



SALINAN

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 3 TAHUN 2022
TENTANG
KESELAMATAN DESAIN TERAS REAKTOR DAYA

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA,

- Menimbang:
- a. bahwa untuk menjamin terpenuhinya fungsi keselamatan dasar reaktor nuklir, perlu diatur persyaratan khusus desain reaktor nuklir dalam desain teras reaktor daya;
 - b. bahwa dengan terpenuhinya fungsi keselamatan dasar reaktor nuklir, konsekuensi radiologi karena lepasan zat radioaktif ke lingkungan dapat diminimalkan pada semua kondisi operasi dan kondisi kecelakaan;
 - c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Keselamatan Desain Teras Reaktor Daya;
- Mengingat:
1. Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1997 Nomor 23, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3667);

2. Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Departemen sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Peraturan Presiden Nomor 145 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedelapan atas Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Kementerian (Lembaga Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 323);
3. Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 1452);

MEMUTUSKAN:

Menetapkan: PERATURAN BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR TENTANG KESELAMATAN DESAIN TERAS REAKTOR DAYA.

BAB I

KETENTUAN UMUM

Pasal 1

Dalam Peraturan Badan ini yang dimaksud dengan:

1. Reaktor Daya adalah reaktor nuklir yang memanfaatkan energi panas hasil pembelahan nuklir untuk pembangkitan daya.
2. Teras Reaktor Daya yang selanjutnya disebut Teras adalah bagian dari Reaktor Daya tempat terjadinya reaksi nuklir berantai yang terkendali.
3. Komponen Teras adalah bagian dari teras reaktor, selain dari perangkat bahan bakar nuklir, yang digunakan untuk menunjang struktur dari bangunan teras, atau peralatan, alat atau komponen lain yang dimasukkan ke dalam teras reaktor untuk pemantauan teras, pengendalian aliran atau tujuan teknis lainnya.

4. Operasi Normal adalah proses operasi instalasi nuklir dalam kondisi batas untuk operasi yang dinyatakan pada batasan dan kondisi operasi.
5. 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.
6. Kecelakaan Dasar Desain adalah kecelakaan yang telah diantisipasi dalam desain instalasi nuklir.
7. Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain adalah kecelakaan yang lebih parah dari Kecelakaan Dasar Desain dan mengakibatkan lepasan radioaktif ke lingkungan.
8. Kejadian Awal Terpostulasi adalah proses yang teridentifikasi pada desain yang menimbulkan Kejadian Operasi Terantisipasi atau kondisi kecelakaan dan ancaman terhadap fungsi keselamatan.
9. Kondisi Operasi adalah keadaan yang mencakup kondisi Operasi Normal dan Kejadian Operasi Terantisipasi.
10. Kondisi Kecelakaan adalah penyimpangan dari kondisi Operasi Normal yang melebihi Kejadian Operasi Terantisipasi, yang mencakup Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain.
11. Teras Campuran adalah teras yang diisi dengan dua atau lebih bahan bakar dengan desain neutronik, termohidrolik, mekanik dan termomekanik yang berbeda.
12. Pemegang Izin Ketenaganukliran yang selanjutnya disebut Pemegang Izin adalah badan usaha berbadan hukum yang memiliki perizinan berusaha sektor ketenaganukliran atau badan hukum publik yang memiliki izin dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
13. Badan adalah Badan Pengawas Tenaga Nuklir.

Pasal 2

- (1) Peraturan Badan ini diberlakukan untuk Reaktor Daya berpendingin air.
- (2) Pemegang Izin harus menjamin Teras yang didesain dengan memenuhi keselamatan desain Reaktor Daya dan tujuan keselamatan teknis sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

BAB II DESAIN TERAS

Bagian Kesatu Umum

Pasal 3

Dalam mendesain Teras, Pemegang Izin harus memenuhi desain:

- a. bahan bakar;
- b. pendingin;
- c. moderator;
- d. neutronik;
- e. termohidrolik;
- f. termomekanik batang bahan bakar dan perangkat bahan bakar;
- g. mekanik struktur dan Komponen Teras;
- h. sistem kendali reaktivitas;
- i. sistem pemadaman Reaktor Daya;
- j. sistem pemantauan Teras; dan
- k. manajemen Teras.

Pasal 4

- (1) Dalam mendesain Teras sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3, Pemegang Izin harus memastikan:
 - a. elemen dan perangkat bahan bakar dapat menjaga integritas struktur dan tahan terhadap tingkat radiasi dalam kombinasi dengan semua proses kerusakan yang dapat terjadi pada Kondisi Operasi;

- b. geometri dari elemen dan perangkat bahan bakar serta struktur pendukungnya menjamin pendinginan dan penyisipan batang kendali tidak terhambat pada segala Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan;
 - c. distribusi fluks yang stabil secara inheren;
 - d. kemampuan pemadaman pada Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan, termasuk kondisi yang paling reaktif dari Teras;
 - e. pengaruh kinerja bahan bakar dalam strategi manajemen Teras; dan
 - f. kombinasi Teras dengan desain sistem pendingin, kendali reaktor, dan sistem proteksi reaktor mampu memenuhi fungsi keselamatan pada semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.
- (2) Pemegang Izin harus memastikan Teras, sistem kendali reaktor, dan sistem proteksi reaktor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf f memiliki margin yang memadai.
- (3) Margin yang memadai sebagaimana dimaksud pada ayat (2) harus memastikan batas desain bahan bakar tidak terlampaui pada semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.

Bagian Kedua

Desain Bahan Bakar

Pasal 5

- (1) Pemegang Izin dalam mendesain bahan bakar sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a harus mengoptimalkan sifat:
- a. reaktivitas dengan neutron termal;
 - b. pengotor dengan sifat serapan neutron termal rendah;
 - c. kinerja perpindahan panas (*thermal performance*);
 - d. stabilitas dimensi;
 - e. penahanan gas fisi; dan

- f. tahan terhadap interaksi pelet dan kelongsong.
- (2) Pemegang Izin dalam memilih bahan kelongsong bahan bakar harus memenuhi sifat:
 - a. tampang lintang serap terhadap neutron termal yang rendah;
 - b. ketahanan terhadap kondisi iradiasi yang tinggi;
 - c. konduktivitas termal dan titik lebur yang tinggi;
 - d. ketahanan korosi yang tinggi dan penyerapan (*pick-up*) hidrogen yang rendah;
 - e. oksidasi dan hidrida rendah dalam kondisi temperatur tinggi;
 - f. ketahanan yang memadai terhadap oksidasi pada kondisi temperatur tinggi gayut waktu;
 - g. mekanik yang memadai;
 - h. tidak rentan terhadap korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*); dan
 - i. ketahanan terhadap retak akibat hidrogen dan hidrida pada Operasi Normal dan pada saat penyimpanan bahan bakar.

Bagian Ketiga Desain Pendingin

Pasal 6

Pemegang Izin harus memastikan desain pendingin sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf b memenuhi:

- a. kestabilan pendingin dengan elemen dan perangkat bahan bakar;
- b. kestabilan pendingin dengan Komponen Teras;
- c. stabilitas pendingin secara fisika dan kimia pada Kondisi Operasi;
- d. pencegahan dan pengendalian ketidakstabilan aliran dan fluktuasi reaktivitas atau daya;
- e. bebas pengotor pada *start-up* awal reaktor dan kondisi pemeliharaan padam (*outages*) pemuatan bahan bakar dan perawatan selama masa operasi reaktor;

- f. aktivitas radionuklida di pendingin serendah mungkin dengan menggunakan sistem purifikasi, meminimalkan produk korosi, dan/atau memindahkan bahan bakar yang rusak;
- g. pemantauan dan pengendalian efek yang dimiliki pendingin dan aditif pendingin terhadap reaktivitas di semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan;
- h. penentuan dan pengendalian sifat fisika dan kimia pendingin;
- i. komposisi kimia pendingin sesuai dengan bahan yang ada pada kalang utama; dan
- j. efek perubahan densitas dan/atau fasa pendingin terhadap reaktivitas dan daya Teras, baik secara lokal maupun menyeluruh.

Bagian Keempat

Desain Moderator

Pasal 7

- (1) Untuk jenis reaktor air ringan, Pemegang Izin harus memastikan desain moderator sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf c dengan memastikan pengaturan moderator dan jarak antar elemen dan antar perangkat bahan bakar yang memenuhi persyaratan teknis dan keselamatan terkait umpan balik reaktivitas akibat:
 - a. perubahan temperatur moderator;
 - b. densitas moderator atau fraksi *void*;
 - c. optimalisasi ekonomi neutron; dan
 - d. konsumsi bahan bakar.
- (2) Selain memenuhi ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (1), untuk jenis reaktor air berat bertekanan Pemegang Izin juga harus memastikan:
 - a. efektivitas sistem pemadaman reaktor pada Kondisi Operasi yang melibatkan penyerap neutron terlarut, termasuk upaya untuk mencegah kehilangan bahan penyerap secara tidak disengaja dan pelepasannya dapat dikendalikan dan berlangsung secara lambat;

- b. kemampuan untuk menghilangkan panas peluruhan tanpa kehilangan geometri teras pada Kondisi Kecelakaan; dan
 - c. upaya pencegahan ledakan hidrogen yang dihasilkan oleh radiolisis di dalam moderator.
- (3) Selain memenuhi ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (1), untuk jenis reaktor yang menggunakan grafit sebagai bahan moderator, Pemegang Izin harus memastikan:
- a. efektivitas sistem pemadaman reaktor pada kecelakaan;
 - b. kemampuan untuk menghilangkan panas peluruhan pada Kondisi Kecelakaan; dan
 - c. upaya pencegahan masuknya air dan udara.

Bagian Kelima Desain Neutronik

Pasal 8

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain neutronik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf d untuk pengendalian daya melalui kombinasi:
- a. karakteristik neutronik yang inheren dari Teras;
 - b. karakteristik termohidrolik; dan
 - c. kemampuan sistem kendali dan sistem pemadaman tetap berfungsi di semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.
- (2) Selain ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (1), Pemegang Izin harus dapat mendeteksi dan mengendalikan perubahan daya yang dapat mengakibatkan kondisi yang melebihi batas desain bahan bakar untuk Operasi Normal dan Kejadian Operasi Terantisipasi dengan andal dan mudah.

Pasal 9

- (1) Pemegang Izin harus menentukan nilai parameter keselamatan yang memengaruhi desain neutronik dan

strategi manajemen bahan bakar berdasarkan analisis keselamatan.

- (2) Ketentuan parameter keselamatan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus tetap dipastikan pada saat pemuatan dan siklus pemuatan bahan bakar.
- (3) Parameter keselamatan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:
 - a. koefisien reaktivitas temperatur untuk bahan bakar dan moderator;
 - b. koefisien reaktivitas boron dan konsentrasi boron;
 - c. margin padam;
 - d. laju penyisipan reaktivitas maksimum;
 - e. reaktivitas batang kendali dan reaktivitas batang kendali *bank*;
 - f. faktor puncak daya radial dan aksial, termasuk osilasi daya yang disebabkan xenon;
 - g. laju pembangkitan panas linier maksimum; dan
 - h. koefisien reaktivitas *void*.
- (4) Parameter keselamatan sebagaimana dimaksud pada ayat (3) harus dievaluasi untuk:
 - a. moda operasi; dan
 - b. strategi manajemen bahan bakar.
- (5) Moda operasi sebagaimana dimaksud pada ayat (4) huruf a meliputi:
 - a. *start-up*;
 - b. operasi daya;
 - c. padam panas;
 - d. padam dingin;
 - e. pemuatan bahan bakar; dan
 - f. *hot standby*.

Pasal 10

- (1) Untuk menentukan geometri dan komposisi bahan bakar dalam Teras pada Kondisi Operasi dan kondisi padam, Pemegang Izin harus memperhatikan:
 - a. distribusi fluks neutron dan daya;
 - b. karakteristik neutronik; dan

- c. efisiensi sistem kendali reaktivitas.
- (2) Efisiensi sistem kendali reaktivitas sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c harus dievaluasi untuk mengantisipasi Kondisi Kecelakaan dan pada saat Kondisi Kecelakaan.

Pasal 11

- (1) Pemegang Izin harus menentukan batasan nilai reaktivitas maksimum dari perangkat kendali reaktivitas.
- (2) Pembatasan nilai reaktivitas maksimum sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan dengan penyediaan sistem *interlock* untuk memastikan variasi daya yang dihasilkan tidak melebihi batas yang ditentukan untuk transien dan kecelakaan penyisipan reaktivitas yang relevan.
- (3) Transien dan kecelakaan penyisipan reaktivitas yang relevan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi:
- a. terpentalnya batang kendali;
 - b. jatuhnya batang kendali;
 - c. pengenceran boron; dan
 - d. penarikan batang kendali *bank* yang tidak terkendali.
- (4) Batas nilai reaktivitas maksimum sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus ditentukan melalui analisis keselamatan untuk memastikan bahwa batas desain bahan bakar tidak terlampaui.
- (5) Analisis keselamatan sebagaimana dimaksud pada ayat (4) harus dilakukan untuk semua jenis bahan bakar dalam teras dengan margin yang sesuai untuk semua Kondisi Operasi dan nilai fraksi bakar bahan bakar yang diizinkan.

Pasal 12

- (1) Pemegang Izin harus memastikan daya Teras dapat dikendalikan secara menyeluruh dan lokal dengan upaya kendali reaktivitas.

- (2) Upaya kendali reaktivitas sebagaimana dimaksud pada ayat (1) ditujukan untuk memastikan laju pembangkitan panas linear puncak setiap batang bahan bakar tidak melebihi batas yang ditentukan.

Pasal 13

Pemegang Izin harus memastikan variasi distribusi daya atau efek lokal lain dipertimbangkan dalam desain sistem kendali, termasuk variasi pengukuran antar detektor fluks.

Pasal 14

- (1) Pemegang Izin harus memastikan spesifikasi dan pemantauan batas penyisipan batang kendali memberikan margin padam yang memadai di Kondisi Operasi.
- (2) Untuk memastikan margin padam yang memadai sebagaimana dimaksud pada ayat (1), efek deplesi racun dapat bakar pada reaktivitas Teras harus dievaluasi pada semua kondisi Teras selama siklus operasi.

Bagian Keenam

Desain Termohidrolik

Pasal 15

Pemegang Izin harus memastikan desain termohidrolik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf e dengan memastikan:

- a. batas desain termohidrolik yang ditentukan tidak terlampaui dalam Kondisi Operasi;
- b. laju kegagalan bahan bakar dalam Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain tanpa degradasi bahan bakar yang signifikan dan masih dalam kriteria penerimaan; dan
- c. nilai laju alir pendingin minimum dan maksimum sesuai dengan batas desain termohidrolik dan batas desain mekanik.

Pasal 16

Untuk memastikan kemampuan pendinginan untuk menjaga integritas bahan bakar, Pemegang Izin harus menentukan batas desain termohidrolik spesifik dengan margin yang memadai untuk parameter berikut:

- a. laju pembangkitan panas linier maksimum;
- b. rasio daya kritis minimum untuk jenis reaktor air didih;
- c. *departure from nucleate boiling ratio* minimum untuk jenis reaktor air bertekanan atau rasio daya *dryout* untuk jenis reaktor air berat bertekanan;
- d. entalpi atau temperatur bahan bakar maksimum; dan/atau
- e. temperatur maksimum untuk kelongsong.

Pasal 17

- (1) Pemegang Izin harus melaksanakan analisis termohidrolik dengan metode yang digunakan dalam penilaian margin termal.
- (2) Metode yang digunakan dalam penilaian margin termal sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus memperhitungkan nilai ketidakpastian:
 - a. parameter proses; dan
 - b. parameter desain Teras.
- (3) Parameter proses sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf a, meliputi:
 - a. daya reaktor;
 - b. laju aliran pendingin;
 - c. aliran pintas Teras;
 - d. temperatur dan tekanan pendingin masuk Teras; dan
 - e. faktor puncak daya.
- (4) Analisis termohidrolik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus mencakup analisis fitur desain bahan bakar meliputi:
 - a. jarak antar bahan bakar;
 - b. daya pada bahan bakar;
 - c. ukuran dan bentuk subkanal;

- d. *spacer* dan kisi-kisi *grid*; dan
 - e. deflektor aliran atau *turbulence promoter*.
- (5) Analisis termohidrolik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus mencakup analisis fitur desain kelongsong untuk penetapan batas fluks panas kritis.
- (6) Analisis termohidrolik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus memastikan:
- a. temperatur pendingin pada saat masuk dan keluar Teras; dan
 - b. distribusi aliran pendingin,
- digunakan sebagai kondisi awal perhitungan.

Pasal 18

- (1) Pemegang Izin harus memastikan rasio minimum daya operasi terhadap daya kritis dipertimbangkan dengan korelasi fluks panas kritis pada kondisi tunak.
- (2) Rasio minimum sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:
- a. rasio fluks panas kritis minimum;
 - b. *departure from nucleate boiling ratio* minimum;
 - c. rasio daya kanal kritis minimum; dan/atau
 - d. rasio daya kritis minimum.
- (3) Pemegang Izin harus menambahkan margin pada rasio minimum untuk memperhitungkan faktor tambahan yang tidak dipertimbangkan dalam korelasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1).
- (4) Faktor tambahan sebagaimana dimaksud pada ayat (3) meliputi:
- a. respons termohidrolik terhadap Kejadian Operasi Terantisipasi;
 - b. dampak dari pemilihan pola pemuatan bahan bakar; dan
 - c. dampak yang dihasilkan dari potensi keberadaan kerak yang ada pada Teras.

Pasal 19

- (1) Pemegang Izin harus memastikan nilai batas rasio minimum diperoleh dengan melakukan pengujian.
- (2) Pengujian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dilakukan pada desain bahan bakar dengan rentang Kondisi Operasi yang diharapkan dan berbagai macam profil fluks panas aksial.
- (3) Pemegang Izin dapat menggunakan nilai batas rasio minimum sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dari hasil pengujian lain untuk tipe reaktor yang sejenis.

Bagian Ketujuh

Desain Termomekanik Batang Bahan Bakar dan Perangkat Bahan Bakar

Pasal 20

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain termomekanik batang bahan bakar dan perangkat bahan bakar sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf f dengan memenuhi:
 - a. integritas struktur bahan bakar dipertahankan untuk Kondisi Operasi;
 - b. tidak ada kerusakan bahan bakar atau hanya sejumlah kecil bahan bakar yang mengalami kegagalan yang dapat terjadi pada kondisi Kecelakaan Dasar Desain dan kondisi Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain tanpa kerusakan bahan bakar yang signifikan;
 - c. geometri Teras dapat didinginkan pada kondisi Kecelakaan Dasar Desain dan kondisi Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain tanpa kerusakan bahan bakar signifikan;
 - d. batas dosis pekerja tidak terlampaui pada Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan;
 - e. pencegahan penyebaran fragmen bahan bakar ke dalam pendingin akibat penggelembungan dan pecahnya kelongsong pada Kondisi Kecelakaan; dan

- f. persyaratan kondisi iradiasi dan kondisi lingkungan pada desain bahan bakar, dengan atau tanpa racun dapat bakar.
- (2) Kondisi iradiasi dan kondisi lingkungan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf f meliputi:
- a. temperatur;
 - b. tekanan;
 - c. kimia pendingin;
 - d. efek iradiasi pada bahan bakar dan kelongsong;
 - e. beban mekanik statis dan dinamik;
 - f. getaran akibat induksi aliran; dan
 - g. perubahan karakteristik kimia bahan penyusun struktur bahan bakar.

Pasal 21

Dalam Kondisi Operasi, Pemegang Izin harus memastikan:

- a. bahan bakar mampu bertahan selama penanganan bahan bakar; dan
- b. integritas bahan bakar dapat terjaga sepanjang umur operasi, termasuk pada saat pembuatan, pengangkutan, penanganan, operasi di dalam Teras, penyimpanan sementara dan pembuangan pada instalasi penyimpanan lestari.

Pasal 22

Pemegang Izin harus memastikan desain termomekanik batang bahan bakar dan perangkat bahan bakar dengan memastikan faktor yang memengaruhi keandalan bahan bakar melalui:

- a. pemeriksaan pada saat fabrikasi bahan bakar;
- b. pembersihan serpihan sebelum masuk Teras;
- c. pengendalian perubahan daya dalam reaktor untuk mempertahankan integritas bahan bakar;
- d. pengendalian kerak dan korosi;
- e. pencegahan gesekan kisi-kisi dengan kelongsong bahan bakar yang menyebabkan goresan (*grid-to-rod fretting*); dan

- f. perawatan bahan bakar.

Pasal 23

Pemegang Izin harus memastikan temperatur puncak bahan bakar lebih rendah dari temperatur leleh bahan bakar dengan margin yang memadai.

Pasal 24

Pemegang Izin harus menentukan batas tekanan kelongsong, regangan kelongsong, korosi kelongsong, dan hidrida untuk semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan, dan semua siklus pemuatan bahan bakar.

Pasal 25

Pemegang Izin harus mengevaluasi deformasi kelongsong untuk menentukan potensi kegagalan kelongsong dan lepasnya produk fisi dari bahan bakar pada Kondisi Kecelakaan.

Pasal 26

Untuk jenis reaktor air ringan, Pemegang Izin harus memastikan perubahan dimensi dari struktur bahan bakar tidak memengaruhi integritas struktur atau kinerja termohidrolik dari bahan bakar atau fungsi keselamatan batang kendali.

Pasal 27

- (1) Pemegang Izin harus melakukan analisis terhadap dampak iradiasi untuk:
- a. elastisitas pegas *grid* untuk membatasi potensi gesekan kisi-kisi dengan kelongsong bahan bakar yang menyebabkan goresan pada jenis reaktor air ringan;
 - b. stabilitas dimensi; dan
 - c. ketahanan tekuk (*buckling*) dari *spacer grid*.

- (2) Analisis stabilitas dimensi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b harus memperhitungkan sifat mekanik komponen bahan bakar dan perangkat kendali.
- (3) Ketahanan tekuk (*buckling*) dari *spacer grid* sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c terhadap kejadian seismik atau kecelakaan kehilangan pendingin.

Pasal 28

Untuk jenis reaktor air berat bertekanan, Pemegang Izin harus memastikan panjang kanal bahan bakar mencukupi untuk mengantisipasi efek iradiasi dan efek termal pada bahan bakar untuk semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.

Pasal 29

- (1) Pemegang Izin harus memastikan beban termomekanik mampu ditahan oleh bahan bakar pada Kondisi Operasi selama transien daya yang dapat terjadi akibat:
 - a. pengaturan letak (*shuffling*) bahan bakar;
 - b. pergerakan perangkat kendali;
 - c. operasi mengikuti beban (*load following*);
 - d. operasi yang fleksibel; dan/atau
 - e. penyebab lain dari perubahan reaktivitas.

Pasal 30

- (1) Pemegang Izin harus melakukan analisis beban mekanik untuk memastikan regangan kelongsong bahan bakar memenuhi desain bahan bakar.
- (2) Analisis sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus memastikan kinetika penutupan celah radial (*radial gap closure kinetics*), yang bergantung pada berbagai parameter.
- (3) Parameter sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi:
 - a. penambahan densitas (*densification*) bahan bakar;
 - b. penggelembungan bahan bakar;
 - c. keretakan pelet bahan bakar;

- d. fragmentasi dan relokasi radialnya di dalam bahan bakar setelah perubahan daya;
- e. perilaku mulur pada kelongsong pada tegangan rendah;
- f. tekanan internal awal bahan bakar;
- g. pelepasan gas fisi; dan
- h. parameter operasi termasuk variasi perubahan daya dan tekanan pendingin.

Pasal 31

Pemegang Izin harus memastikan desain termomekanik batang bahan bakar dan perangkat bahan bakar dengan memperhatikan terjadinya:

- a. korosi retak tegang yang disebabkan oleh interaksi pelet dan kelongsong karena adanya produk fisi yang korosif; dan
- b. konsentrasi tegangan dalam kelongsong yang disebabkan oleh:
 - 1. hancurnya pelet;
 - 2. perubahan celah aksial antar pelet bahan bakar;
 - 3. permukaan pelet yang rusak; dan/atau
 - 4. serpihan pelet bahan bakar yang terperangkap dalam celah.

Pasal 32

Pemegang Izin harus melakukan analisis efek racun dapat bakar terhadap:

- a. sifat termal, mekanik, kimia dan mikrostruktur pelet; dan
- b. perilaku bahan bakar.

Pasal 33

- (1) Pemegang Izin harus menentukan korelasi pengikatan (*pick-up*) hidrogen sebagai fungsi korosi kelongsong dalam Operasi Normal.
- (2) Korelasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus diberikan dalam batas desain bahan bakar yang

dinyatakan sebagai parameter dari kandungan hidrogen pra-transien dari kelongsong.

Pasal 34

Pemegang Izin harus memastikan desain bahan bakar kompatibel dengan lingkungan pendingin Teras pada Kondisi Operasi, termasuk kondisi padam dan pemuatan bahan bakar.

Pasal 35

Untuk jenis reaktor air berat bertekanan, Pemegang Izin harus menentukan batas kandungan awal hidrogen dalam bahan bakar untuk mengurangi kemungkinan kerusakan bahan bakar akibat penggetasan kelongsong yang disebabkan hidrogen.

Pasal 36

- (1) Pemegang Izin harus melakukan analisis desain yang memperhitungkan penurunan perpindahan panas dari bahan bakar akibat pembentukan endapan pada permukaan kelongsong.
- (2) Pembentukan endapan pada permukaan kelongsong sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat dihasilkan dari produk korosi yang berasal dari sistem pendingin reaktor atau perubahan kimia lainnya.

Pasal 37

Untuk jenis reaktor air ringan, Pemegang Izin harus menganalisis potensi kinerja neutronik Teras jika boron terperangkap dalam lapisan kerak.

Pasal 38

- (1) Pemegang Izin dalam mendesain termomekanik batang bahan bakar dan perangkat bahan bakar harus memastikan efek hidrolik terhadap aspek:
 - a. korosi lokal;
 - b. erosi;

- c. getaran akibat induksi aliran;
 - d. gesekan kisi-kisi dengan kelongsong bahan bakar;
 - e. terangkatnya bahan bakar (*fuel assembly lift-off*); dan
 - f. distorsi bahan bakar.
- (2) Efek hidrolik sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dikarakterisasi dengan cara uji ketahanan bahan bakar yang dilakukan dalam kalang uji.
- (3) Uji ketahanan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) harus menggunakan bahan bakar tiruan (*mock up*) skala penuh dengan kondisi uji serupa.
- (4) Kondisi uji serupa sebagaimana dimaksud pada ayat (3) paling sedikit mencakup:
- a. tekanan;
 - b. temperatur;
 - c. aliran silang; dan
 - d. elastisitas pegas *grid*.

Pasal 39

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain bahan bakar tahan terhadap tegangan mekanik yang diakibatkan:
- a. penanganan dan pemuatan bahan bakar;
 - b. variasi daya;
 - c. beban tahan (*hold-down loads*) pada jenis reaktor air bertekanan;
 - d. gradien temperatur;
 - e. gaya hidrolik;
 - f. efek iradiasi;
 - g. getaran dan gesekan pada bahan bakar yang disebabkan oleh aliran pendingin;
 - h. deformasi mulur pada struktur bahan bakar yang dapat menyebabkan distorsi bahan bakar;
 - i. beban seismik dengan keberulangan 10.000 (sepuluh ribu) tahun yang dikombinasikan dengan pembebanan karena kecelakaan kehilangan pendingin; dan

- j. Kejadian Operasi Terantisipasi, Kecelakaan Dasar Desain, dan Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain tanpa degradasi bahan bakar signifikan.
- (2) Beban tahan (*hold-down loads*) sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c harus memberikan keseimbangan:
 - a. gaya angkat hidrodinamik; dan
 - b. perubahan geometri:
 - 1. kavitas Teras (*core cavity*); dan
 - 2. bahan bakar, terhadap efek iradiasi.
- (3) Gaya hidrolis sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf e berasal dari:
 - a. aliran-silang antara bahan bakar yang terdistorsi; atau
 - b. konfigurasi Teras Campuran.
- (4) Efek iradiasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf f meliputi iradiasi yang mengakibatkan:
 - a. pertumbuhan; dan
 - b. penggelembungan.
- (5) Getaran dan gesekan pada bahan bakar sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf g yang terjadi pada:
 - a. kisi-kisi dengan kelongsong bahan bakar untuk jenis reaktor air ringan; atau
 - b. pengatur jarak (*spacer*) untuk jenis reaktor air berat bertekanan.

Pasal 40

Pemegang Izin harus memastikan aspek keselamatan terhadap desain mekanik bahan bakar pada semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan dengan memperhatikan:

- a. jarak bebas antar bahan bakar;
- b. pembatasan pembengkokan bahan bakar;
- c. kelelahan yang dapat menyebabkan kegagalan komponen bahan bakar;
- d. distorsi bahan bakar sebagai akibat dari gaya penahan hidrolis dan mekanik, serta aliran-silang Teras;

- e. getaran dan gesekan yang dapat memengaruhi kinerja keseluruhan bahan bakar dan struktur pendukungnya; dan
- f. beban hidrolis dan mekanis, termasuk yang diakibatkan beban seismik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 39 ayat (1) huruf i yang dapat menyebabkan kegagalan komponen bahan bakar.

Pasal 41

- (1) Pada Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain tanpa degradasi bahan bakar signifikan, Pemegang Izin harus memastikan desain Teras dapat mencegah interaksi antara bahan bakar dengan struktur pendukung bahan bakar yang dapat memengaruhi kinerja fungsi keselamatan.
- (2) Kinerja fungsi keselamatan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:
 - a. berfungsinya komponen sistem keselamatan dengan benar; dan
 - b. pendinginan Teras yang optimal.

Pasal 42

Pemegang Izin harus mendesain Teras untuk mencegah kegagalan kelongsong bahan bakar yang terjadi karena interaksi mekanis pelet dan kelongsong saat Kondisi Operasi.

Pasal 43

- (1) Untuk Kecelakaan Dasar Desain yang menyebabkan transien daya cepat, Pemegang Izin harus melakukan analisis keselamatan terhadap kegagalan kelongsong bahan bakar.
- (2) Kegagalan kelongsong bahan bakar sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disebabkan oleh interaksi mekanis pelet dan kelongsong yang berlebihan dikombinasikan dengan penggetasan kelongsong karena hidridasi pada tingkat fraksi bakar tinggi.

Pasal 44

- (1) Pemegang Izin harus memastikan korosi retak tegang pada kelongsong bahan bakar dapat diminimalkan pada Kondisi Operasi.
- (2) Korosi retak tegang pada kelongsong bahan bakar sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dicegah dengan mengurangi:
 - a. tegangan tarik dalam kelongsong bahan bakar;
 - b. efek korosif dari produk fisi;
 - c. keberadaan produk fisi korosif pada antarmuka pelet dan kelongsong; dan
 - d. faktor puncak daya lokal.
- (3) Tegangan tarik dalam kelongsong bahan bakar sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf a dikurangi dengan membatasi laju perubahan daya atau memperlambat penyempitan celah pelet dan kelongsong.
- (4) Efek korosif dari produk fisi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b dikurangi dengan menggunakan material yang tahan terhadap efek korosif pada permukaan bagian dalam kelongsong.

Pasal 45

- (1) Pemegang Izin harus menentukan ambang batas kegagalan *power-ramp* berdasarkan hasil uji yang dilakukan pada fasilitas uji.
- (2) Ambang batas kegagalan *power-ramp* sebagaimana dimaksud pada ayat (1) ditentukan melalui pengujian untuk setiap jenis bahan bakar atau kelongsong dan untuk seluruh rentang fraksi bakar.
- (3) Hasil uji sebagaimana dimaksud pada ayat (1) digunakan sebagai input perhitungan kode komputer, berupa parameter yang mencakup:
 - a. tegangan kelongsong maksimum; dan
 - b. densitas energi regangan.

Pasal 46

Pemegang Izin harus menentukan batas desain bahan bakar berdasarkan semua fenomena fisika, kimia, dan mekanik yang memengaruhi kinerja bahan bakar untuk semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.

Pasal 47

Pemegang Izin dalam mendesain termomekanik batang bahan bakar dan perangkat bahan bakar harus memastikan desain bahan bakar pada Kondisi Operasi di seluruh siklus pemuatan bahan bakar berdasarkan batasan berikut:

- a. tidak terjadi pelelehan bahan bakar;
- b. tidak ada panas berlebih yang terjadi pada kelongsong;
- c. tidak ada kerusakan kelongsong bahan bakar;
- d. tidak terjadi deformasi kelongsong akibat peningkatan tekanan internal batang bahan bakar;
- e. korosi kelongsong bahan bakar dan hidrida tidak melebihi batas yang ditentukan;
- f. tegangan dan regangan kelongsong tetap di bawah batas yang ditentukan; dan
- g. pengurangan ketebalan dinding kelongsong tidak melebihi batas yang ditentukan.

Pasal 48

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain komponen bahan bakar mampu mempertahankan deformasi dan pertambahan dimensi yang rendah.
- (2) Deformasi dan pertambahan dimensi yang rendah sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dicapai untuk memastikan:
 - a. tidak adanya interaksi geometris antara bahan bakar dan *nozzle* atas dan bawah bahan bakar;
 - b. tidak adanya interaksi geometris antara *string* bundel bahan bakar dan sumbat pelindung (*shield plugs*);
 - c. tidak adanya puncak daya lokal abnormal yang terjadi pada bahan bakar;

- d. tidak terjadinya penurunan kinerja fluks panas kritis pada bahan bakar;
- e. tidak terhalangnya *scram* reaktor atau gerakan batang kendali lainnya; dan
- f. tidak terhambatnya penanganan bahan bakar.

Pasal 49

Pemegang Izin harus memastikan desain bahan bakar, bagian internal bejana reaktor lainnya, dan sistem pendingin reaktor mampu meminimalkan risiko gangguan aliran pendingin akibat serpihan atau bagian yang lepas untuk mencegah kerusakan bahan bakar pada Kondisi Operasi.

Pasal 50

- (1) Untuk Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain tanpa degradasi bahan bakar yang signifikan, Pemegang Izin harus memastikan:
 - a. jumlah total kegagalan elemen bahan bakar tidak boleh melebihi jumlah kegagalan elemen bahan bakar yang telah ditentukan;
 - b. nilai batas yang digunakan dalam menilai risiko hilangnya integritas kelongsong yang telah ditentukan; dan
 - c. entalpi radial rata-rata di beberapa lokasi aksial tidak melebihi nilai yang telah ditentukan.
- (2) Jumlah kegagalan elemen bahan bakar dalam desain sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a ditentukan melalui evaluasi mekanisme kegagalan.
- (3) Batas sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b dapat ditentukan berdasarkan studi eksperimental dengan memastikan efek iradiasi pada kelongsong dan sifat bahan bakar.
- (4) Entalpi radial rata-rata di beberapa lokasi aksial sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c dihitung dengan kode komputer tervalidasi.
- (5) Kemampuan pendinginan Teras harus dijamin tidak terhalangi jika terjadi:

- a. penggelembungan yang berlebihan atau pecahnya bahan bakar;
 - b. deformasi komponen bahan bakar atau internal reaktor; dan
 - c. terganggunya aliran atau konsekuensi lain dari interaksi serpihan bahan bakar dengan pendingin akibat dari kegagalan kelongsong bahan bakar.
- (6) Pemegang Izin harus memastikan bahan bakar mampu untuk mencegah konsekuensi yang tidak diinginkan dari kecelakaan reaktivitas yang dapat menyebabkan kerusakan pada batas tekan pendingin reaktor atau kerusakan yang mengganggu kemampuan untuk mendinginkan Teras.
- (7) Pemegang Izin harus mempertahankan integritas struktural bahan bakar dengan membatasi dan menjustifikasi:
- a. temperatur puncak kelongsong tidak boleh melebihi tingkat oksidasi yang menyebabkan kegetasan kelongsong berlebih atau meningkat secara tidak terkendali;
 - b. total oksidasi kelongsong harus tetap di bawah batas, sehingga kelongsong masih tahan terhadap beban akibat kecelakaan;
 - c. peningkatan entalpi yang diperbolehkan untuk kecelakaan reaktivitas harus dibatasi dengan memperhitungkan kondisi awal bahan bakar;
 - d. fraksi volume bahan bakar yang mengalami pelelehan pada pusat bahan bakar harus dibatasi; dan
 - e. beban bahan bakar pasca-transien selama penanganan, penyimpanan, dan pemindahan ke fasilitas penyimpanan bahan bakar nuklir bekas.
- (8) Untuk jenis reaktor air ringan, Pemegang Izin harus memastikan jumlah hidrogen yang dihasilkan oleh reaksi kimia antara pendingin dan kelongsong selama kecelakaan kehilangan pendingin tidak melebihi dari fraksi jumlah hidrogen yang akan dihasilkan.

- (9) Apabila kegagalan kelongsong bahan bakar selama kecelakaan reaktivitas tidak dapat dicegah, Pemegang Izin harus memastikan dispersi partikel bahan bakar yang meleleh tidak memengaruhi kemampuan untuk mendinginkan Teras.
- (10) Untuk menghindari gangguan pergerakan batang kendali dalam reaktor, Pemegang Izin harus memastikan pembatasan deformasi struktur bahan bakar, batang kendali dan internal reaktor.

Bagian Kedelapan

Desain Mekanik Struktur dan Komponen Teras

Pasal 51

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain mekanik struktur dan Komponen Teras sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf g mampu mempertahankan integritas struktur untuk semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan dari berbagai mekanisme kerusakan.
- (2) Mekanisme kerusakan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disebabkan oleh:
 - a. getaran dan kelelahan;
 - b. efek serpihan;
 - c. beban termal, hidrolik, dan mekanik; dan
 - d. efek kimia dan iradiasi.
- (3) Untuk mencegah kerusakan pada perangkat kendali reaktivitas dan pemadaman, dan kerusakan batas tekan pendingin reaktor terhadap dimensi fisik, beban mekanik, dan sifat bahan, Pemegang Izin harus memperhatikan efek:
 - a. tekanan tinggi;
 - b. temperatur tinggi;
 - c. variasi dan distribusi temperatur;
 - d. korosi; dan
 - e. laju penyerapan radiasi dan paparan radiasi.
- (4) Pemegang Izin harus memastikan desain perangkat batang kendali tahan terhadap beban penanganan

penanganan selama pemuatan, pemindahan dan penyimpanan bahan bakar.

- (5) Pemegang Izin harus memastikan kinerja mekanik struktur dan Komponen Teras tidak berdampak terhadap fungsi keselamatan selama pengoperasian.
- (6) Pemegang Izin harus mendesain struktur pendukung di Teras dengan memperhatikan:
 - a. margin keselamatan tegangan termal yang memadai pada semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan; dan
 - b. efek tambahan yang disebabkan oleh panas gamma pada pendingin dan respons termal.
- (7) Pemegang Izin harus memperhitungkan efek kimia pendingin dan moderator pada struktur terhadap korosi, hidridasi, tegangan korosi, dan pembentukan kerak.
- (8) Pemegang Izin harus mendesain Komponen Teras serta struktur dan komponen lain penunjang Teras, dengan memperhatikan kemudahan operasi, inspeksi, perawatan, dan pengujian.
- (9) Dalam melakukan perawatan sebagaimana dimaksud pada ayat (8), Pemegang Izin harus memastikan:
 - a. tidak merusak Komponen Teras lainnya;
 - b. tidak terjadi penyisipan reaktivitas; atau
 - c. tidak terjadi paparan berlebih.
- (10) Untuk jenis reaktor air ringan, Pemegang Izin harus mendesain struktur pendukung Teras dan struktur pendukung bahan bakar agar mampu menahan beban statis dan dinamis.
- (11) Pemegang Izin harus memastikan struktur dan tabung pengarah untuk batang kendali dan pemadaman, serta untuk instrumentasi tidak dapat bergerak.
- (12) Pemegang Izin harus memperhatikan getaran akibat induksi aliran pada struktur dan tabung pengarah yang dapat mengakibatkan gesekan, penipisan, dan kegagalan pada operasi jangka panjang.
- (13) Pemegang Izin harus menjamin stabilitas dimensi struktur dan tabung pengarah selama masa operasi.

- (14) Pemegang Izin harus memastikan struktur, sistem, dan komponen Teras memenuhi kode dan standar yang sesuai dengan kelas keselamatan.

Bagian Kesembilan
Desain Sistem Kendali Reaktivitas

Pasal 52

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain sistem kendali reaktivitas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf h mampu menjaga bentuk, tingkat, dan kestabilan fluks neutron dalam batasan dan kondisi operasi.
- (2) Pemegang Izin harus memastikan tersedianya instrumentasi dan detektor untuk memantau parameter Teras.
- (3) Parameter Teras sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi:
 - a. tingkatan daya;
 - b. distribusi daya;
 - c. variasi daya terhadap waktu;
 - d. kondisi dan sifat fisik pendingin;
 - e. kondisi dan sifat fisik moderator; dan
 - f. laju penyisipan kendali reaktivitas.
- (4) Pemegang Izin harus memastikan pemantauan terhadap parameter Teras sebagaimana dimaksud pada ayat (3) dilakukan pada batasan dan kondisi operasi yang ditentukan.
- (5) Dalam hal terjadi perbedaan antara perhitungan parameter Teras dengan pembacaan peralatan instrumentasi dan detektor, Pemegang Izin harus melakukan tindakan koreksi.

Pasal 53

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain kendali reaktivitas mampu untuk:
 - a. menjaga tingkat dan distribusi daya dalam batasan dan kondisi operasi yang ditentukan; dan

- b. mengkompensasi dampak dari kejadian perubahan reaktivitas untuk menjaga parameter proses dalam batasan dan kondisi operasi yang ditentukan.
- (2) Parameter proses sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b meliputi:
- a. perubahan daya normal;
 - b. perubahan konsentrasi xenon;
 - c. perubahan koefisien temperatur;
 - d. perubahan laju alir pendingin, atau perubahan temperatur dan densitas pendingin atau moderator;
 - e. perubahan fraksi bakar dan racun dapat bakar; dan
 - f. akumulasi penyerapan neutron oleh produk fisi.
- (3) Untuk kondisi pemeliharaan padam (*outage*), Pemegang Izin harus memastikan desain perangkat kendali reaktivitas dalam Teras memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisi subkritis.
- (4) Kondisi subkritis sebagaimana dimaksud pada ayat (3) juga dipertimbangkan pada kondisi Kecelakaan Dasar Desain dan dampaknya.
- (5) Pemegang Izin harus memastikan sistem kendali reaktivitas tidak saling memengaruhi kemampuan pemadaman reaktor secara cepat dan efisien pada setiap Kondisi Operasi.

Pasal 54

- (1) Pemegang Izin harus memastikan perangkat kendali reaktivitas menggunakan sistem *interlock*.
- (2) Sistem *interlock* sebagaimana dimaksud pada ayat (1) digunakan untuk mencegah adanya kondisi abnormal dari perangkat kendali reaktivitas.

Pasal 55

- (1) Pemegang Izin harus memastikan sistem kendali reaktivitas berbasis larutan penyerap neutron didesain memenuhi batasan dan kondisi operasi pada setiap Kondisi Operasi.

- (2) Desain sistem kendali reaktivitas berbasis larutan penyerap neutron sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus memperhatikan:
 - a. penurunan konsentrasi penyerap neutron yang tidak terantisipasi; dan
 - b. proses pengendapan yang dapat terjadi.
- (3) Pemegang Izin harus menyediakan sarana pemantauan konsentrasi larutan penyerap neutron.
- (4) Sarana pemantauan sebagaimana dimaksud pada ayat (3) digunakan dalam upaya kendali reaktivitas.
- (5) Upaya pencegahan penurunan konsentrasi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf a, meliputi:
 - a. tindakan manual;
 - b. isolasi aktif;
 - c. *interlock* sistem injeksi eksternal;
 - d. pemantauan konsentrasi boron pada sistem pemipaan dan terhubung bejana tekan; dan
 - e. *interlock* untuk memicu pompa sirkulasi.
- (6) Pencegahan proses pengendapan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b dilakukan melalui pemanasan komponen.

Pasal 56

- (1) Pemegang Izin harus memastikan efektivitas perangkat kendali reaktivitas dapat diverifikasi dengan pengukuran secara langsung.
- (2) Pemegang Izin harus memastikan desain kendali perangkat reaktivitas dengan memperhatikan:
 - a. potensi terjadinya keausan pada bahan;
 - b. dampak iradiasi;
 - c. perubahan karakteristik fisik; dan
 - d. produksi gas.

Bagian Kesepuluh
Desain Sistem Pemadaman Reaktor Daya

Pasal 57

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain sistem pemadaman Reaktor Daya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf i mampu membuat dan mempertahankan kondisi subkritis pada semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.
- (2) Pemegang Izin harus melakukan upaya untuk memastikan desain sistem pemadaman Reaktor Daya mampu menjaga Kondisi Operasi tetap dalam keadaan selamat.
- (3) Upaya sebagaimana dimaksud pada ayat (2) mencakup:
 - a. penggunaan desain dan pengoperasian yang mudah, serta menggunakan sistem yang otomatis;
 - b. pemilihan peralatan yang teruji;
 - c. penerapan desain gagal selamat;
 - d. penerapan kemandirian;
 - e. penerapan prinsip redundansi dan keragaman;
 - f. penerapan prinsip pemisahan fisik dan isolasi fungsi;
 - g. penerapan kemudahan penyisipan dan injeksi sistem pemadaman di dalam Teras untuk Kondisi Operasi;
 - h. penerapan kemudahan operasi, inspeksi, perawatan, dan pengujian;
 - i. penggunaan peralatan untuk melaksanakan pengujian selama komisioning, pemuatan bahan bakar, atau perawatan menyeluruh;
 - j. penggunaan pengujian mekanisme *actuation* selama operasi; dan/atau
 - k. penerapan desain yang berfungsi pada saat kondisi ekstrem.
- (4) Pemegang Izin harus memastikan desain sistem pemadaman Reaktor Daya dengan memperhatikan:

- a. waktu respons instrumentasi untuk memicu pemadaman;
 - b. waktu respons mekanisme *actuation* dalam melakukan pemadaman;
 - c. lokasi perangkat pemadaman Reaktor Daya;
 - d. kemudahan perangkat pemadaman Reaktor Daya masuk ke dalam Teras; dan
 - e. laju penyisipan perangkat pemadaman Reaktor Daya.
- (5) Laju penyisipan sebagaimana dimaksud pada ayat (4) huruf e harus memperhatikan:
- a. jatuh bebas batang kendali ke Teras;
 - b. penggerak tekanan hidrolik atau pneumatik batang kendali ke Teras; dan
 - c. injeksi yang bertekanan hidrolik dan pneumatik larutan penyerap neutron.
- (6) Pemegang Izin harus menyediakan pengukur laju penyisipan perangkat pemadaman Reaktor Daya.
- (7) Pemegang Izin harus memastikan pengukuran laju penyisipan sebagaimana dimaksud pada ayat (6) dilakukan setelah pemuatan ulang bahan bakar.
- (8) Untuk memastikan laju penyisipan mencukupi, Pemegang Izin melakukan pengukuran laju penyisipan sebagaimana dimaksud pada ayat (6) secara berkala paling sedikit 1 (satu) kali dalam 18 (delapan belas) bulan atau setiap saat jika diperlukan.

Pasal 58

- (1) Pemegang Izin harus melakukan analisis kekritisasi untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kondisi yang paling reaktif selama kondisi padam jangka panjang akibat tindakan yang dapat meningkatkan reaktivitas dalam keadaan padam atau selama operasi pengisian bahan bakar atau operasi rutin atau non-rutin lainnya.
- (2) Pemegang Izin harus menentukan jumlah dan nilai reaktivitas batang pemadam Reaktor Daya dengan memperhatikan:

- a. ukuran Teras;
 - b. jenis bahan bakar dan skema pemuatan Teras;
 - c. margin sub-kritis yang dibutuhkan;
 - d. asumsi terkait dengan kegagalan perangkat pemadaman Reaktor Daya;
 - e. ketidakpastian perhitungan;
 - f. efek bayangan (*shadowing effect*) yang dialami perangkat pemadaman Reaktor Daya; dan
 - g. kondisi Teras reaktif setelah pemadaman.
- (3) Kondisi Teras reaktif setelah pemadaman sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf g harus memperhatikan parameter:
- a. konfigurasi Teras paling reaktif dan konsentrasi boron yang akan terjadi selama siklus pemuatan bahan bakar keseluruhan;
 - b. kombinasi temperatur bahan bakar dan moderator yang paling reaktif;
 - c. jumlah penyisipan reaktivitas positif yang dihasilkan dalam Kecelakaan Dasar Desain;
 - d. jumlah xenon sebagai fungsi waktu setelah pemadaman; dan
 - e. fraksi bakar penyerap neutron.
- (4) Untuk memastikan efektivitas sistem pemadaman Reaktor Daya, Pemegang Izin harus:
- a. melakukan perhitungan pada saat desain; dan
 - b. menyediakan sarana pengukuran fluks neutron:
 - 1. selama komisioning dan sebelum *start-up* selama pemuatan bahan bakar; dan
 - 2. selama operasi untuk mengkonfirmasi perhitungan.
- (5) Analisis efektivitas sistem pemadaman reaktor sebagaimana dimaksud pada ayat (4) harus mencakup kondisi Teras paling reaktif dan asumsi kegagalan sistem pemadaman Reaktor Daya.
- (6) Pemegang Izin harus mempertahankan margin pemadaman jika terjadi kegagalan acak tunggal dalam sistem pemadaman Reaktor Daya.

- (7) Apabila digunakan sistem pemadaman manual atau semi-otomatis, Pemegang Izin harus memenuhi persyaratan keselamatan desain sistem instrumentasi dan kendali.
- (8) Apabila sebagian sistem pemadaman Reaktor Daya juga digunakan untuk kendali reaktivitas dan pembentukan fluks pada Operasi Normal, Pemegang Izin harus memastikan penggunaan tidak membahayakan fungsi sistem pemadaman untuk semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.
- (9) Pemegang Izin harus memastikan sistem pemadaman Teras dapat diuji setiap saat selama masa operasi untuk menjamin keandalan sistem pemadaman.

Pasal 59

- (1) Pemegang Izin harus memastikan penggunaan sistem *trip* parsial yang diaktivasi oleh Kejadian Operasi Terantisipasi untuk proteksi reaktor memenuhi batasan dan kondisi operasi.
- (2) Pemegang Izin harus memastikan distribusi daya operasi masih di dalam rentang distribusi daya desain melalui penentuan batasan dan kondisi operasi untuk tindakan, alarm, dan *trip* reaktor.
- (3) Dalam penentuan batasan dan kondisi operasi sebagaimana dimaksud pada ayat (2), Pemegang Izin harus memperhatikan:
 - a. dampak fraksi bahan bakar;
 - b. efek bayangan (*shadowing effect*) batang kendali;
 - c. distribusi temperatur pendingin; dan
 - d. efek penuaan sistem pendingin reaktor.
- (4) Pemegang Izin harus menentukan batasan dan kondisi operasi untuk mencegah reaktivitas batang kendali atau laju penyisipan reaktivitas terlampaui.

Bagian Kesebelas
Desain Sistem Pemantauan Teras

Pasal 60

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain sistem pemantauan Teras sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf j memberikan:
 - a. dukungan sistem kendali dan proteksi; dan
 - b. informasi yang rinci dan tepat waktu terkait kondisi pembangkitan panas lokal.
- (2) Pemegang Izin harus memastikan desain sistem pemantauan Teras dilengkapi dengan detektor dan peralatan untuk memantau parameter operasi berada dalam rentang operasi yang telah ditentukan.
- (3) Pemegang Izin harus memastikan *actuation* sistem kendali secara otomatis atau manual dengan memperhatikan kecepatan perubahan nilai pada parameter operasi sebagaimana dimaksud pada ayat (2).
- (4) Parameter operasi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) untuk tujuan pemantauan Teras, mencakup:
 - a. distribusi spasial fluks neutron dan faktor puncak daya;
 - b. tekanan pendingin reaktor;
 - c. temperatur pendingin masuk dan keluar Teras;
 - d. kecepatan pompa pendingin reaktor;
 - e. ketinggian air pada bejana reaktor;
 - f. aktivitas radionuklida dalam pendingin;
 - g. posisi penyisipan batang kendali;
 - h. konsentrasi boron;
 - i. laju perubahan fluks neutron;
 - j. periode reaktor;
 - k. ketidakseimbangan fluks neutron aksial dan radial;
 - l. kesetimbangan reaktivitas; dan/atau
 - m. parameter termohidrolik lain.
- (5) Parameter aktivitas radionuklida dalam pendingin sebagaimana dimaksud pada ayat (4) huruf f digunakan untuk mengevaluasi integritas bahan bakar selama

operasi serta untuk memverifikasi batasan dan kondisi operasi tidak terlampaui.

- (6) Parameter termohidrolik lain sebagaimana dimaksud pada ayat (4) huruf m meliputi:
 - a. daya termal;
 - b. laju pembangkitan panas linier;
 - c. laju aliran pendingin reaktor; dan
 - d. *departure from nucleate boiling ratio* atau rasio daya kritis minimum.

Pasal 61

- (1) Pemegang Izin harus mendesain sistem pemantauan Teras dengan memperhatikan kemudahan operasi, inspeksi, perawatan, dan pengujiannya.
- (2) Pemegang Izin harus menjamin instrumentasi memenuhi syarat untuk bertahan pada kondisi lingkungan selama dan setelah kecelakaan.
- (3) Pemegang Izin harus memantau distribusi daya dengan menggunakan instrumentasi di dalam atau di luar Teras.
- (4) Dalam hal pemantauan distribusi daya secara rutin di dalam Teras, Pemegang Izin harus memasang detektor yang terdistribusi dalam jumlah yang cukup untuk memantau perubahan daya lokal.
- (5) Pemegang Izin harus memastikan margin keselamatan yang memadai dalam hal pengukuran daya lokal pada posisi yang berbeda dalam Teras dengan memperhatikan dampak perubahan distribusi daya spasial akibat efek kendali Teras dan fraksi bakar.

Pasal 62

- (1) Pemegang Izin harus melakukan pemantauan Teras dengan sistem berbasis komputer yang sesuai dengan kelas keselamatan untuk memastikan status Teras tetap dalam batasan dan kondisi operasi.
- (2) Pemegang Izin harus memastikan ketersediaan sistem detektor fluks dengan sensitivitas yang memadai serta sumber neutron untuk memantau fluks neutron dan

distribusi pembangkit panas pada saat bahan bakar di dalam bejana reaktor selama pemadaman, pemuatan bahan bakar dan *start-up*.

Pasal 63

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain sistem *interlock* pada sistem pemantauan Teras dan sistem kendali reaktivitas sesuai dengan rentang fluks dan desain sistem proteksi reaktor.
- (2) Sistem *interlock* sebagaimana dimaksud pada ayat (1) digunakan untuk mencegah reaktor *trip* yang tidak diharapkan.
- (3) Pada *start-up* awal, Pemegang Izin harus memastikan ketersediaan detektor neutron yang dapat mengukur fluks neutron rendah.
- (4) Pemegang Izin harus memastikan ketersediaan sumber neutron untuk meningkatkan jumlah fluks neutron ke rentang kemampuan detektor.
- (5) Sumber neutron sebagaimana dimaksud pada ayat (4) harus:
 - a. mempunyai aktivitas yang memadai selama umur instalasi; dan
 - b. sesuai dengan bahan bakar dan struktur pendukung bahan bakar.

Bagian Keduabelas Desain Manajemen Teras

Pasal 64

- (1) Pemegang Izin harus memastikan desain manajemen Teras sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf k untuk menjamin keselamatan, keandalan, dan penggunaan bahan bakar yang optimum dalam reaktor sesuai batasan dan kondisi operasi.
- (2) Pemegang Izin harus menentukan batasan fraksi bakar untuk setiap pemuatan bahan bakar.

Pasal 65

- (1) Pemegang Izin harus menentukan manajemen Teras untuk pengendalian reaktivitas Teras dan distribusi daya sesuai dengan batas desain bahan bakar.
- (2) Manajemen Teras sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan untuk memastikan:
 - a. nilai parameter Teras tetap berada di dalam batas desain manajemen Teras selama pemuatan bahan bakar; dan
 - b. strategi operasi Teras yang memungkinkan fleksibilitas operasi dan pemanfaatan bahan bakar sehingga batas desain manajemen Teras masih terpenuhi.
- (3) Manajemen Teras sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi:
 - a. spesifikasi dan pola pemuatan bahan bakar;
 - b. pengadaan bahan bakar;
 - c. penentuan reaktivitas; dan
 - d. pemantauan Teras.

Pasal 66

- (1) Pemegang Izin harus menentukan reaktivitas Teras dan distribusi daya dengan menyediakan informasi:
 - a. pola pemuatan dan orientasi bahan bakar pada setiap siklus pemuatan bahan bakar;
 - b. jadwal untuk pemuatan bahan bakar;
 - c. konfigurasi kendali reaktivitas dan perangkat pemadaman; dan
 - d. racun dapat bakar dan Komponen Teras lainnya untuk dimasukkan, dikeluarkan, dan ditempatkan pada posisi yang sesuai.
- (2) Pola pemuatan bahan bakar sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a mencakup pengayaan dan konfigurasi bahan bakar.
- (3) Pemegang Izin harus melakukan verifikasi dengan analisis Teras untuk memastikan pola pemuatan bahan bakar

memenuhi batas desain bahan bakar untuk Kondisi Operasi.

- (4) Pemegang Izin harus memastikan parameter yang terkait dengan deplesi bahan bakar dan racun dapat bakar, dan parameter fisika reaktor disediakan sebagai data untuk analisis keselamatan, sistem pemantauan dan proteksi reaktor, dan penyusunan prosedur pengoperasian.
- (5) Parameter fisika reaktor sebagaimana dimaksud pada ayat (4) untuk kondisi *start-up* meliputi:
 - a. konsentrasi boron kritis;
 - b. posisi batang kendali;
 - c. kinetika reaktor;
 - d. koefisien temperatur bahan bakar;
 - e. koefisien temperatur moderator;
 - f. nilai reaktivitas penarikan masing-masing batang kendali;
 - g. nilai reaktivitas penarikan total *bank* atau batang kendali; dan
 - h. faktor puncak daya.
- (6) Pemegang Izin harus mengevaluasi parameter deplesi bahan bakar dan racun dapat bakar, dan parameter fisika reaktor sebagaimana dimaksud pada ayat (4) dilakukan secara berkala untuk mengetahui perubahan naik turunnya daya yang tidak direncanakan yang dapat memengaruhi profil daya dan fraksi bakar.
- (7) Pemegang Izin harus menentukan strategi manajemen bahan bakar, serta batasan dan kondisi operasi untuk memenuhi batas desain bahan bakar selama pemuatan bahan bakar.

Pasal 67

- (1) Pemegang Izin harus melakukan analisis Teras dengan menggunakan kode komputer fisika dan termohidrolik multidimensi dan multiskala yang terverifikasi dan tervalidasi untuk semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.

- (2) Analisis Teras sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus menggunakan pendekatan *best estimates*.
- (3) Analisis Teras dilakukan berdasarkan siklus pemuatan bahan bakar untuk kondisi Teras:
 - a. daya penuh, termasuk distribusi daya yang representatif;
 - b. kondisi mengikuti beban (*load following*);
 - c. kondisi mendekati kekritisasi dan operasi daya;
 - d. siklus daya;
 - e. *start-up*;
 - f. pemuatan bahan bakar;
 - g. padam;
 - h. Kejadian Operasi Terantisipasi; dan
 - i. operasi pada batas kestabilan termohidrolik untuk jenis reaktor air didih.
- (4) Analisis Teras mencakup analisis kinerja bahan bakar yang dilakukan untuk menjamin dipenuhinya batas desain termal maupun mekanik bahan bakar pada semua Kondisi Operasi.
- (5) Analisis Teras harus dilakukan berdasarkan:
 - a. tingkat daya rata-rata dan lokal;
 - b. distribusi temperatur aksial;
 - c. distribusi daya radial; dan
 - d. distorsi daya aksial karena *spacer*, kisi-kisi dan komponen lainnya
- (6) Untuk jenis reaktor air ringan, analisis Teras harus dilakukan berdasarkan:
 - a. daya kanal puncak dan laju daya linier puncak untuk operasi daya penuh;
 - b. distribusi daya radial dalam kondisi tunak; dan
 - c. distribusi daya aksial.
- (7) Margin keselamatan harus ditentukan untuk memperhitungkan perubahan geometri perangkat bahan bakar pada kinerja neutronik dan termohidrolik.

Pasal 68

- (1) Pemegang Izin harus melakukan analisis keselamatan untuk mengevaluasi potensi terjadinya kekritisasi selama pemuatan dan penanganan bahan bakar.
- (2) Pemegang Izin harus menyediakan sarana pengukuran distribusi fluks neutron di dalam maupun di luar Teras, atau tindakan administratif untuk memantau urutan pemuatan bahan bakar.
- (3) Penyediaan sarana pengukuran distribusi fluks neutron sebagaimana dimaksud pada ayat (2) digunakan untuk memvalidasi pola pemuatan bahan bakar.
- (4) Pemegang Izin harus memastikan konsekuensi dari kesalahan pemuatan bahan bakar terparah tetap berada di dalam batas desain nuklir dan bahan bakar selama pemuatan bahan bakar.
- (5) Pemegang Izin harus menyediakan sarana berupa tindakan dan peralatan yang efektif dan andal untuk mencegah kesalahan pemuatan bahan bakar sebagaimana dimaksud pada ayat (4).
- (6) Dalam hal menentukan kecukupan tindakan pencegahan, Pemegang Izin harus melakukan analisis komputasi.
- (7) Pemegang Izin harus memastikan perilaku neutronik Teras tetap di dalam kemampuan sistem kendali reaktor selama pemuatan bahan bakar pada jenis reaktor air berat bertekanan.

Pasal 69

- (1) Pemegang Izin harus melakukan analisis yang mencakup pemuatan awal dan pemuatan bahan bakar berikutnya dalam hal digunakan Teras Campuran.
- (2) Analisis sebagaimana dimaksud pada ayat (1) mencakup:
 - a. respons dimensi, mekanik dan termohidrolik dari berbagai jenis bahan bakar; dan
 - b. kompatibilitas setiap bahan bakar dengan karakteristik neutronik dan termohidrolik dari Teras orisinal dan dengan analisis keselamatan terkait.

- (3) Korelasi fluks panas kritis atau korelasi daya kritis yang digunakan dalam sistem pemantauan Teras harus valid untuk jenis bahan bakar yang digunakan.
- (4) Pemegang Izin harus mengevaluasi parameter keselamatan untuk desain Teras Campuran yang meliputi:
 - a. koefisien reaktivitas temperatur untuk bahan bakar dan moderator;
 - b. koefisien reaktivitas boron dan konsentrasi boron;
 - c. margin padam;
 - d. laju penyisipan reaktivitas maksimum;
 - e. nilai reaktivitas batang kendali dan nilai reaktivitas batang kendali *bank*;
 - f. faktor puncak daya radial dan aksial, termasuk osilasi daya yang disebabkan xenon;
 - g. laju pembangkitan panas linier maksimum; dan
 - h. koefisien reaktivitas void.
- (5) Pemegang Izin harus mengevaluasi efek gabungan parameter Teras yang terkait.

Pasal 70

- (1) Pemegang Izin harus melakukan analisis Teras oksida campuran untuk menjamin batas desain nuklir dan bahan bakar tidak terlampaui untuk semua Kondisi Operasi dan Kondisi Kecelakaan.
- (2) Analisis Teras sebagaimana dimaksud pada ayat (1) memastikan:
 - a. sifat bahan bakar oksida campuran;
 - b. nilai reaktivitas batang kendali dan penyerap neutron;
 - c. parameter kinetik untuk bahan bakar oksida campuran; dan
 - d. tampang lintang fisi dalam bahan bakar oksida campuran.
- (3) Pemegang Izin harus menambah batang kendali atau penyerap neutron jika berkurangnya margin pemadaman karena berkurangnya nilai reaktivitas batang kendali dan

penyerap neutron sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b.

- (4) Pemegang Izin harus menjamin reaktor dapat mudah dikendalikan jika berubahnya parameter kinetik sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf c.
- (5) Pemegang Izin harus memastikan perbedaan gradien fluks yang curam antara bahan bakar oksida campuran dan uranium dioksida jika berubahnya tampang lintang fisi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf d.

Pasal 71

- (1) Pemegang Izin harus memastikan efek moda operasi (*operating conditions*) yang memengaruhi distribusi tingkat daya dan riwayat temperatur untuk mengevaluasi potensi efek siklik termal pada respons termomekanik bahan bakar.
- (2) Efek siklik termal (*thermal cycling*) sebagaimana dimaksud pada ayat (1) mempertimbangkan respons termomekanik bahan bakar.
- (3) Jika tingkat fleksibilitas telah ditentukan, Pemegang Izin harus mengembangkan spesifikasi tambahan untuk kualifikasi dan implementasi berdasarkan evaluasi dampak pada desain dan operasi.
- (4) Jika pengendalian reaktivitas Teras dengan mengikuti beban dan manuver daya, Pemegang Izin harus mempertahankan keseimbangan Teras dan pembangkitan daya, serta kestabilan reaktor.
- (5) Pemegang Izin harus menyesuaikan batasan dan kondisi operasi untuk mengantisipasi adanya gangguan akibat permintaan daya.

Pasal 72

- (1) Jika terdapat bahan bakar yang cacat selama pengoperasian, Pemegang Izin harus memastikan persyaratan radiokimia yang ditentukan oleh batas aktivitas radionuklida pendingin sebagaimana dimuat di dalam batasan dan kondisi operasi tidak terlampaui.

- (2) Pemegang Izin dapat melakukan penggantian bahan bakar cacat sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dengan cara:
 - a. penggantian bahan bakar;
 - b. penggunaan bahan bakar tiruan; atau
 - c. pengosongan.
- (3) Pengosongan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf c harus memenuhi batas desain.
- (4) Pemegang Izin harus mengkaji dampak penggantian bahan bakar pada desain Teras.

Pasal 73

- (1) Pemegang Izin harus menjamin bahan bakar tetap utuh atau tidak mengalami degradasi lebih lanjut pasca-iradiasi dengan memastikan parameter kinerja bahan bakar, meliputi:
 - a. tekanan internal bahan bakar pada akhir siklus bahan bakar;
 - b. sifat mekanik kelongsong dan hidridasi kelongsong yang masif;
 - c. aus karena gesekan (*fretting wear*);
 - d. fraksi bakar bahan bakar; dan
 - e. aspek lainnya.
- (2) Aspek lain sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf e meliputi:
 - a. korosi retak tegang;
 - b. pelepasan gas fisi;
 - c. distorsi bahan bakar; dan
 - d. kinerja bahan bakar pada Kondisi Kecelakaan.

BAB III

KUALIFIKASI, PEMANTAUAN, DAN PENGUJIAN

Pasal 74

Pemegang Izin harus menentukan kualifikasi, pemantauan, dan pengujian struktur, sistem dan komponen untuk

menjamin pengoperasian Reaktor Daya selama masa pakai struktur, sistem dan komponen Teras.

Pasal 75

- (1) Pemegang Izin harus menentukan kualifikasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 74 sebelum pemasangan struktur, sistem dan komponen dalam kondisi lingkungan untuk Kondisi Operasi, Kecelakaan Dasar Desain, dan Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain tanpa degradasi bahan bakar yang signifikan.
- (2) Pemegang Izin harus memastikan kemampuan struktur, sistem dan komponen Teras dapat melakukan fungsinya untuk jangka waktu yang relevan, dengan mempertimbangkan keselamatan dan fungsi yang sesuai di bawah kondisi lingkungan yang telah ditentukan.
- (3) Kondisi lingkungan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) mencakup:
 - a. tekanan;
 - b. temperatur;
 - c. tingkat radiasi;
 - d. beban mekanik; dan
 - e. vibrasi.
- (4) Kondisi lingkungan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) berlaku pada Operasi Normal, Kejadian Operasi Terantisipasi, Kecelakaan Dasar Desain dan termasuk Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain tanpa degradasi bahan bakar signifikan.
- (5) Jika karakteristik Kejadian Awal Terpostulasi tertentu dapat menghalangi kinerja pelaksanaan uji komisioning dan pengujian, Pemegang Izin harus memastikan struktur, sistem dan komponen melakukan fungsi keselamatan saat diperlukan.
- (6) Metode kualifikasi mencakup:
 - a. kinerja uji tipe pada sampel struktur, sistem dan komponen yang akan dipasang;
 - b. kinerja uji pada struktur, sistem dan komponen yang dipasang;

- c. penggunaan pengalaman operasi; dan/atau
 - d. analisis berdasarkan data uji yang tersedia dan dapat digunakan.
- (7) Pengalaman operasi sebagaimana dimaksud pada ayat (6) huruf c harus diidentifikasi dengan mengacu pada fraksi bakar maksimum dan daya Teras pada sistem bahan bakar dari desain yang sama atau mirip.
- (8) Rekaman kinerja bahan bakar harus dievaluasi dan dibandingkan dengan kriteria desain yang telah ditentukan.

Pasal 76

Pemegang Izin harus menentukan pemantauan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 74 untuk mengidentifikasi setiap bahan bakar, menjamin orientasi yang sesuai, serta memverifikasi lokasi dan penempatan yang benar setelah pemuatan bahan bakar.

Pasal 77

Pemegang Izin harus menentukan pengujian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 74 untuk memastikan Teras dan struktur terkait, dan sistem kendali reaktivitas dan pemadaman melakukan fungsinya selama operasi reaktor.

Pasal 78

Pengujian untuk bahan bakar purwarupa harus dilakukan di:

- a. fasilitas uji; dan/atau
- b. reaktor uji.

Pasal 79

- (1) Pengujian di fasilitas uji sebagaimana dimaksud dalam Pasal 78 huruf a dilakukan guna menentukan karakteristik desain baru pada bahan bakar purwarupa.
- (2) Pengujian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) untuk reaktor air ringan, meliputi pengujian:
- a. *grid spacer*, termasuk pengujian beda tekanan;
 - b. kinerja dan struktur batang kendali;

- c. struktur bahan bakar;
 - d. aliran hidrolik bahan bakar; dan
 - e. termohidrolik bahan bakar, termasuk penentuan hubungan fluks panas kritis.
- (3) Pengujian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) untuk reaktor air berat, meliputi pengujian:
- a. beda tekanan *string* bundel bahan bakar;
 - b. ketahanan aliran silang;
 - c. ketahanan mekanik;
 - d. tumbukan bundel;
 - e. kekuatan bundel;
 - f. keausan;
 - g. kelas seismik;
 - h. *wash-in* dan *wash-out*; dan
 - i. fluks panas kritis.

Pasal 80

- (1) Pengujian di reaktor uji sebagaimana dimaksud dalam Pasal 78 huruf b dilakukan guna menjustifikasi batas fraksi bakar maksimum yang ditentukan untuk desain baru melalui iradiasi bahan bakar.
- (2) Pengujian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan berdasarkan jenis reaktor:
- a. air berat; atau
 - b. air ringan, berupa:
 - 1. air mendidih; atau
 - 2. air bertekanan.
- (3) Pengujian untuk reaktor air berat sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf a, Pemegang Izin harus melakukan pengujian untuk uji fenomena:
- a. pertumbuhan bahan bakar dan penyerap mudah bakar;
 - b. penggelembungan bahan bakar;
 - c. tingkat hidrida dan oksidasi bahan bakar, *spacer grid*, dan kanal bahan bakar;
 - d. pengerutan (*ridging*) bahan bakar;
 - e. integritas bahan bakar; dan

- f. gesekan bahan bakar dan *spacer*.
- (4) Pengujian untuk reaktor air mendidih sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b angka 1, Pemegang Izin harus melakukan pengujian untuk uji fenomena:
- a. pertumbuhan bahan bakar dan penyerap mudah bakar;
 - b. penggelembungan bahan bakar;
 - c. tingkat hidrida dan oksidasi bahan bakar, *spacer grid*, dan kanal bahan bakar;
 - d. pengerutan (*ridging*) bahan bakar;
 - e. integritas bahan bakar;
 - f. keausan dan distorsi kanal; dan
 - g. elastisitas pegas *grid spacer*.
- (5) Pengujian untuk reaktor air bertekanan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b angka 2, Pemegang Izin harus melakukan pengujian untuk uji fenomena:
- a. pertumbuhan bahan bakar dan penyerap mudah bakar;
 - b. penggelembungan bahan bakar;
 - c. tingkat hidrida dan oksidasi bahan bakar, *spacer grid*, dan kanal bahan bakar;
 - d. pengerutan (*ridging*) bahan bakar;
 - e. integritas bahan bakar;
 - f. elastisitas pegas *hold-down*;
 - g. elastisitas pegas *grid spacer*; dan
 - h. keausan tabung pengarah dan batang kendali.

BAB IV

KETENTUAN PENUTUP

Pasal 81

Pada saat Peraturan Badan ini mulai berlaku, ketentuan Pasal 66 sampai dengan Pasal 69 Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya (Berita Negara Republik Indonesia Nomor 535 Tahun 2011), dicabut dan dinyatakan tidak berlaku.

Pasal 82

Peraturan Badan ini mulai berlaku pada tanggal diundangkan.

Agar setiap orang mengetahuinya, memerintahkan pengundangan Peraturan Badan ini dengan penempatannya dalam Berita Negara Republik Indonesia.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 17 Januari 2022

PLT. KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

SUGENG SUMBARJO

Diundangkan di Jakarta
pada tanggal 24 Januari 2022

DIREKTUR JENDERAL
PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

BENNY RIYANTO

BERITA NEGARA REPUBLIK INDONESIA TAHUN 2022 NOMOR 88

Salinan sesuai dengan aslinya
BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

