor dalam kondisi subkritis tanpa batas waktu yang mana batang kendali yang paling reaktif diangkat dari teras, dan semua eksperimen yang dapat dipindahkan atau diubah selama operasi berada dalam kondisi paling reaktif.

**17. Keragaman**

adalah keberadaan komponen atau sistem cadangan untuk melaksanakan fungsi yang ditentukan, dimana komponen atau sistem tersebut menggabungkan satu atau lebih cara yang berbeda. (Contoh-contohnya antara lain: kondisi pengoperasian yang berbeda, ukuran peralatan yang berbeda, perbedaan pembuatan, perbedaan prinsip kerja, dan jenis peralatan yang menggunakan prinsip atau metode fisik yang berlainan).

**18. Kerangkapan**

adalah kelengkapan yang melebihi dari jumlah minimum unsur atau sistem (yang sejenis atau beraneka ragam), sehingga kehilangan salah satu dari mereka tidak menghasilkan kehilangan keseluruhan fungsi yang disyaratkan.

**19. Keselamatan Nuklir**

adalah pencapaian kondisi operasi yang layak, pencegahan kecelakaan atau peringanan akibat kecelakaan, dalam rangka melindungi personil tapak, masyarakat dan lingkungan terhadap bahaya radiasi yang tidak diinginkan yang selanjutnya bisa disebut keselamatan.

**20. Komisioning**

adalah proses dimana komponen dan sistem reaktor, yang telah dikonstruksi, diuji coba dan diverifikasi kesesuaiannya dengan asumsi desain dan telah memenuhi kriteria unjuk kerjanya. Proses ini mencakup pengujian non-nuklir maupun nuklir.

**21. Kondisi Kecelakaan**

adalah penyimpangan dari kondisi operasi normal dimana pelepasan zat radioaktif dijaga agar masih berada di dalam batas yang diperkenankan melalui ciri desain yang memadai. Penyimpangan ini tidak mencakup kecelakaan yang parah. (Kecelakaan parah adalah kecelakaan di luar kondisi kecelakaan dan merupakan suatu konsep yang dipakai secara eksklusif untuk reaktor daya).

**22. Manajemen Reaktor**

adalah anggota-anggota organisasi pengoperasi yang diberi tanggung jawab dan wewenang yang berkaitan dengan pengoperasian fasilitas reaktor penelitian.

**23. Manajer Reaktor**

adalah seorang anggota manajemen reaktor yang diberi wewenang dan tanggung jawab langsung oleh organisasi pengoperasi untuk mengoperasikan reaktor penelitian.

**24. Operasi Normal**

adalah operasi reaktor penelitian dan peralatan eksperimen di dalam batasan dan kondisi operasi yang ditetapkan, yang mencakup penyalan reaktor, operasi daya, pemadaman, pemadam, perawatan, pengujian dan penggantian bahan bakar (lihat status operasi)

**25. Organisasi Pengoperasi**

adalah organisasi yang diberi izin oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir untuk mengoperasikan fasilitas reaktor.

**26. Pemonitoran**

adalah pengukuran parameter atau penentuan status suatu sistem secara terus menerus maupun berkala. Pengambilan contoh dapat dimasukkan sebagai tahap awal untuk pengukuran.

**27. Pengungkung**

adalah penghalang di sekeliling bagian utama reaktor yang berisi zat radioaktif dan yang didesain untuk mencegah atau mengurangi terlepasnya zat radioaktif secara tak terkendali ke lingkungan selama keadaan operasi normal ataupun selama kecelakaan landasan desain (KLD).

**28. Penyetelan Sistem Keselamatan**

adalah penyetelan penggerak peralatan proteksi ke satu titik, dimana jika titik itu tercapai, secara otomatis sistem keselamatan mulai bekerja untuk mencegah dilampauinya batas keselamatan pada peristiwa operasi yang diperkirakan atau pada kondisi kecelakaan.

**29. Peralatan Eksperimen**

adalah peralatan yang dipasang di dalam atau di sekitar reaktor untuk memanfaatkan fluks neutron dan radiasi pengion dari reaktor guna keperluan penelitian, pengembangan, produksi isotop atau keperluan lain.

**30. Perangkat Bahan Bakar**

adalah elemen bakar dan komponen pendukungnya yang dipasang sebagai satu unit didalam teras reaktor, dan tidak dibongkar selama pemasangan dan pemindahan dari teras reaktor tersebut.

**31. Perangkat Kritis**

adalah perangkat bahan dapat belah atau bahan lain yang mencukupi untuk mempertahankan terjadinya reaksi pembelahan berantai secara terkendali pada tingkat daya rendah dan sebagai perangkat untuk melakukan penyelidikan geometri dan komposisi teras.

**32. Perawatan**

adalah kegiatan yang terorganisir baik administratif maupun teknis untuk menjaga agar struktur, sistem dan komponen selalu dalam kondisi dapat beroperasi dengan baik, termasuk aspek preventif dan korektif (perbaikan).

**33. Peristiwa Operasi yang Diperkirakan**

adalah semua proses operasi yang menyimpang dari operasi normal yang diperkirakan terjadi sekali atau beberapa kali selama umur operasi reaktor, dan dari segi ketentuan desain, tidak menyebabkan kerusakan apapun pada barang yang penting untuk keselamatan atau tidak mengakibatkan kondisi kecelakaan.

**34. Reaktivitas Pemadaman**

adalah nilai reaktivitas dimana reaktor akan subkritis dengan peralatan kendali yang menghasilkan reaktivitas negatif maksimum.

**35. Reaktor Penelitian**

adalah reaktor nuklir yang digunakan terutama untuk pembangkitan dan pemanfaatan fluks neutron dan radiasi pengion untuk penelitian dan keperluan lain. (Dalam hal ini yang dimaksud reaktor penelitian mencakup juga fasilitas eksperimen yang terkait dan perangkat kritis).

**36. Redundansi**

adalah perlengkapan yang berupa lebih dari jumlah minimum unsur atau sistem yang sejenis atau beraneka ragam, sehingga kehilangan salah satu dari mereka tidak mengakibatkan kehilangan keseluruhan fungsi yang disyaratkan.

**37. Sistem Keselamatan**

adalah sistem yang penting untuk keselamatan, yang diperlukan untuk menjamin pemadaman reaktor dengan aman, atau untuk memindahkan panas dari teras reaktor, atau untuk membatasi akibat peristiwa operasi yang diperkirakan dan kondisi kecelakaan. (Fungsi sistem keselamatan dimulai setelah menerima sinyal dari sistem proteksi atau secara manual. Beberapa aspek sistem keselamatan sering disebut sebagai Ciri Keselamatan Teknik terutama dalam konteks pengungkungan dan perpindahan panas darurat).

**38. Sistem Pemadaman**

adalah sistem yang diperlukan untuk melakukan pemadaman reaktor melalui penurunan reaktivitas dengan cepat baik secara manual atau pada saat menerima sinyal dari sistem proteksi.

**39. Sistem Proteksi**

adalah sistem yang mencakup semua peralatan listrik maupun mekanik dan sirkuit dari sensor ke terminal masukan peralatan penggerak, yang terlibat dalam pembangkitan sinyal yang berkaitan dengan fungsi proteksi.

**40. Status Operasi**

adalah status yang menyatakan operasi normal dan peristiwa operasi yang diperkirakan.

**41. Tapak**

adalah tempat yang dipergunakan untuk membangun dan pengoperasikan reaktor nuklir.

## **BAB II**

### **PENDAHULUAN**

#### **2.1. Latar Belakang**

Keselamatan reaktor penelitian mensyaratkan pemilihan tapak, desain, konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning yang memadai. Ketentuan Keselamatan ini terutama berkaitan dengan desain. Namun demikian, ia mencakup pula pernyataan dan persyaratan dasar tentang pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir dan pemilihan tapak sejauh masih berhubungan dengan kegiatan yang menyangkut desain keselamatan fasilitas.

Ketentuan Keselamatan ini merupakan salah satu dari dua Ketentuan Keselamatan (yaitu untuk desain dan operasi) yang diterbitkan dalam rangka menetapkan tujuan, prinsip-prinsip dan persyaratan dasar yang harus dipenuhi, demi terjaminnya keselamatan disemua tahap selama umur suatu reaktor penelitian. Disamping itu akan diterbitkan pula beberapa pedoman dalam bentuk pedoman keselamatan, guna menjamin keselamatan selama operasi reaktor penelitian.

Ketentuan Keselamatan ini mencakup semua bidang penting dari keselamatan reaktor penelitian. Disebabkan oleh karakteristik khusus suatu reaktor penelitian, aspek keselamatan yang berkaitan dengan desain dan operasi memperoleh perhatian utama dibandingkan dengan aspek-aspek yang berkaitan dengan pemilihan tapak, pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir, dan jaminan kualitas. Karakteristik tersebut mencakup berbagai macam desain, rentang daya yang luas, perbedaan modus operasi dan tujuan penggunaan, kekhususan tapak, dan perbedaan diantara organisasi pengoperasi reaktor. Karakteristik tersebut memerlukan keleluasaan didalam menentukan tujuan dan persyaratan dasar, sehingga rincian tentang struktur organisasi dan memadainya tapak lebih ditekankan pada penilaian kasus demi kasus berdasarkan pada persyaratan umum yang tercantum dalam dua Ketentuan Keselamatan diatas.

Berbagai persyaratan keselamatan untuk reaktor penelitian pada dasarnya sama atau mirip dengan untuk reaktor daya. Berdasarkan hal ini, untuk reaktor penelitian dengan potensi bahaya yang lebih tinggi, penggunaan ketentuan keselamatan untuk reaktor daya mungkin lebih tepat. Walaupun demikian, ada perbedaan penting antara reaktor daya dan reaktor penelitian yang harus diperhatikan untuk menjamin agar desain dan operasi dari suatu reaktor penelitian akan menghasilkan keselamatan fasilitas yang memadai.

Sebagai contoh, kebanyakan reaktor penelitian mempunyai potensi bahaya yang kecil terhadap masyarakat dibanding dengan reaktor daya, tetapi potensi bahayanya dapat lebih besar terhadap operatormya sendiri. Demikian pula, keleluasaan yang lebih besar dalam pemakaiannya untuk masing masing eksperimen mensyaratkan pendekatan yang berbeda untuk mencapai atau mengelola keselamatan. Ketentuan Keselamatan untuk reaktor daya mungkin perlu dimodifikasi agar dapat diterapkan untuk reaktor penelitian dan mungkin masih kurang memadai dan akan menghasilkan perbedaan interpretasi. Perbedaan antara reaktor daya dan kebanyakan reaktor penelitian ini tidak hanya untuk desain dan operasi, tetapi juga untuk jaminan kualitas dan peraturannya.

## **2.2. Tujuan**

Tujuan utama dari diterbitkannya Ketentuan Keselamatan ini adalah untuk memberikan landasan keselamatan bagi desain suatu reaktor penelitian dan untuk pengkajian desainnya. Tujuan lain adalah untuk melingkup aspek-aspek tertentu yang berkaitan dengan pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir, pemilihan tapak dan jaminan kualitas, sejauh hal ini masih berhubungan dengan kegiatan desain reaktor penelitian. Dikarenakan eratnya kaitan antara desain dan operasi, Ketentuan Keselamatan tentang dua topik tersebut harus digunakan secara bersamaan.

Tujuan diatas dinyatakan dalam bentuk persyaratan dan rekomendasi untuk desain reaktor penelitian. Penekanan dititik beratkan pada persyaratan keselamatan yang harus dipenuhi dan bukan pada bagaimana cara memenuhi persyaratan keselamatan tersebut.

## **2.3. Ruang Lingkup**

Persyaratan dan rekomendasi yang tercantum dalam Ketentuan Keselamatan ini harus diterapkan pada desain reaktor penelitian baru dan harus juga diterapkan sedapat mungkin pada reaktor yang telah ada; misalnya, dengan adanya eksperimen baru dan dilakukannya modifikasi terhadap reaktor tersebut.

Dengan pengecualian seperti dicatat dibawah, Ketentuan Keselamatan ini dapat diberlakukan terhadap desain semua jenis reaktor penelitian. Ketentuan ini juga berlaku untuk desain perangkat kritis dan perangkat subkritis (yang selanjutnya kedua tipe ini disebut sebagai reaktor) sejauh ia layak diterapkan pada kedua fasilitas tersebut.

Persyaratan yang tercantum dalam Ketentuan Keselamatan ini memberikan landasan bagi keselamatan reaktor penelitian dengan potensi bahaya yang kecil terhadap masyarakat dan dengan karakteristik tertentu. Untuk reaktor lain misalnya reaktor penelitian dengan daya beberapa puluh megawat, reaktor penelitian dengan spektrum neutron cepat, atau reaktor daya prototipe kecil, untuk beberapa aspek tertentu memerlukan upaya keselamatan tambahan, dimana penggunaan Ketentuan Keselamatan untuk reaktor daya mungkin lebih memadai. Dalam Ketentuan Keselamatan ini tidak dicantumkan spesifikasi untuk transisi ke ketentuan keselamatan lain. Spesifikasi tersebut harus mendapat persetujuan dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir.

Namun demikian, selain itu ada juga reaktor penelitian (termasuk perangkat kritis) yang tidak memerlukan beberapa persyaratan karena tidak didukung landasan fisis untuk itu, sebagai contoh pada perangkat kritis tidak memerlukan pendingin teras karena tidak menghasilkan daya.

Dalam ketentuan ini reaktor penelitian mencakup teras reaktor, fasilitas eksperimen dan semua fasilitas lain yang berhubungan baik dengan teras reaktor maupun fasilitas eksperimennya yang berada dalam tapak reaktor.

## **BAB III**

### **TUJUAN KESELAMATAN**

Tujuan keselamatan keseluruhan suatu reaktor penelitian adalah untuk melindungi seseorang, masyarakat dan lingkungan dengan membentuk dan memelihara pertahanan yang efektif terhadap bahaya radiologi.

Berdasarkan tujuan keselamatan ini, tujuan lebih rinci yang berkaitan dengan proteksi radiasi adalah: untuk menjamin agar pengoperasian dan pemanfaatan reaktor penelitian dibenarkan melalui pertimbangan proteksi radiasi (prinsip pembenaran); untuk menjamin agar selama keadaan operasi paparan radiasi terhadap personil tapak dan masyarakat tetap berada dibawah nilai batas yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir dan diusahakan serendah mungkin (prinsip ALARA); dan menjamin pengurangan paparan radiasi akibat kecelakaan (prinsip intervensi).

Sedangkan tujuan yang lebih rinci yang berkaitan dengan kecelakaan, adalah untuk menjamin pencegahan terjadinya kecelakaan; untuk menjamin agar semua rentetan kejadian yang dipertimbangkan didalam desain fasilitas, termasuk rentetan kejadian yang mempunyai kementakan rendah, akibat radiologinya adalah kecil; dan untuk menjamin, baik melalui upaya pencegahan maupun upaya penanggulangan, agar kecelakaan dengan akibat besar kemungkinannya sangat kecil (tujuan keselamatan teknis).

Untuk mencapai tujuan diatas, sejumlah persyaratan keselamatan dan rekomendasi diberlakukan terhadap semua pihak yang akhirnya terlibat didalam menjamin keselamatan operasi reaktor penelitian. Termasuk dalam hal ini adalah Ketentuan yang diterapkan didalam desain maupun upaya yang akan dilakukan selama operasi. Untuk kedua hal tersebut harus dilakukan pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir secara memadai.

## **BAB IV**

### **PERSYARATAN TAPAK**

Dasar-dasar pemilihan tapak reaktor penelitian dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor. Secara khusus, desain reaktor penelitian dan maksud penggunaannya akan menyebabkan beban tertentu terhadap tapak. Reaktor penelitian dengan daya rendah hanya akan menimbulkan sedikit kendala pada tapak. Di lain pihak, reaktor penelitian yang didesain untuk beroperasi pada tingkat daya tertentu dan digunakan untuk pengujian eksperimen yang ekstensif akan menuntut persyaratan tapak dan desain yang lebih ketat.

Tujuan utama yang berkaitan dengan keselamatan nuklir dalam pemilihan tapak reaktor penelitian adalah melindungi masyarakat dan lingkungan terhadap dampak radiologi dari pelepasan zat radioaktif pada saat kecelakaan. Pelepasan zat radioaktif selama operasi normal juga harus dipertimbangkan. Dalam mengevaluasi kesesuaian tapak untuk suatu reaktor penelitian, beberapa aspek berikut dipertimbangkan :

- (a) Pengaruh kejadian luar yang terjadi di daerah tapak tertentu (peristiwa ini dapat disebabkan oleh faktor alam atau manusia);
- (b) Karakteristik tapak dan lingkungannya yang dapat mempengaruhi perpindahan zat radioaktif yang terlepas ke manusia;
- (c) Kerapatan penduduk dan distribusinya serta karakteristik luar tapak lain yang berkaitan dengan kemungkinan pelaksanaan upaya penanggulangan keadaan darurat, dan perlunya mengevaluasi resiko terhadap perorangan dan kelompok masyarakat.

Karakteristik tapak yang dapat mempengaruhi faktor keselamatan reaktor penelitian, khususnya frekuensi dan keparahan kejadian alam dan kejadian yang diakibatkan oleh manusia, harus diselidiki dan dikaji.

Karakteristik lingkungan dalam daerah tapak yang secara potensial dapat dipengaruhi oleh dampak radiologi fasilitas selama operasi normal dan kondisi kecelakaan harus diselidiki. Karakteristik ini harus diamati dan dimonitor selama umur reaktor penelitian tersebut.

Perubahan yang dapat diperkirakan dari faktor alam dan faktor buatan manusia di dalam daerah tapak yang berpengaruh terhadap keselamatan harus dievaluasi untuk suatu periode umur reaktor. Faktor-faktor ini, khususnya pertumbuhan penduduk dan distribusinya, harus dimonitor selama umur reaktor tersebut. Jika perlu, upaya tertentu harus dilakukan untuk menjamin agar risiko keseluruhan tetap rendah.

Dalam rangka memperkecil risiko keseluruhan ke tingkat yang dapat diterima, tingkat keparahan akibat kejadian luar dengan kemungkinan kejadian yang tak dapat diabaikan harus digunakan sebagai landasan desain reaktor penelitian. Dalam hal fasilitas dengan semua ciri keselamatannya tidak dapat mengatasi kejadian tersebut tanpa risiko radiasi terhadap masyarakat yang tidak dapat diterima, maka tapak harus dinyatakan tidak memadai. Dalam analisis kesesuaian tapak, pertimbangan harus diberikan pada penyimpanan dan pengangkutan bahan bakar baru dan bekas serta limbah radioaktif.

Pemantauan radiologi yang memadai dalam tapak harus dilakukan sebelum pelaksanaan suatu kegiatan tapak untuk menentukan tingkat radiasi latar belakang yang diperlukan dalam rangka mengkaji dampak reaktor dimasa mendatang dilokasi tapak. Hal ini penting untuk menunjang keputusan tentang diterima tidaknya usulan dekomisioning.

Untuk setiap tapak yang diusulkan, dampak radiologi potensial terhadap masyarakat di daerah tersebut selama operasi normal dan kondisi kecelakaan, termasuk hal-hal yang dapat mempengaruhi upaya penanggulangan keadaan darurat, harus dievaluasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang relevan seperti distribusi penduduk, kebiasaan makan, tataguna tanah dan air, dan dampak radiologi dari lepasan zat radioaktif lain di wilayah lokasi reaktor.

Suatu Program Jaminan Kualitas (PJK) harus disusun dan dilaksanakan untuk semua kegiatan yang dapat mempengaruhi keselamatan dan perolehan parameter dasar desain untuk tapak tersebut. Program jaminan kualitas tersebut harus dibuat berjenjang dan harus disusun sesuai dengan kepentingannya terhadap keselamatan dari masing-masing kegiatan tapak.

Hasil dari studi dan penyelidikan tapak harus didokumentasikan dan disampaikan dengan cukup rinci kepada Badan Pengawas Tenaga Nuklir untuk memungkinkan penilaian secara independen. Hal ini dapat mendukung penyusunan bagian pertama dari LAK untuk reaktor penelitian.

## **BAB V**

### **PERSYARATAN DESAIN UMUM**

#### **5.1. Umum**

Tujuan keselamatan sebagaimana tercantum dalam Bab III dapat dicapai dengan memberlakukan persyaratan keselamatan desain untuk semua kegiatan yang berkaitan dengan desain reaktor. Persyaratan desain umum dalam bab ini diberlakukan terhadap desain semua jenis reaktor penelitian. Seperangkat persyaratan desain khusus yang dicantumkan dalam Bab VII, juga harus diberlakukan sebagai persyaratan tambahan untuk desain jenis reaktor tertentu.

Penerapan dari persyaratan keselamatan ini harus merupakan proses interaksi, artinya mereka harus dilaksanakan disemua tahap desain, dengan mempertimbangkan umpan balik dari hasil analisis keselamatannya.

Pendesain reaktor harus mempertimbangkan tidak hanya reaktornya sendiri, akan tetapi juga fasilitas penunjang lain yang mungkin mempengaruhi keselamatan. Pendesain harus juga mempertimbangkan implikasi desain tersebut disemua tahap lain selama umur reaktornya.

Akhirnya, tercapainya desain yang aman mensyaratkan terjalinnya hubungan yang erat antara pendesain reaktor dengan organisasi pengoperasi.

#### **5.2. Pertahanan Berlapis**

Proses desain reaktor penelitian harus memasukkan ciri-ciri pertahanan berlapis sedemikian sehingga tersedia tingkat proteksi secara berganda terhadap pelepasan zat radioaktif. Aspek-aspek utama dari konsep pertahanan berlapis harus diuraikan dan dipertimbangkan dalam desain reaktor penelitian sebagai berikut :

- (a) Penggunaan kelonggaran desain yang konservatif, pelaksanaan program jaminan kualitas, pengaturan kegiatan pengawasan, dan penerapan budaya keselamatan.
- (b) Pemakaian penghalang fisik yang memadai untuk proteksi terhadap pelepasan zat radioaktif. Contoh penghalang ganda adalah: matriks bahan bakar, kelongsong bahan bakar, sistem pendingin primer, kolam reaktor, gedung reaktor, dll. Penghalang ganda tersebut dinilai sebagai faktor penting dalam pertahanan berlapis.
- (c) Ketentuan tentang metode/cara berganda untuk menjamin setiap fungsi keselamatan dasar berikut:
  - memadamkan reaktor dan mempertahankannya dalam kondisi padam yang aman untuk semua keadaan baik operasional atau kondisi kecelakaan;
  - menyediakan pembuangan panas atau mendinginkan yang memadai dari teras reaktor setelah padam, termasuk pada saat kondisi kecelakaan;
  - mengungkung zat radioaktif dengan maksud membatasi terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan.

- (d) Penggunaan peralatan dan prosedur administratif untuk :
  - mencegah penyimpangan dari operasi normal
  - mencegah peristiwa operasi yang diperkirakan berkembang ke kondisi kecelakaan,
  - mengendalikan kondisi kecelakaan dan memperkecil akibatnya.
- (e) Penggunaan rencana penanggulangan keadaan darurat dalam tapak dan luar tapak dengan tujuan untuk mengurangi pengaruh pelepasan sejumlah besar zat radioaktif ke lingkungan terhadap masyarakat.

Ketiga persyaratan dasar seperti tersebut dalam huruf (c) di atas (yaitu memadamkan, mendinginkan dan mengungkung) dapat dipenuhi melalui pemilihan kombinasi yang memadai dari ciri keselamatan melekat yang dimasukkan dalam desain, sistem keselamatan dan ciri keselamatan teknis yang memadai, dengan prosedur administrasi yang diberlakukan selama umur reaktor. Contoh ciri keselamatan melekat dapat berupa pemilihan bahan dan geometri yang memberikan koefisien reaktivitas temperatur negatif secara spontan.

Sistem keselamatan pada umumnya digunakan untuk memenuhi ketiga persyaratan dasar seperti tersebut dalam huruf (c) di atas. Desainnya harus menjamin keandalan yang tinggi, disamping harus mencakup kelengkapan untuk mempermudah dilakukannya inspeksi, pengujian dan perawatan secara berkala.

Prosedur administrasi dapat berisi aturan operasi dalam bentuk batasan dan kondisi operasi yang diperoleh dari Laporan Analisis Keselamatan (LAK). Sifat keleluasaan reaktor penelitian mensyaratkan perlunya diberikan perhatian khusus terhadap pembentukan suatu sistem pengendalian dan prosedur administrasi yang memadai.

### **5.3. Analisis Keselamatan untuk Desain**

Keselamatan reaktor penelitian harus dianalisis dan dievaluasi untuk membuktikan bahwa ia cukup memadai. Kegiatan analisis keselamatan dan desain reaktor merupakan proses yang saling menunjang dan harus dilaksanakan secara bersamaan.

Hasil-hasil analisis keselamatan reaktor harus tertuang dan tercermin secara lengkap dan jelas didalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK).

Evaluasi keselamatan reaktor penelitian harus mencakup analisis tentang respons reaktor dalam rentang kejadian awal postulasi (seperti kesalahan atau kegagalan peralatan, kesalahan operator atau kejadian luar) yang dapat mengakibatkan terjadinya peristiwa operasi yang diperkirakan atau kondisi kecelakaan. Bila perlu, evaluasi tersebut harus juga mencakup peralatan eksperimen yang berpengaruh terhadap aspek keselamatannya sendiri maupun pengaruhnya terhadap reaktor. Analisis ini harus digunakan sebagai landasan untuk penentuan batasan dan kondisi operasi reaktor. Analisis ini harus digunakan juga dalam penyusunan prosedur operasi, program pengujian dan program inspeksi berkala, pemeliharaan catatan, jadwal perawatan, usulan modifikasi dan perencanaan penanggulangan keadaan darurat.

Harus ditunjukkan bahwa kejadian awal yang postulasi telah mencakup semua kecelakaan yang mungkin terjadi yang mempengaruhi keselamatan reaktor. Khususnya, Kecelakaan Landasan Desain (KLD) harus diidentifikasi. Kecelakaan diluar Kecelakaan

Landasan Desain (KLD) dapat dianalisis untuk keperluan penyusunan rencana penanggulangan keadaan darurat dan manajemen kecelakaan.

Untuk keperluan analisis keselamatan, kejadian awal postulasi seperti terdapat dalam Lampiran I harus digunakan sebagai bahan pertimbangan minimum.

Kejadian awal postulasi dan akibatnya harus dianalisis dan disajikan sedemikian sehingga :

- (a) mengkatagorikan kecelakaan berdasarkan jenisnya sehingga hanya jenis tertentu saja dari kelompok tersebut perlu dilakukan analisis secara kuantitatif;
- (b) menunjukkan penyebab kejadian dan kemungkinan akibatnya untuk jenis kecelakaan yang dianalisis;
- (c) membuktikan bahwa risiko dan kelonggaran keselamatan yang berkaitan dengan operasi reaktor masih dapat diterima.

Untuk masing masing kejadian awal postulasi, informasi secara kualitatif maupun kuantitatif tentang aspek berikut harus dipertimbangkan didalam evaluasi :

- (a) Parameter masukan, kondisi awal, kondisi batas, asumsi asumsi, model dan kode komputer yang digunakan
- (b) Urutan kejadian dan unjuk kerja sistem reaktor
- (c) Kepekaan terhadap modus kegagalan tunggal dan kegagalan umum.
- (d) Kepekaan terhadap faktor manusia
- (e) Potensi pelepasan zat radioaktif hasil belahan dan paparan radiasinya.

Untuk masing masing rentetan kecelakaan yang dipertimbangkan, perlu berfungsinya sistem keselamatan dan sistem proses yang tidak gagal selama kondisi kecelakaan harus ditunjukkan.

Evaluasi kejadian tersebut biasanya dilakukan dengan analisis deterministik. Teknik probabilistik harus digunakan sebagai pendukung evaluasi tersebut. Hasil hasil dari analisis probabilistik ini harus digunakan sebagai masukan bagi desain sistem keselamatan dan fungsinya. Analisis probabilistik juga dapat digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya titik lemah dalam desain sistem tersebut.

#### **5.4. Batasan Desain Parameter**

Batasan desain untuk semua parameter yang relevan harus ditentukan untuk masing masing keadaan operasi reaktor maupun untuk kondisi kecelakaan. Batasan tersebut harus dapat memberikan keyakinan yang tinggi bahwa tidak akan terjadi kerusakan yang fatal terhadap teras reaktor selama operasi normal maupun kondisi kecelakaan, dan bahwa pelepasan zat radioaktif masih berada dibawah nilai batas seperti ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir.

Perbandingan antara berbagai rentetan kejadian harus dilakukan untuk mengidentifikasi harga parameter mana yang paling berpengaruh dalam menentukan desain masing masing sistem dan komponen. Perbandingan ini harus mencakup pertimbangan tentang eksperimen. Harga parameter pembatas yang dihasilkan harus digunakan dengan kelonggaran yang memadai untuk keperluan desain masing masing sistem dan komponen.

## **5.5. Fungsi Keselamatan**

Fungsi keselamatan merupakan karakteristik penting dari berbagai sistem yang menjamin keselamatan reaktor. Fungsi keselamatan harus diidentifikasi sesuai dengan desain reaktor khusus yang dipertimbangkan. Selama operasi normal, peralatan yang diperlukan untuk melaksanakan fungsi keselamatan adalah sistem operasi. Pada umumnya, sistem operasi ini akan ditunjang oleh ciri keselamatan teknis guna melaksanakan fungsinya selama peristiwa operasi yang diperkirakan dan pada saat kondisi kecelakaan.

## **5.6. Desain Keandalan Sistem**

Sebagai pedoman atau untuk digunakan sebagai kriteria penerimaan yang disetujui oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir, batasan tentang ketaktersediaan maksimum untuk sistem keselamatan atau komponen tertentu harus ditentukan untuk menjamin keandalan yang diperlukan bagi unjuk kerja fungsi keselamatan.

Upaya upaya yang diberikan dibawah ini harus dipergunakan, jika perlu secara kombinasi, untuk memperoleh dan mempertahankan keandalan yang ditentukan sesuai dengan kepentingannya terhadap fungsi keselamatan dari sistem dan komponen tersebut.

### **5.6.1. Kerangkapan dan Kegagalan Tunggal**

Prinsip kerangkapan harus diterapkan sebagai prinsip desain yang penting untuk menaikkan keandalan sistem yang penting untuk keselamatan. Desain tersebut harus menjamin bahwa tidak ada kegagalan tunggal dapat mengakibatkan hilangnya kemampuan suatu sistem dalam melaksanakan fungsi keselamatan.

Seperangkat peralatan yang tidak dapat diuji secara tersendiri harus tidak dipandang sebagai peralatan rangkap.

Tingkat kerangkapan yang diterapkan harus juga mencerminkan potensi kegagalan tak terdeteksi yang dapat menurunkan keandalan.

### **5.6.2. Keragaman**

Prinsip keragaman dapat menaikkan keandalan dan mengurangi potensi kegagalan umum. Keragaman ini harus diterapkan sedapat mungkin.

### **5.6.3. Kemandirian**

Prinsip kemandirian (sebagai isolasi fungsi, atau sebagai pemisahan secara fisik melalui jarak, penghalang atau tataletak komponen reaktor) harus diterapkan sedapat mungkin untuk menaikkan keandalan sistem, khususnya terhadap kegagalan dengan penyebab umum.

### **5.6.4. Desain gagal-aman**

Jika memungkinkan, prinsip gagal-aman harus diterapkan pada komponen-komponen yang penting untuk keselamatan, yakni, jika suatu sistem atau komponen gagal, maka reaktor harus berada dalam keadaan aman tanpa keharusan melakukan tindakan apapun oleh operator.

### **5.6.5. Kemudahan diuji**

Semua komponen reaktor harus didesain dan diatur sedemikian sehingga dapat dengan mudah diinspeksi, diuji dan dirawat secara berkala sesuai dengan kepentingannya terhadap keselamatan sebelum komisioning dan pada saat selang waktu berikutnya. Jika pada prakteknya tidak memungkinkan untuk melakukan pengujian yang memadai terhadap suatu komponen, maka dalam analisis keselamatan harus diperhitungkan kemungkinan terjadinya kegagalan yang tak terdeteksi dari komponen tersebut.

### **5.7. Persyaratan Jaminan Kualitas**

Prinsip umum untuk mencapai keselamatan memerlukan suatu pendekatan yang terencana dan sistematis sejak desain awal sampai dengan dilakukannya perubahan berikutnya selama umur reaktor. Pendekatan ini harus dilaksanakan melalui suatu Program Jaminan Kualitas yang telah disetujui. Pada saat memulai tahap desain, program jaminan kualitas yang berisi persyaratan secara garis besar untuk keperluan desain reaktor harus disusun dan dilaksanakan oleh organisasi pengoperasi. Program jaminan kualitas tersebut harus dijabarkan ke dalam rencana yang lebih rinci untuk setiap sistem, struktur dan komponen sehingga kualitas desain reaktor dapat dijamin setiap saat.

Untuk penyusunan program jaminan kualitas harus digunakan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Petunjuk Teknis Penyusunan Program Jaminan Kualitas Instalasi Nuklir. Prinsip umum yang tercantum dalam Petunjuk Teknis tersebut harus dipertimbangkan dengan menggunakan pendekatan berjenjang untuk menyusun program jaminan kualitas desain reaktor penelitian. Terinci tidaknya program jaminan kualitas yang disyaratkan untuk desain reaktor penelitian tertentu akan tergantung pada potensi bahayanya dan persyaratan Badan Pengawas Tenaga Nuklir.

Organisasi pengoperasi harus mengidentifikasi barang, jasa dan prosedur yang penting untuk desain keselamatan, dan kesemuanya ini harus dicakup didalam program jaminan kualitas. Perhatian khusus harus dicurahkan terhadap barang yang penting untuk keselamatan. Persyaratan program jaminan kualitas tersebut antara lain adalah organisasi desain, kualifikasi pendesain, pengendalian terhadap kegiatan dan penerapan tingkatan jaminan kualitas desain secara berjenjang. Prosedur jaminan kualitas harus disusun antara lain prosedur-prosedur pertukaran informasi diantara pihak-pihak terkait, pengendalian dokumen, pengendalian pengadaan, pengendalian peralatan dan bahan, pengendalian proses, pengendalian inspeksi dan pengujian, pengendalian ketaksesuaian, tindakan korektif, penilaian, identifikasi kriteria, spesifikasi tingkat kualitas, verifikasi desain, audit dan revisi prosedur pengendalian.

### **5.8. Peraturan dan Standar**

Peraturan dan standar yang diberlakukan terhadap sistem, struktur dan komponen harus diidentifikasi dan penggunaannya harus disahkan. Khususnya, jika peraturan dan standar yang berlainan digunakan untuk aspek-aspek yang berbeda dari barang dan sistem yang sama, maka konsistensi diantara mereka harus ditunjukkan. Bidang-bidang tertentu yang tercakup oleh peraturan dan standar antara lain adalah:

- desain mekanis
- desain struktur
- desain penahan gempa
- pemilihan bahan

- fabrikasi peralatan dan komponen
- inspeksi terhadap sistem, komponen dan struktur yang telah difabrikasi dan terpasang
- desain termohidrolik dan neutronik
- desain listrik
- desain sistem instrumentasi dan kendali
- perisai dan proteksi radiasi
- proteksi kebakaran
- inspeksi, pengujian dan perawatan yang berkaitan dengan desain

Untuk sistem, struktur dan komponen dimana tidak tersedia peraturan dan standar yang memadai, dapat digunakan pendekatan berupa pemakaian peraturan atau standar yang berlaku untuk peralatan yang serupa. Apabila benar-benar tidak tersedia peraturan dan standar untuk keperluan tersebut, hasil-hasil yang diperoleh dari pengalaman, pengujian, analisis, atau kombinasi dari padanya dapat digunakan dan harus dibenarkan.

## **5.9. Pertimbangan khusus untuk Penggunaan Eksperimen**

Kegagalan peralatan eksperimen memerlukan pertimbangan khusus, oleh karena dapat :

- memungkinkan timbulnya bahaya langsung akibat kegagalan peralatan eksperimen itu,
- menyebabkan bahaya tidak langsung melalui pengaruhnya terhadap keselamatan operasi reaktor penelitian,
- menambah bahaya yang berasal dari suatu kejadian reaktor awal melalui kegagalan peralatan eksperimen dan dampaknya terhadap rentetan kejadian tersebut.

Berdasarkan sifatnya, reaktor penelitian sangat bervariasi dari segi pemakaian dan operasinya, dan menyediakan akses langsung ke teras reaktor dan peralatan iradiasi. Hal ini dapat menghasilkan potensi bahaya radiasi, tergantung pada jenis reaktornya.

Sifat keleluasaan dan perubahan status operasi beberapa reaktor penelitian mensyaratkan dilakukannya upaya khusus dalam mendesain reaktor untuk mencegah terjadinya peristiwa akibat kesalahan manusia.

Untuk setiap eksperimen baru atau modifikasi reaktor yang mungkin mempengaruhi keselamatan, prosedur yang disyaratkan oleh Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Ketentuan Keselamatan untuk Pengoperasian Reaktor Penelitian harus diikuti.

## **5.10. Desain untuk Keadaan Operasi Normal**

### **5.10.1. Desain dasar**

Reaktor penelitian harus didesain sedemikian sehingga dapat dioperasikan secara aman dalam rentang parameter yang telah ditentukan selama semua kondisi operasi. Desain reaktor harus sedemikian sehingga respons reaktor dan sistem pendukungnya terhadap rentang kejadian yang luas akan memungkinkan reaktor dioperasikan dengan aman atau diturunkan dayanya, jika perlu tanpa bantuan sistem keselamatan.

### **5.10.2. Faktor manusia**

Pertimbangan tentang faktor manusia dan interaksi manusia-mesin secara sistematis harus dimasukkan sejak awal tahap desain sampai dengan akhir proses desain. Faktor manusia merupakan aspek penting dalam persyaratan keselamatan reaktor penelitian oleh karena seringkali terjadi perubahan status operasi reaktor dan operator mempunyai akses relatif lebih besar ke teras reaktor dan ke fasilitas eksperimen. Prinsip ergonomik juga harus diterapkan di dalam desain ruang kendali. Operator harus dilengkapi dengan alat peraga yang jelas dan sinyal yang dapat didengar dari semua parameter yang penting untuk keselamatan. Desain tersebut harus sedapat mungkin mengurangi perlunya dilakukan tindakan oleh operator demi keberhasilannya dalam menjalankan tugasnya. Desain tersebut harus juga meng-otomatiskan unjuk kerja sistem yang penting guna meringankan tugas operator. Sebagai hasil dari pertimbangan faktor manusia ini, pendesain harus memperhatikan kemungkinan perlunya menerapkan sistem interlok, pemintasan sinyal, penguncian, kata kunci (password), dll.

### **5.10.3. Pengujian dan inspeksi**

Desain reaktor harus sedemikian sehingga memudahkan dilakukannya uji fungsi dan inspeksi yang memadai terhadap semua sistem yang penting untuk keselamatan untuk menjamin agar sistem tersebut dapat melaksanakan fungsi keselamatannya bila diperlukan. Hal ini penting khususnya untuk komponen pasif dan untuk sistem-sistem yang kemampuan fungsinya tidak dapat diverifikasi secara rutin. Faktor penting yang harus dipertimbangkan adalah kemudahan melakukan pengujian dan inspeksi dan tingkat dimana pengujian dan inspeksi tersebut mewakili keadaan sebenarnya. Bila mungkin dan perlu, rangkaian swauji harus dipasang dalam sistem listrik dan elektronik.

### **5.10.4. Perawatan dan perbaikan**

Desain reaktor harus memberikan kelengkapan tentang akses yang memadai, perisai yang mencukupi, penanganan dan dekontaminasi jarak jauh untuk mempermudah kegiatan perawatan dan perbaikan.

### **5.10.5. Pemilihan bahan**

Dalam tahap desain, kelonggaran keselamatan yang memadai harus disediakan untuk menampung perubahan sifat bahan yang diperkirakan terjadi pada saat akhir masa pakainya. Bila data bahan tidak tersedia, program pemeriksaan bahan yang memadai harus dilaksanakan dan hasil program pemeriksaan tersebut digunakan untuk menilai memadai tidaknya desain dalam selang waktu tertentu. Program pemeriksaan bahan ini mungkin memerlukan kelengkapan desain untuk memonitor perubahan sifat mekanik bahan selama operasi reaktor yang diduga disebabkan oleh berbagai faktor seperti faktor korosi tegangan atau perubahan akibat radiasi. Penambahan faktor keselamatan dapat diperoleh melalui pemilihan bahan yang mempunyai kekuatan tarik dan titik lebur yang tinggi.

## **5.11. Desain untuk Kondisi Kecelakaan**

Bila disyaratkan tindakan spontan yang dapat diandalkan sebagai tanggapan terhadap kejadian awal postulasi, desain reaktor harus berisi cara-cara untuk memulai secara otomatis operasi sistem keselamatan yang diperlukan. Didalam beberapa kasus, setelah terjadi kondisi kecelakaan, operator perlu melakukan tindak lanjut untuk menempatkan reaktor kedalam keadaan

stabil untuk jangka panjang. Desain tersebut harus sedapat mungkin mengurangi campur tangan operator, khususnya untuk perioda waktu selama dan setelah kondisi kecelakaan tersebut.

Sistem proteksi reaktor harus mampu memulai secara otomatis tindakan proteksi yang diperlukan untuk seluruh rentang kejadian awal postulasi, dan menghentikan kejadian tersebut secara aman. Kemampuan ini harus memperhitungkan kemungkinan terjadinya kesalahan fungsi pada bagian sistem tersebut (kegagalan tunggal). Dalam beberapa kasus, tindakan operator secara manual mungkin dipandang cukup dapat diandalkan asalkan :

- tersedia waktu yang cukup,
- informasi diproses dan ditampilkan dengan baik,
- diagnosanya sederhana dan tindakan yang perlu dilakukan terdefinisi secara jelas,
- tindakan yang harus dilakukan oleh operator tidak berlebihan.

Barang yang penting untuk keselamatan harus didesain sedemikian sehingga dapat mengatasi pengaruh beban yang berlebihan dan kondisi lingkungan ekstrim (misalnya: temperatur, kelembaban, radiasi yang ekstrim) yang berasal dari kondisi kecelakaan. Kondisi padam jangka panjang yang stabil setelah terjadi suatu kecelakaan dapat berbeda dari kondisi padam awal. Oleh karena itu, desain reaktor harus berisi kelengkapan untuk membawa reaktor ke kondisi stabil jangka panjang.

Kemampuan pemantauan semua proses dan peralatan penting selama dan setelah terjadi kecelakaan harus disediakan. Jika perlu, kemampuan pemantauan dan pemadaman reaktor jarak jauh harus disediakan.

Sistem proteksi harus mandiri dari sistem kendali.

## **5.12. Proteksi Radiasi**

Desain reaktor penelitian harus berisi kelengkapan yang memadai berdasarkan pada konsep proteksi radiasi yang konsisten dengan tujuan proteksi radiasi sebagaimana dimaksud pada Bab II (alinea kedua), untuk perisai, ventilasi, filtrasi dan sistem peluruhan serta untuk instrumen pemantauan radiasi dan zat radioaktif di udara, untuk semua keadaan operasi dan kondisi kecelakaan.

Tingkat dosis maksimum untuk keperluan desain harus ditentukan dengan kelonggaran yang cukup, dan reaktor beserta fasilitas yang terkait seperti perisai, ventilasi, filtrasi, dan sistem peluruhan harus didesain sedemikian sehingga dapat menampung ketidakpastian dalam operasinya, dan dalam semua keadaan operasi dan kondisi kecelakaan, sesuai dengan tujuan keselamatan sebagaimana dimaksud pada Bab II (alinea kedua dan ketiga).

Bahan struktur, khususnya yang digunakan dekat dengan teras, harus dipilih dengan hati-hati untuk mengurangi dosis radiasi personil selama operasi, inspeksi, perawatan dan perbaikan, maupun untuk keperluan lain. Pengaruh radionuklida yang dihasilkan oleh aktivasi neutron dalam sistem proses reaktor (seperti N-16, H-3, Ar-41, Na-24, Co-60) harus dipertimbangkan dengan saksama di dalam kelengkapan proteksi radiasi bagi personil pada tapak dan bagi masyarakat umum.

Desain reaktor penelitian harus berisi kelengkapan yang diperlukan untuk pengendalian akses ke daerah dimana tingkat radiasinya dapat melebihi tingkat radiasi di daerah operasi normal.

### **5.13. Proteksi Fisik**

Desain reaktor penelitian harus berisi perlengkapan yang memadai untuk mencegah orang yang tidak berkepentingan masuk ke tapak atau gedung pada tapak, dengan tujuan utama untuk mencegah terjadinya pencurian atau perpindahan bahan nuklir dengan tidak sah dan mencegah sabotase terhadap reaktor.

### **5.14. Komisioning**

Pendesain harus menambahkan ciri ciri desain sebagaimana diperlukan untuk mempermudah proses komisioning reaktor.

### **5.15. Batasan dan Kondisi Operasi**

Batasan dan kondisi operasi atau spesifikasi keselamatan yang rinci harus dibuat untuk suatu reaktor penelitian. Batasan dan kondisi operasi tersebut harus diberlakukan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir, hal ini diatur lebih lanjut dalam Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Penelitian.

### **5.16. Rencana Kedaruratan**

Tergantung pada potensi bahaya reaktor, ciri-ciri desain khusus untuk rencana kedaruratan harus dipertimbangkan. Rencana tersebut dapat mencakup jalan keluar darurat yang jelas dan sederhana dengan lampu darurat yang memadai, sistem komunikasi yang handal dan instrumentasi pemantauan radiasi khusus. Pusat kedaruratan yang terpisah dari ruang kendali reaktor, jika perlu, juga harus dipertimbangkan.

### **5.17. Dekomisioning**

Di dalam desain reaktor, perhatian harus diberikan untuk memperlancar proses dekomisioning. Dalam kaitan ini perhatian harus diarahkan untuk mempertahankan paparan radiasi personil dan masyarakat selama dekomisioning serendah mungkin sesuai dengan konsep ALARA, dan untuk menjamin proteksi lingkungan yang memadai terhadap bahaya kontaminasi zat radioaktif.

## **BAB VI**

### **PERSYARATAN DESAIN KHUSUS**

#### **6.1. Umum**

Persyaratan desain umum sebagaimana diuraikan dalam bab sebelumnya harus digunakan secara bersamaan dengan persyaratan dalam Bab ini untuk mengidentifikasi serangkaian persyaratan desain khusus untuk suatu reaktor tertentu. Harus disadari bahwa perbedaan tipe reaktor mungkin mengharuskan dipenuhinya persyaratan yang berlainan dari Bab ini (lihat juga Bab II dalam sub bab Ruang Lingkup alinea ketiga dan keempat). Penerimaan paparan radiasi personil dan masyarakat umum selama keadaan operasi dan kondisi kecelakaan, tetap merupakan kriteria penting yang tak dapat diabaikan dalam persyaratan desain khusus Bab ini. Sebagai tambahan, proteksi terhadap peristiwa luar harus dipertimbangkan (lihat Bab IV).

#### **6.2. Gedung dan Struktur**

Gedung dan struktur yang penting untuk keselamatan harus didesain untuk semua keadaan operasi. Namun demikian, gedung dan struktur ini dapat membentuk ciri keselamatan teknis untuk kondisi kecelakaan dan dalam hal ini persyaratan desain khusus yang berlaku untuk sistem pengungkgung dicantumkan dalam sub bab no. 6.8. Sistem Pengungkgung.

Gedung dan struktur yang penting untuk keselamatan harus didesain sedemikian sehingga dapat mempertahankan tingkat radiasi dan pelepasan zat radioaktif di dalam dan di luar tapak selama semua keadaan operasi konsisten dengan prinsip ALARA dan masih di bawah nilai batas yang ditetapkan.

Tingkat kedap-bocor gedung reaktor atau gedung dan struktur lain (seperti blok kolam dalam reaktor tipe kolam) yang mengandung zat radioaktif, dan persyaratan sistem ventilasinya harus ditentukan sesuai dengan analisis keselamatan reaktor dan pemanfaatannya.

#### **6.3. Desain Teras Reaktor dan Kendali**

##### **6.3.1. Teras reaktor**

Desain bahan bakar dan elemen bakar harus mempertimbangkan aspek neutronik, termohidrolik, mekanik, bahan, kimia, dan pertimbangan iradiasi yang berkaitan dengan reaktor secara keseluruhan.

Teras reaktor harus didesain sedemikian sehingga kerusakan bahan bakar dipertahankan masih berada dalam batas yang dapat diterima selama kondisi kecelakaan.

Teras reaktor, termasuk elemen atau perangkat bahan bakar, mekanisme pengendalian reaktivitas dan fasilitas eksperimen harus didesain dan dikonstruksi sedemikian sehingga batas desain maksimum yang diijinkan khusus untuk semua keadaan operasi tidak dilampaui. Contoh mekanisme pengendalian reaktivitas adalah batang pengatur, batang kendali, batang atau blade pemadaman dan tingkat moderator.

Reaktor harus didesain sedemikian sehingga reaktor tersebut dapat dipadamkan dan dipertahankan subkritis untuk semua keadaan operasi dan kondisi kecelakaan.

Bila mungkin desain teras reaktor harus menggunakan ciri keselamatan melekat untuk memperkecil akibat dari kondisi kecelakaan.

### **6.3.2. Sistem kendali reaktivitas**

Reaktivitas negatif yang cukup harus tersedia dalam mekanisme kendali reaktivitas sehingga reaktor dapat dibuat subkritis dan dipertahankan subkritis untuk semua keadaan operasi, dengan memperhitungkan pengaruh eksperimen dengan kontribusi reaktivitas positif paling tinggi. Jika mekanisme kendali reaktivitas berfungsi sebagai sistem pemadam reaktor, hal ini merupakan suatu persyaratan (sub bab no. 6.5. Sistem Pemadam Reaktor alinea kedua), tetapi jika fungsinya hanya sebagai sistem kompensasi atau pengatur, sebagai tambahan terhadap sistem pemadam reaktor, hal ini merupakan pilihan yang dikehendaki.

Kecepatan penambahan reaktivitas positif maksimum yang diperbolehkan melalui sistem kendali reaktivitas atau melalui suatu eksperimen harus ditentukan dan dibatasi pada harga harga yang dibenarkan di dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK).

### **6.3.3. Desain termal dan hidrolika**

Teras reaktor ( yang terdiri dari elemen bakar, geometri saluran pendinginan, bagian struktur) harus didesain untuk mempertahankan parameter bahan bakar di bawah batas yang ditentukan selama semua keadaan operasi sehingga kerusakan bahan bakar tidak akan terjadi.

Kelonggaran yang cukup, termasuk kelonggaran terhadap kesalahan dan toleransi teknik harus digunakan untuk menentukan batas tersebut.

## **6.4. Sistem Pendingin Reaktor**

Sistem pendingin reaktor harus didesain untuk memberikan pendinginan yang memadai dengan suatu kelonggaran yang dapat diterima sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK).

Sistem yang berisi pendingin reaktor harus didesain sedemikian untuk memungkinkan dilakukannya pengujian dan pemeriksaan sehingga peristiwa kebocoran, retakan yang menjalar dengan cepat, dan pecah rapuh dapat dicegah. Falsafah penghalang ganda dapat diadopsi seperlunya (yakni sistem pendingin primer dapat ditampung sepenuhnya dalam blok kolam atau dalam suatu susunan khusus untuk mengatasi potensi kebocoran).

Dalam desain reaktor dengan pendingin air yang mempunyai penetrasi pada atau di bawah permukaan teras, harus diberi perhatian khusus untuk mencegah tak terlindunginya teras. Ciri khusus (seperti pecahan syphon) dan peralatan isolasi yang tepat harus digunakan. Desain dan fabrikasi dengan kualitas tinggi yang dipadukan dengan kemudahan untuk diinspeksi dan diuji dan dengan kerangkapan dimana perlu merupakan karakteristik khusus yang penting.

Sistem pendingin reaktor harus didesain untuk memudahkan inspeksi dan pengujian sebelum dan selama dioperasikan.

Jika suatu sistem terpisah disyaratkan untuk mendinginkan teras pada saat padam, suatu sistem dengan keandalan memadai, sebagai tambahan terhadap sistem pendingin primer, harus disediakan untuk pembuangan panas sisa.

Untuk sistem reaktor yang menggunakan pembuka aliran (*flap*) dan sistem sejenis untuk pendinginan sirkulasi alam, sejumlah peralatan cadangan yang mencukupi harus digunakan dan cara pemverifikasian bahwa sejumlah peralatan cadangan tersebut akan berfungsi harus dilengkapi.

Sistem pendingin reaktor harus mampu memindahkan panas dengan baik dalam jangka lama dari bahan bakar ke sistem buangan panas akhir.

## **6.5. Sistem Pemadam Reaktor**

Sekurang-kurangnya satu sistem pemadam harus dimasukkan dalam desain reaktor. Sistem pemadam independen kedua harus dipertimbangkan dan mungkin dibutuhkan, tergantung pada karakteristik reaktor tersebut.

Reaktivitas padam yang mencukupi harus disediakan didalam sistem pemadam sedemikian sehingga reaktor dapat dibuat subkritis dan dipertahankan subkritis dengan suatu kelonggaran yang memadai dalam semua keadaan operasi dan kondisi kecelakaan, dengan memperhitungkan pengaruh reaktivitas eksperimen.

Keefektifan, kecepatan tindakan dan kelonggaran pemadaman dari sistem pemadam reaktor harus sedemikian sehingga batas dan kondisi yang ditetapkan tidak terlampaui.

Kegagalan tunggal dalam sistem pemadam harus tidak menghalangi sistem dalam memenuhi fungsi keselamatannya, jika diperlukan.

Sebagai tambahan terhadap pengaktifan secara otomatis sistem pemadam reaktor, pengaktifan secara manual sistem tersebut harus disediakan. Satu atau lebih pengaktifan manual yang sesuai untuk pemadaman darurat harus juga disediakan.

## 6.6. Sistem Proteksi

Sistem proteksi reaktor harus secara otomatis dan mandiri dengan sistem lain. Sebagai tambahan, sinyal penghenti reaktor secara manual harus disediakan sebagai masukan ke sistem tersebut.

Sistem proteksi harus didesain sedemikian sehingga pada saat diaktifkan, tindakan yang diperlukan tidak dapat dihalangi atau dicegah dengan tindakan manual dan bahwa tindakan manual tidak diperlukan dalam jangka waktu pendek (misal 30 menit atau kurang) setelah terjadi suatu kecelakaan.

Desain sistem proteksi harus menggunakan kerangkapan dan keragaman sedemikian sehingga setiap kejadian awal postulasi dapat dideteksi dengan minimal dua cara berbeda, jika secara fisik memungkinkan. Tindakan proteksi yang memadai harus dimulai secara otomatis.

Sistem proteksi harus terdiri dari sekurang-kurangnya dua kanal yang benar-benar terpisah dan independen sehingga tidak ada kegagalan komponen tunggal dapat menyebabkan kegagalan dalam melaksanakan fungsinya.

Sistem proteksi harus didesain dengan cara sedemikian sehingga reaktor berada dalam kondisi aman kapanpun sistem proteksi mengalami kegagalan dengan penyebab umum. Semua komponen sistem proteksi harus mampu dan dapat diuji secara fungsional.

Tindakan yang mulai dilakukan oleh sistem proteksi, harus berlangsung sampai selesai. Mereka harus tidak dengan sendirinya kembali keposisi semula, dan untuk kembali beroperasi harus memerlukan tindakan operator.

Desain sistem proteksi harus menjamin bahwa titik penyetelan dapat ditentukan dengan suatu kelonggaran diantara titik pengaktifan dan batas keselamatan, agar tindakan yang mulai dilakukan oleh sistem proteksi akan mampu mengendalikan proses reaktor sebelum batas keselamatan dilampaui. Sebagai tambahan, kelonggaran harus dapat menampung hal-hal berikut :

- ketidaktelitian instrumentasi,
- ketidakpastian kalibrasi,
- gerakan instrumen, dan
- waktu respon dari instrumen dan sistem.

Kelonggaran berikutnya dapat dimasukkan untuk keselamatan tambahan.

Cara yang memadai harus dilakukan untuk melindungi penguncian keselamatan dan penghentian reaktor yang penting dari dilakukannya pemintasan. Potensi untuk memintas penguncian dan penghentian harus dievaluasi dengan cermat didalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK).

## **6.7. Sistem Pendinginan Teras Darurat**

Sistem pendinginan teras darurat (SPD) harus mampu mempertahankan semua temperatur teras didalam batas keselamatan yang ditentukan selama semua kondisi padam, termasuk situasi yang ditimbulkan oleh adanya kebocoran dalam sistem pendingin reaktor.

Sistem pendinginan teras darurat (SPD) tersebut harus mampu mencegah kerusakan bahan bakar secara berarti untuk rentang kecelakaan kehilangan pendingin total yang dianalisis didalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) sebagai landasan desain.

Sistem pendinginan teras darurat (SPD) harus didesain dengan keandalan yang mencukupi. Ia harus menjalankan fungsi keselamatan yang dikehendaki pada saat kejadian kegagalan tunggal didalam sistem.

Sistem pendinginan teras darurat (SPD) harus didesain untuk memungkinkan dilakukannya inspeksi terhadap komponen secara berkala, dan harus didesain untuk keperluan pengujian fungsi secara memadai dan berkala guna memverifikasi unjuk kerjanya sebagaimana ditentukan didalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK).

## **6.8. Sistem Pengungkung**

Dalam konteks persyaratan berikut, istilah "gedung reaktor" digunakan untuk mencakup secara kolektif struktur gedung reaktor, sistem ventilasi, penetrasi dan ciri lainnya yang penting untuk fungsi pengungkung.

Sesuai dengan potensi bahaya reaktor, desain gedung reaktor harus memperhitungkan pengaruh dari kondisi pembebanan dan lingkungan paling parah yang diakibatkan oleh kecelakaan, termasuk yang disebabkan oleh kejadian luar dan dalam seperti terdapat Lampiran, nomor 6 dan 7, yang sesuai.

Gedung reaktor tersebut harus didesain dengan kelonggaran yang memadai untuk beban tekanan dan temperatur tertinggi yang diperkirakan selama kondisi yang diharapkan untuk kecelakaan landasan desain (KLD).

Gedung reaktor harus didesain untuk mengendalikan dengan handal lepasan zat radioaktif selama operasi normal dan dalam kondisi kecelakaan.

Laju pelepasan yang dapat diterima pada kondisi kecelakaan harus ditentukan dengan memperhitungkan inventori zat radioaktif yang mudah menguap yang mungkin terdapat dalam jenis reaktor tertentu dan parameter lainnya (seperti tekanan dan temperatur) untuk kondisi kecelakaan terparah yang dapat diterima oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir sebagai landasan desain.

Jika laju kebocoran pada tekanan tertentu untuk gedung reaktor tersebut disyaratkan, maka harus ada ciri desain untuk memungkinkan pengujian awal dan berkala terhadap laju kebocoran.

Perlengkapan untuk pengujian rutin dan penggantian filter dalam sistem ventilasi harus dibuat.

## **6.9. Instrumentasi dan Kendali**

Pemilihan dan pengaturan instrumentasi dan cara peragaannya harus direncanakan dengan mempertimbangkan prinsip ergonomik, untuk memberikan kondisi optimal bagi operator agar dapat memahami informasi dan melakukan tindakan keselamatan yang memadai, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan operator. Biasanya, pengaturan tersebut dipusatkan didalam ruang kendali reaktor yang dilengkapi secara memadai. Upaya yang memadai harus dilakukan untuk mengamankan personil ruang kendali ini.

Reaktor harus dilengkapi dengan instrumentasi yang memadai untuk memonitor operasi dan sistem proses reaktor selama operasi normal, penggantian bahan bakar dan perawatan, dan untuk mencatat semua variabel yang penting untuk keselamatan.

Reaktor harus dilengkapi dengan instrumentasi indikator dan pencatat untuk memonitor parameter reaktor yang penting selama dan setelah peristiwa operasi yang diperkirakan dan kondisi kecelakaan. Mungkin perlu untuk memonitor dan mencatat beberapa parameter di lebih dari satu lokasi.

Desain instrumentasi dan kendali harus memasukkan persyaratan sumber neutron untuk menyalakan reaktor dan instrumentasinya untuk kondisi-kondisi yang memerlukannya.

Sistem alarm yang dapat didengar dan dapat dilihat harus memberikan indikasi dini terhadap perubahan kondisi operasi reaktor yang dapat menyebabkan penurunan keselamatan.

Desain instrumentasi dan kendali harus berisi perlengkapan yang memadai guna melakukan inspeksi, pengujian dan perawatan berkala terhadap instrumentasi yang berkaitan dengan keselamatan.

## **6.10. Sistem Catu Daya Listrik**

Landasan untuk desain daya listrik normal maupun darurat harus ditentukan. Ketersediaan listrik untuk fungsi penting (misalnya sistem proteksi, instrumentasi, penerangan darurat, dll) pada saat kondisi kecelakaan harus merupakan bagian dari landasan desain ini.

Jika listrik darurat diperlukan untuk pompa sirkulasi pendingin, sistem ventilasi darurat atau sistem lainnya yang penting untuk keselamatan, sistem daya listrik darurat harus disediakan dengan keandalan secukupnya guna memperoleh jaminan tentang ketersediaannya.

Periode maksimum yang dapat diterima untuk gangguan daya listrik AC dan DC harus ditentukan dan ditunjukkan kesesuaiannya dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK).

Desain sistem daya listrik darurat harus memperhitungkan persyaratan beban awal dari berbagai peralatan yang dilayani oleh sistem tersebut.

Desain sistem catu daya listrik harus memuat cara yang memadai untuk pengujian kemampuan fungsional dari sistem catu daya listrik darurat.

## **6.11. Sistem Bantu**

Kegagalan dari sistem bantu, dengan mengabaikan kepentingannya terhadap keselamatan, harus tidak membahayakan keselamatan reaktor. Upaya yang memadai harus dilakukan untuk mencegah terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan dalam hal terjadinya kegagalan sistem bantu yang berisi zat radioaktif.

Fasilitas penanganan dan penyimpanan bahan bakar harus didesain dengan pertimbangan diberikan pada pencegahan hilangnya atau rusaknya bahan bakar selama penanganan, kekritisian, pendinginan, inspeksi dan pengujian berkala, korosi, pengungkung, perisai dan ventilasi.

Daerah reaktor yang berdasarkan pengalaman dapat mempunyai konsentrasi zat radioaktif diudara secara berarti harus dilengkapi dengan sistem ventilasi dan pemantauan radiologi secukupnya, termasuk perlengkapan filtrasi yang memadai.

Desain sistem bantu harus berisi upaya yang memadai untuk mencegah kebakaran dan ledakan, dan untuk melindungi terhadap akibatnya bila mereka tanpa sengaja terjadi. Perhatian khusus harus diberikan pada barang yang penting untuk keselamatan.

Jika diperlukan untuk keselamatan reaktor dan fasilitas eksperimen, kelengkapan yang memadai untuk sistem komunikasi harus dibuat.

## **6.12. Peralatan Eksperimen**

Peralatan eksperimen harus didesain sedemikian sehingga dalam semua keadaan operasi tidak dapat menimbulkan akibat yang tak dapat diterima terhadap reaktor, eksperimen lain, personil dalam tapak atau masyarakat. Dalam desain ini, inventori radioaktif dari peralatan eksperimen, maupun potensi untuk pembangkitan atau pelepasan energi harus dipertimbangkan.

Peralatan eksperimen harus didesain sedemikian sehingga baik operasi maupun kegagalannya tidak akan menghasilkan perubahan reaktivitas yang tidak dapat diterima untuk reaktor.

Jika diperlukan untuk keselamatan reaktor, desain peralatan eksperimen harus memuat pemantauan parameter eksperimen yang memadai didalam ruang kendali reaktor.

Batasan dan kondisi operasi harus ditetapkan seperlunya untuk setiap eksperimen.

## **6.13. Sistem Limbah Radioaktif**

Desain reaktor penelitian harus diarahkan pada upaya memperkecil terbentuknya limbah radioaktif. Sistem pengolahan limbah radioaktif harus mempunyai perlengkapan pengendalian dan pemantauan yang memadai untuk mempertahankan pelepasan zat radioaktif serendah mungkin (ALARA) dan dibawah nilai batas yang ditetapkan.

Desain sistem limbah radioaktif harus mempertimbangkan cara-cara memadai, seperti sistem perisai dan sistem peluruhan, untuk menurunkan dosis yang diterima personil dan pelepasan kelingkungan.

Desain tersebut harus memberikan cara-cara yang memadai untuk pengendalian, pengambilan contoh, dan pemantauan lepasan efluen radioaktif ke lingkungan.

Desain sistem limbah radioaktif harus memberikan fasilitas yang memadai, jika perlu, untuk penanganan, pengumpulan, pemrosesan, penyimpanan, dan pembuangan atau pemindahan limbah radioaktif dari tapak. Dalam hal limbah cair yang ditangani, fasilitas tersebut harus mempunyai perlengkapan untuk mendeteksi kebocoran dan pemisahan limbah radioaktif, jika diperlukan.

## LAMPIRAN I

### Kejadian Awal Postulasi

- (1) Kehilangan catu daya Listrik
  - Kehilangan daya listrik normal
- (2) Pemasukan reaktivitas lebih
  - Kekritisitas selama penanganan bahan bakar (kesalahan pemasukan bahan bakar)
  - Kecelakaan penyalaan reaktor
  - Kegagalan batang kendali atau pengarah batang kendali
  - Kegagalan sistem atau pemegang kendali
  - Kegagalan peralatan kendali reaktivitas lainnya (moderator, reflektor, dll.)
  - Posisi batang kendali yang tidak seimbang
  - Kegagalan atau runtuhnya komponen struktur
  - Pemasukan air dingin
  - Perubahan moderator (akibat kekosongan, bocornya  $D_2O$  ke sistem  $H_2O$ , dll.)
  - Pengaruh eksperimen dan fasilitas eksperimen (akibat banjir atau pengosongan, pengaruh suhu, pemasukan atau pengeluaran bahan dapat belah atau penyerap)
  - Reaktivitas pemadam yang tidak mencukupi
  - Kecerobohan penarikan batang kendali
  - Kesalahan perawatan dengan peralatan reaktivitas.
- (3) Kehilangan aliran
  - Kegagalan pompa primer
  - Berkurangnya aliran pendingin primer (akibat kegagalan katup, tersumbatnya pipa atau penukar panas)
  - Pengaruh kegagalan eksperimen atau kesalahan penanganan
  - Kegagalan sistem pendingin darurat
  - Pecahnya sistem pendingin primer yang menyebabkan hilangnya aliran
  - Penyumbatan kanal bahan bakar
  - Distribusi daya yang tidak wajar, akibat tidak seimbangnya posisi batang kendali, eksperimen didalam teras, atau pemuatan bahan bakar.
  - Berkurangnya pendingin akibat pemintasan teras
  - Kesalahan fungsi kendali daya reaktor
  - Penyimpangan tekanan sistem dari batas yang ditetapkan
  - Kehilangan buangan panas (akibat kegagalan katup atau pompa, kerusakan sistem).

- (4) Kehilangan Pendingin
  - Kerusakan sistem pendingin primer
  - Rusaknya kolam
  - Pengosongan kolam oleh pompa
  - Kegagalan "tabung berkas" atau penetrasi lainnya.
- (5) Kesalahan penanganan atau kegagalan peralatan atau komponen
  - Kegagalan kelongsong bahan bakar
  - Kerusakan mekanik teras atau bahan bakar (akibat penanganan bahan bakar, jatuhnya drum pengangkut bahan bakar)
  - Kekritisan bahan bakar di gudang penyimpanan
  - Kegagalan sistem pengungkung atau sistem ventilasi
  - Kehilangan pendingin bahan bakar selama pemindahan atau penyimpanan
  - Hilangnya atau menurunnya kemampuan sistem perisai
  - Kegagalan peralatan atau bahan eksperimen (akibat pecahnya)
  - Terlampauinya kapasitas bahan bakar
- (6) Kejadian interna
  - Kebakaran atau ledakan dalam
  - Banjir dalam
  - Kehilangan sistem pendukung
  - Insiden pengamanan
  - Kesalahan fungsi eksperimen dalam reaktor
  - Akses yang tidak semestinya ke daerah terlarang
- (7) Kejadian eksterna
  - Gempa bumi (termasuk seismik yang mengakibatkan patahan dan longsor)
  - Banjir (termasuk luapan akibat kegagalan bendungan, tersumbatnya sungai)
  - Topan, dan missil akibat topan
  - Badai, angin ribut dan kilat
  - Ledakan
  - Tubrukan pesawat
  - Kebakaran
  - Tumpahnya racun
  - Kecelakaan jalur lalu lintas
  - Pengaruh dari fasilitas didekatnya.
- (8) Kesalahan manusia



## LAMPIRAN II

### FUNGSI KESELAMATAN

\* Catatan : Tidak semua fungsi keselamatan yang tercantum disini dapat digunakan untuk setiap tipe reaktor penelitian.

<b>Barang yang penting untuk keselamatan</b>	<b>Fungsi keselamatan</b>
Gedung dan struktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. membentuk penghalang terhadap pelepasan zat radioaktif yang tak terkendali ke lingkungan</li> <li>b. memberikan perlindungan terhadap peristiwa dalam dan luar bagi sistem keselamatan yang terdapat di dalamnya.</li> <li>c. sebagai perisai terhadap radiasi</li> </ul>
Teras Reaktor	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. mempertahankan geometri bahan bakar dan aliran pendingin yang diperlukan untuk menjamin pemadaman dan pemindahan panas selama semua kondisi operasi reaktor</li> <li>b. memperoleh catu-balik reaktivitas negatif</li> <li>c. memberikan suatu cara memoderasi dan mengendalikan fluks neutron</li> </ul>
Matrik dan kelongsong bahan bakar	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. membentuk penghalang terhadap terlepasnya hasil belahan dari bahan bakar</li> <li>b. memberikan konfigurasi yang tetap</li> </ul>
Sistem kendali reaktivitas (termasuk sistem pemadam reaktor)	mengendalikan reaktivitas teras reaktor untuk menjamin agar reaktor dapat dipadamkan dengan aman dan agar desain bahan bakar dan batasan lain tidak akan dilampaui selama sembarang keadaan operasi.
Sirkuit primer pendingin reaktor	memberikan pendinginan teras yang memadai dan menjamin agar batas yang ditentukan bagi bahan bakar dan pendingin tidak dilampaui dalam sembarang keadaan operasi reaktor.
Sistem pendingin teras darurat	memindahkan panas dari teras reaktor pada saat Kecelakaan Kehilangan Pendingin (KKP, LOCA) dengan laju yang memadai untuk mencegah terjadinya kerusakan bahan bakar yang berarti.
Sistem ventilasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. mengendalikan dan memperkecil terlepasnya efluen zat radioaktif ke lingkungan</li> <li>b. melindungi personil dan para peneliti dari paparan radiasi</li> </ul>

	<p>berlebihan.</p> <p>c. jika perlu, mempertahankan beda tekanan yang cukup antara bagian yg berbeda dalam sistem pengungkung.</p> <p>d. memberikan suasana lingkungan yang sesuai bagi personil dan barang yang penting untuk keselamatan.</p>
Sistem proteksi	<p>a. memulai tindakan proteksi guna memadamkan reaktor, mendinginkan dan mengungkung zat radiaktif dan meringankan akibat kecelakaan.</p> <p>b. mengendalikan penguncian untuk perlindungan terhadap kesalahan operasi jika kondisi yang disyaratkan belum dipenuhi.</p>
Intrumentasi dan Kendali lain yang berkaitan dengan keselamatan	<p>a. menjaga parameter reaktor dalam batas operasi tanpa mencapai batas keselamatan</p> <p>b. melengkapi dan memberikan kepada operator informasi yang cukup untuk dapat menentukan keadaan sistem proteksi dan mengambil tindakan yang tepat.</p>
Catu daya listrik	memberikan daya yang cukup dengan kualitas memadai bagi sistem dan peralatan untuk menjamin kemampuannya melakukan fungsi keselamatan pada saat diperlukan.
Sistem penanganan dan penyimpanan bahan bakar	<p>a. memperkecil paparan radiasi</p> <p>b. mencegah kecelakaan kekritisasi yang tak terkendali</p> <p>c. membatasi naiknya suhu bahan bakar.</p> <p>d. menyimpan bahan bakar baru/bekas.</p> <p>e. mencegah kerusakan mekanis atau kerusakan akibat korosi bahan bakar</p>
Pemonitoran radiasi	memberikan pengukuran dan tanda bahaya untuk memperkecil paparan radiasi terhadap personil dan para peneliti
Proteksi kebakaran	menjamin agar pengaruh merugikan dari kebakaran atau ledakan tidak menghalangi barang yang penting untuk keselamatan dari pelaksanaan fungsi keselamatannya jika diperlukan untuk itu.