

LAMPIRAN I
PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 2 TAHUN 2012 TENTANG DESAIN PROTEKSI
TERHADAP BAHAYA INTERNAL SELAIN KEBAKARAN DAN
LEDAKAN PADA REAKTOR DAYA

PERSYARATAN UMUM DESAIN

Persyaratan umum desain meliputi:

- A. pencegahan terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi;
- B. proteksi struktur, sistem, dan komponen terhadap dampak Kejadian Awal Terpostulasi; dan
- C. mitigasi terhadap konsekuensi tidak dapat diterima.

Proteksi terhadap Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan didesain memenuhi prinsip dasar keselamatan nuklir.

Prinsip dasar keselamatan nuklir meliputi:

1. keselamatan melekat (*inherent safety*);
2. penghalang ganda;
3. margin keselamatan;
4. redundansi;
5. keragaman;
6. kemandirian;
7. gagal-selamat; dan
8. kualifikasi peralatan.

A. Pencegahan Terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi

Pencegahan terhadap Kejadian Awal Terpostulasi meliputi:

1. pemilihan desain yang konservatif dengan mempertimbangkan beban statik, dinamik, dan termal serta kombinasinya;
2. perencanaan inspeksi terhadap cacat pada material;
3. perencanaan surveilan; dan
4. penggunaan prosedur secara komprehensif.

A.1. Pemilihan Desain yang Konservatif dengan Mempertimbangkan Beban Statik, Dinamik, dan Termal serta Kombinasinya

Upaya untuk mengurangi probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi paling sedikit meliputi:

- a. penggunaan batas desain yang ketat;
- b. pemilihan bahan untuk meminimalkan pengaruh penuaan terhadap komponen; dan
- c. penggunaan peralatan atau sistem keselamatan untuk membatasi tekanan atau kecepatan putaran maksimum.

A.2. Perencanaan Inspeksi terhadap Cacat pada Material

Desain proteksi terhadap Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan dilengkapi dengan ketentuan untuk melaksanakan inspeksi yang meliputi uji tak rusak secara berkala terhadap sistem pemipaan dan komponen dalam sistem bertekanan pada reaktor dan juga sistem pendukungnya, untuk mendeteksi cacat dalam bahan yang mungkin telah membesar selama operasi.

Teknik inspeksi yang digunakan:

- a. dapat mendeteksi karakteristik cacat yang jauh lebih kecil daripada cacat yang dapat menyebabkan kegagalan yang parah; dan
- b. tidak boleh meningkatkan probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi seperti penipisan dinding pipa.

Inspeksi yang dilakukan termasuk inspeksi untuk mengidentifikasi dan menganalisis cacat pada saat fabrikasi serta memperkirakan pertumbuhan cacat.

Frekuensi inspeksi ditetapkan untuk mendeteksi dan mengantisipasi laju pertumbuhan cacat yang diperkirakan.

Dalam hal dampak dari kegagalan peralatan akan membahayakan keselamatan, proteksi terhadap Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan didesain dengan mengkombinasikan penggunaan batas desain yang ketat dengan inspeksi dan surveilan atau dengan metode lain yang dapat diterima untuk mengurangi probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi.

A.3. Perencanaan Surveilan

Desain proteksi terhadap Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan dilengkapi dengan ketentuan untuk melaksanakan surveilan yang efektif terhadap kondisi yang memberikan indikasi kegagalan awal.

Surveilan meliputi:

- a. deteksi kebocoran pipa dan bejana tekan;
- b. pemantauan vibrasi pada peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi;
- c. pemantauan komponen yang kendur; dan
- d. pemantauan terhadap fatik, pergeseran (*displacement*), kimia air, pengaruh vibrasi dan efek panas (*thermal stratification*), pengaruh penuaan komponen, deteksi keausan (*wear*) dan proses kimia dari bahan pelumas.

Surveilan yang mempunyai metode dan teknik pemantauan dengan tingkat kepercayaan yang tinggi dilaksanakan untuk mengurangi kegagalan peralatan.

A.4. Penggunaan Prosedur secara Komprehensif

Desain proteksi terhadap Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan dilengkapi prosedur secara komprehensif untuk mengurangi probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi.

Penggunaan prosedur secara komprehensif untuk mengurangi probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi meliputi:

- a. pencegahan tegangan termal (*thermal stress*) yang berlebihan di dalam bejana logam dan pemantauan bahan bejana terhadap penggetasan karena radiasi (*radiation embrittlement*);
- b. pembatasan transien dengan menggunakan katup pembebas tekanan dan fitur keselamatan yang diaktifkan oleh sistem proteksi;
- c. pengendalian kimia air di dalam pendingin primer dan pendingin sekunder untuk menghambat korosi dan terjadinya retakan yang dipicu oleh korosi; dan
- d. pencegahan atau pengurangan probabilitas pipa pecah dan dampaknya.

B. Proteksi Struktur, Sistem, Dan Komponen Terhadap Dampak Kejadian Awal Terpostulasi

Proteksi struktur, sistem, dan komponen terhadap dampak Kejadian Awal Terpostulasi meliputi:

1. pengaturan tata letak; dan
2. penggunaan penghalang dan pemisahan secara fisik.

B.1. Pengaturan Tata Letak

Reaktor didesain memiliki ketentuan tata letak struktur, sistem, dan komponen untuk mengurangi nilai probabilitas struktur, sistem, dan komponen yang terkena dampak dalam upaya proteksi terhadap Kejadian Awal Terpostulasi.

Tata letak struktur, sistem, dan komponen didesain dengan mempertimbangkan pengalaman dari tipe reaktor daya yang sama.

B.2. Penggunaan Penghalang dan Pemisahan secara Fisik

Dalam hal tata letak struktur, sistem, dan komponen belum mampu mengurangi nilai probabilitas struktur, sistem, dan komponen yang terkena dampak, reaktor daya didesain menyediakan:

- a. penghalang sumber Kejadian Awal Terpostulasi dengan struktur, sistem, dan komponen yang berpotensi terkena dampak; dan/atau
- b. pemisahan fisik antar struktur, sistem, dan komponen yang redundan.

Penghalang ditempatkan sedekat mungkin dengan sumber Kejadian Awal Terpostulasi yang memberikan efek dinamik, seperti: Misil, cambukan pipa (*pipe whip*), dan benda atau obyek lainnya yang bertumbukan, dalam upaya memberikan proteksi terhadap struktur, sistem, dan komponen yang terkena dampak dan membatasi kemungkinan terkena Misil.

Penghalang ditempatkan dengan mempertimbangkan tambahan energi dari benda yang terlempar.

Dalam hal terdapat struktur, sistem, dan komponen yang berpotensi terkena dampak belum diproteksi oleh penghalang sumber yang ada, maka penghalang khusus ditempatkan pada target tersebut. Penghalang untuk banjir terpostulasi dapat disediakan dalam bentuk:

- a. pintu yang sesuai;
- b. pembatas (*thresholds*);
- c. dinding pembatas (*platforms*); atau
- d. dinding penahan (*retention wall*).

Penghalang didesain mempertimbangkan aspek pengujian dan perawatan. Pemisahan fisik antar struktur, sistem, dan komponen yang redundan didesain dengan memperhatikan:

- a. jumlah dan jenis sistem keselamatan yang mungkin dapat menjadi rusak oleh Kejadian Awal Terpostulasi; dan
- b. Dampak Sekunder yang mungkin menyebabkan kerusakan pada komponen dari sistem keselamatan yang redundan.

C. Mitigasi Terhadap Konsekuensi Tidak Dapat Diterima

Struktur, sistem, dan komponen yang terkena dampak didesain memiliki prinsip gagal-selamat untuk mengurangi probabilitas konsekuensi yang tidak dapat diterima.

Reaktor didesain memberikan proteksi terhadap perubahan lingkungan akibat lepasan fluida, seperti kelembaban, suhu, tekanan dan tingkat radiasi.

Struktur, sistem, dan komponen didesain memiliki kualifikasi untuk menjalankan fungsi keselamatan dalam hal terjadinya perubahan lingkungan. Dalam hal struktur, sistem, dan komponen tidak memiliki kualifikasi untuk berfungsi saat terjadi perubahan lingkungan, maka struktur, sistem, dan komponen tersebut diproteksi dengan cara enkapsulasi, pemberian perisai, atau dengan upaya lain yang sesuai. Enkapsulasi dan perisai didesain dengan mempertimbangkan kemudahan perawatan.

Reaktor didesain menggunakan pipa pelindung tak bertekanan di sekitar bagian tertentu pada pipa bertekanan untuk memitigasi potensi dampak pecahnya pipa bertekanan. Pipa pelindung tak bertekanan didesain dengan mempertimbangkan kemudahan inspeksi pada pipa bertekanan.

**KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA,**

AS NATIO LASMAN

LAMPIRAN II
PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 2 TAHUN 2012 TENTANG DESAIN PROTEKSI
TERHADAP BAHAYA INTERNAL SELAIN KEBAKARAN DAN
LEDAKAN PADA REAKTOR DAYA

PERSYARATAN KHUSUS DESAIN

Persyaratan khusus desain meliputi desain proteksi terhadap:

- A. Misil;
- B. runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek;
- C. kegagalan pemipaan; dan
- D. banjir internal.

A. Desain Proteksi Terhadap Misil

Reaktor daya didesain dengan memperhitungkan:

- 1. Kejadian Awal Terpostulasi Misil; dan
- 2. potensi Misil sekunder.

Contoh Kejadian Awal Terpostulasi Misil meliputi:

- 1. kegagalan bejana yang bertekanan;
- 2. kegagalan katup;
- 3. lontaran batang kendali; dan
- 4. kegagalan peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi.

Reaktor daya didesain untuk memberikan upaya proteksi terhadap:

- 1. kegagalan bejana yang bertekanan;
- 2. kegagalan katup;
- 3. lontaran batang kendali; dan
- 4. kegagalan peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi.

A.1. Proteksi terhadap Kegagalan Bejana yang Bertekanan

Reaktor daya didesain dengan memperhitungkan kegagalan bejana yang bertekanan, yang mengandung fluida dengan energi internal yang tinggi sebagai sumber potensi Misil.

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kegagalan bejana meliputi:

- a. karakteristik bahan;
- b. bentuk bejana;
- c. posisi pengelasan;
- d. desain nosel;
- e. pelaksanaan konstruksi; dan
- f. kondisi operasi.

Bejana yang bertekanan didesain mempunyai level tegangan (*stress*) yang dapat diterima pada semua kondisi sesuai dengan standar nasional, negara pemasok atau internasional.

Bejana yang bertekanan didesain dengan dilengkapi ketentuan mengenai pemantauan kegiatan pada semua fase desain, konstruksi, operasi instalasi dan pengujian sesuai dengan prosedur yang disetujui untuk memverifikasi bahwa:

- a. kegiatan telah dilakukan sesuai dengan spesifikasi desain; dan
- b. kualitas bejana sudah dapat diterima.

Bejana yang bertekanan didesain tidak memiliki kegagalan yang mengakibatkan Kejadian Awal Terpostulasi berupa pecahnya bejana tekan.

Bejana yang bertekanan didesain menggunakan bahan ulet (*ductile*), angkur dan penyangga tambahan. Dalam hal nilai probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi tidak cukup rendah, atau bejana dapat mengalami kegagalan yang diasumsikan akibat getas, maka rentang kemungkinan ukuran dan bentuk Misil diperkirakan untuk mengidentifikasi Misil dasar desain.

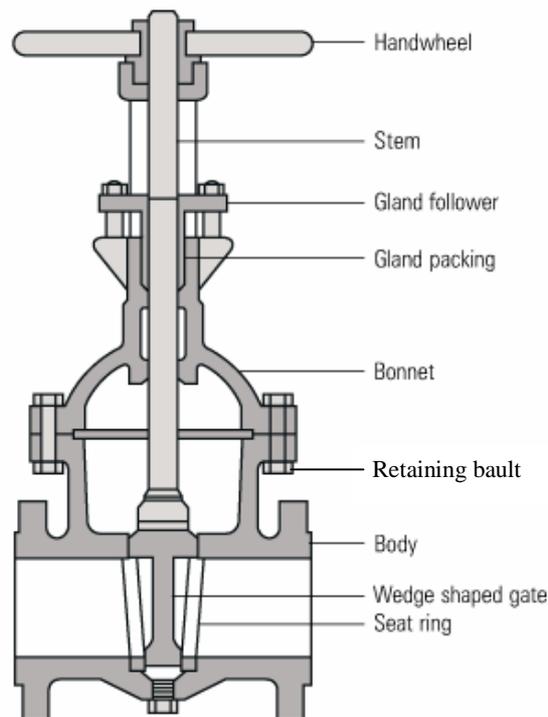
Bejana yang bertekanan dapat didesain menggunakan pendekatan konservatif sederhana sebagai alternatif untuk menentukan Misil dasar desain. Bejana yang bertekanan didesain tidak akan menjadi Misil ketika mengalami kegagalan. Dalam hal terjadinya Misil, diidentifikasi lokasi pecah dan ukuran pecah untuk menentukan resultan gaya dorong (*blowdown forces*) bejana yang dapat menyebabkan pemisahan bejana dari penyangganya (*retaining supports*) .

Bejana yang bertekanan didesain dengan memperhitungkan pencegahan terjadinya pemisahan antara bejana dengan penyangganya.

Dalam hal reaktor dilengkapi dengan baut pengikat bejana (*vessel closure plugs*) untuk mempertahankan posisi bahan bakar, fitu Bejana... khusus disediakan untuk memastikan bahwa probabilitas lontaran (*ejection*) baut pengikat (*closure plug*) rendah.

A.2. Kegagalan Katup

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan kegagalan katup yang dioperasikan pada sistem fluida energi tinggi sebagai sumber potensi Misil. Sumber potensi Misil terbesar dari katup mencakup bagian yang dapat dilepas untuk tujuan perawatan, seperti batang katup (*valve stem*) atau *valve bonnet* atau baut penahan (*retaining bault*). Contoh skema katup diberikan pada gambar 1



Gambar 1. Skema katup

Katup didesain memiliki:

- batang katup yang dilengkapi perangkat untuk mencegah batang katup menjadi Misil ketika mengalami kegagalan;
- tutup katup (*valve bonnet*) yang dilengkapi baut pengikat yang tidak akan mengakibatkan Misil.

A.3. Lontaran Batang Kendali

Reaktor didesain dengan mempertimbangkan lontaran batang kendali sebagai sumber potensi Misil akibat gaya dorong fluida. Pembangkitan Misil akibat lontaran batang kendali akan mengakibatkan kerusakan:

- a. batang kendali yang berdekatan;
- b. sistem keselamatan; dan
- c. struktur penyungkup

tergantung pada jenis reaktornya.

Reaktor daya didesain memiliki fitur desain khusus untuk mencegah terjadinya Misil dengan mengurangi probabilitas lontaran batang kendali. Fitur khusus didesain mampu menahan batang kendali dan perangkat penggerakannya pada saat terjadi kegagalan tabung pengarah batang kendali.

A.4. Kegagalan Peralatan yang Berputar Dengan Kecepatan Tinggi

Reaktor didesain dengan mempertimbangkan kegagalan peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi sebagai sumber potensi Misil. Sumber potensi Misil dari kegagalan peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi mencakup:

- a. perangkat generator turbin utama;
- b. turbin uap;
- c. pompa dengan skala yang besar (seperti pompa pendingin utama); dan
- d. motor pompa serta roda gila (*flywheel*).

Komponen dari peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi yang dipostulasikan menjadi Misil, meliputi:

- a. sudu-sudu kipas (*fan blades*);
- b. kepingan cakram atau sudu-sudu turbin;
- c. impeler pompa;
- d. flens (*flanges*); dan
- e. baut kopleng.

Peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi didesain memiliki struktur stasioner yang mampu menyerap energi lontaran Misil dari benda yang berputar dengan kecepatan tinggi.

Peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi didesain mempertimbangkan konsentrasi tegangan, diskontinuitas struktur bahan, cacat bahan dan faktor lain yang dapat mempengaruhi jenis fragmen yang terbentuk pada kejadian kegagalan peralatan yang berputar.

Misil akibat kegagalan peralatan yang berputar dikelompokkan berdasarkan potensi daya rusaknya dan diperhitungkan dalam evaluasi kemungkinan Dampak Primer dan Sekunder.

Peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi didesain dengan mempertimbangkan:

- a. pemilihan bahan;
- b. fitur pengendali kecepatan; dan
- c. margin tegangan (*stress margin*).

Desain peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi dilengkapi dengan ketentuan untuk melakukan inspeksi pada proses fabrikasi untuk menjamin:

- a. kesesuaian dengan tujuan desain;
- b. kecukupan pengujian tak merusak dan pengujian lain untuk mendeteksi kemungkinan adanya cacat; dan
- c. kecukupan tindakan kendali mutu untuk memastikan bahwa peralatan yang dipasang telah memenuhi semua spesifikasi.

Desain peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi dilengkapi dengan:

- a. peralatan yang redundan untuk mendeteksi dan mencegah dilampauinya ambang batas kecepatan;
- b. peralatan instrumentasi dan kendali;
- c. peralatan catu daya; dan
- d. prosedur kalibrasi berkala dan pengujian dari semua sarana tersebut.

Contoh peralatan pembatas kecepatan meliputi:

- a. pengatur kecepatan (*governor*);
- b. kopling;
- c. rem; dan
- d. kombinasi dari sistem instrumentasi, kendali, dan katup kendali uap.

Peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi didesain memperhitungkan kemungkinan cacat di dalam rotor yang mengakibatkan terbentuknya Misil pada kecepatan normal atau di bawah normal melalui:

- a. desain konservatif;
- b. fabrikasi dengan kualitas tinggi;
- c. pengoperasian yang hati-hati;
- d. pemantauan parameter yang sesuai (seperti getaran); dan
- e. rencana inspeksi yang komprehensif.

B. Desain Proteksi Terhadap Runtuhnya Struktur Dan Jatuhnya Obyek

Reaktor daya didesain memperhitungkan Kejadian Awal Terpostulasi runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek. Kejadian Awal Terpostulasi runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek meliputi:

1. kegagalan struktur;
2. kegagalan non struktur; dan
3. jatuhnya peralatan yang berat

Contoh struktur mencakup:

1. menara pendingin;
2. cerobong; dan
3. gedung turbin.

Contoh non struktur mencakup:

1. dinding (*block walls*);
2. tangga; dan
3. perancah (*scaffolding*).

Contoh peralatan yang berat:

1. *crane*;
2. kask pemindah; dan
3. peralatan yang diangkat *crane*.

B.1. Kegagalan Struktur

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan kegagalan struktur sebagai sumber potensi runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek.

Untuk mengurangi probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi, struktur didesain tidak menyebabkan kerusakan struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan pada saat terjadinya kegagalan struktur.

Untuk mengurangi nilai probabilitas struktur, sistem, dan komponen yang terkena dampak, struktur, sistem, dan komponen didesain menggunakan pemisahan fisik sehingga kegagalan struktur tidak akan menyebabkan kegagalan semua struktur, sistem, dan komponen yang redundan.

B.2. Kegagalan Non Struktur

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan kegagalan non-struktur sebagai sumber potensi runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek.

Proteksi Bahaya Internal mempertimbangkan kegagalan elemen non-struktur yang disebabkan oleh kejadian awal internal seperti kesalahan operator atau kecelakaan selama perawatan.

Untuk mengurangi probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi, non-struktur didesain tidak menyebabkan kerusakan struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan pada saat terjadinya kegagalan non-struktur.

Reaktor daya didesain dengan menggunakan pengaturan tata letak dan penghalang untuk meminimalisasi kerusakan struktur, sistem, dan komponen pada saat terjadinya kegagalan non struktur.

B.3. Jatuhnya Peralatan Yang Berat

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan jatuhnya peralatan yang berat sebagai sumber potensi runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek.

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan peralatan berat yang terletak pada lokasi tinggi yang dapat menyebabkan kerusakan struktur, sistem, dan komponen pada saat peralatan berat tersebut jatuh. Dalam hal terjadinya Misil akibat jatuhnya peralatan berat, diidentifikasi arah, ukuran, bentuk dan energi dari Misil.

Crane yang melewati struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan didesain menggunakan:

- a. kabel redundan;
- b. prinsip *interlocks*;
- c. prosedur penanganan *crane*; dan
- d. program inspeksi dan perawatan berkala dari *crane*, (misalnya *pulley*, *interlock*, kabel baja dan remnya), simpul tali gantungan (*noose*), tali pengikat (*strap*) dan belunggu (*shackel*).

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan kemungkinan jatuhnya kask pemindah bahan bakar ke dalam kolam bahan bakar.

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan:

- a. keretakan kolam penyimpanan bahan bakar akibat jatuhnya kask bahan bakar dan menyebabkan bocornya kolam;
- b. kapasitas sistem penambah air untuk mempertahankan ketinggian air kolam dalam hal terjadi kebocoran kolam; dan
- c. penanganan kask bahan bakar ke daerah yang letaknya jauh dari kolam dan struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan.

C. Desain Proteksi Terhadap Kegagalan Pemipaan

Reaktor daya didesain memperhitungkan Kejadian Awal Terpostulasi kegagalan pemipaan. Kejadian Awal Terpostulasi kegagalan pemipaan meliputi kejadian atau kombinasi kejadian berikut:

1. pipa pecah;
2. cambukan pipa; dan
3. semburan.

C.1. Pipa Pecah

Reaktor daya didesain mempertimbangkan pipa pecah sebagai sumber potensi kegagalan pemipaan.

Pipa pecah meliputi:

- a. pecah melingkar (*circumferential rupture*) atau retakan longitudinal di sepanjang dinding pipa (*longitudinal through-wall crack*) pada pipa bertekanan tinggi; atau
- b. bocor dengan luasan terbatas (*leak with limited area*) pada pipa bertekanan rendah;

Pipa bertekanan tinggi yaitu pipa dengan tekanan operasi internal ≥ 2 MPa atau dengan temperatur operasi ≥ 100 °C.

Pipa bertekanan rendah yaitu pipa dengan tekanan operasi internal < 2 MPa atau dengan temperatur operasi < 100 °C.

Proteksi terhadap pipa pecah dilakukan melalui:

- a. penggunaan bahan dengan kualitas yang sesuai;
- b. surveilan; dan
- c. deteksi kebocoran dengan sensitivitas yang memadai untuk mendeteksi kebocoran minimum yang berasal dari retakan subkritis (*subcritical crack*).

C.2. Cambukan Pipa

Reaktor daya didesain mempertimbangkan cambukan pipa sebagai sumber potensi kegagalan pemipaan.

Reaktor daya didesain menggunakan penahan fisik dengan jumlah yang memadai untuk menahan gerakan pipa yang patah pada lokasi yang memerlukan.

Reaktor daya didesain menyediakan upaya perlindungan untuk menurunkan probabilitas struktur, sistem, dan komponen yang penting

untuk keselamatan terkena cambukan pipa termasuk upaya melindungi katup isolasi dari dampak cambukan pipa.

Reaktor daya didesain menyediakan upaya untuk mengurangi dampak cambukan pipa apabila salah satu kondisi berikut terpenuhi:

- a. pecahnya pipa;
- b. tidak tersedia penahan fisik atau jarak yang cukup dari struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan;
- c. pipa yang mengalami pecah *double ended guillotine* menyebabkan cambukan pada struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan; dan
- d. energi internal cambukan pipa menyebabkan kerusakan struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan.

C.3. Semburan

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan semburan sebagai sumber potensi kegagalan pemipaan.

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan semburan yang meliputi:

- a. beban mekanik (tekanan dan tumbukan);
- b. beban termal (suhu, termasuk tegangan dan kejutan termal);
- c. sifat fluida (seperti terjadinya hubung singkat pada peralatan kelistrikan akibat konduktivitas air); dan
- d. efek kimia, jika cairan yang dikeluarkan bukan air.

Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan Dampak Sekunder yang diakibatkan oleh struktur, sistem, dan komponen yang terkena semburan.

Reaktor daya didesain mempertimbangkan perubahan kondisi lingkungan akibat semburan yang dapat mempengaruhi fungsi struktur, sistem, dan komponen. Perubahan kondisi lingkungan di dalam ruang tempat terjadinya semburan dipengaruhi oleh:

- a. durasi waktu semburan;
- b. parameter semburan; dan
- c. dimensi ruangan.

Dalam hal struktur, sistem, dan komponen diperkirakan akan tidak berfungsi karena perubahan kondisi lingkungan akibat semburan, maka struktur, sistem, dan komponen tersebut dikualifikasi ulang atau diproteksi. Proteksi terhadap semburan langsung didesain setara dengan proteksi terhadap Misil.

Reaktor daya didesain memiliki sarana proteksi yang mampu menahan Misil dan semburan, atau Bahaya Internal lainnya. Proteksi terhadap semburan didesain dengan mempertimbangkan antara lain:

- a. durasi waktu;
- b. perilaku semburan;
- c. arah dan lokasi pemasangan katup; dan
- d. jenis penghalang fisik.

D. Desain Proteksi Terhadap Banjir Internal

Reaktor daya didesain dengan memperhitungkan Kejadian Awal Terpostulasi banjir internal.

Kejadian Awal Terpostulasi untuk banjir internal meliputi antara lain:

1. bocor atau pecahnya sistem primer atau sekunder;
2. aktuasi palsu sistem *containment spray* atau *automatic depressurization system* (ADS);
3. bocor atau pecahnya sistem air pengumpan sekunder;
4. bocor atau pecahnya sistem pendingin teras darurat;
5. bocor atau pecahnya sistem suplai air layanan;
6. bocor atau pecahnya sistem pemadam kebakaran;
7. kesalahan manusia selama perawatan (misalnya: katup, lubang akses atau flens tetap terbuka secara tidak sengaja).

Kejadian Awal Terpostulasi banjir internal juga dapat berupa banjir yang terjadi sebagai dampak bekerjanya sistem lain seperti beroperasinya sistem *containment spray* atau *automatic depressurization system* (ADS) dan sistem pemadam kebakaran.

Reaktor daya didesain mempertimbangkan proteksi struktur, sistem, dan komponen terhadap dampak banjir internal untuk mengurangi probabilitas struktur, sistem, dan komponen yang terpengaruh dampak Kejadian Awal Terpostulasi dengan:

1. menempatkan struktur, sistem, dan komponen pada posisi yang lebih tinggi dari ketinggian banjir maksimum yang mungkin terjadi;
2. menggunakan penghalang, dalam hal struktur, sistem, dan komponen tidak dapat ditempatkan pada posisi yang lebih tinggi dari ketinggian banjir maksimum yang mungkin terjadi;
3. dilengkapi sarana untuk memitigasi banjir internal dan mencegah penyebarannya, yang mencakup:

- a. katup isolasi pada pipa, saluran dan pompa;
- b. sistem deteksi ; dan
- c. prosedur.

Reaktor daya didesain menggunakan peralatan terkualifikasi untuk operasi dalam kondisi basah atau terendam untuk mengurangi probabilitas konsekuensi yang tidak dapat diterima dari sistem atau komponen yang berpotensi untuk rusak parah. Reaktor daya didesain dengan mempertimbangkan efek jangka panjang banjir internal dalam proses kualifikasi peralatan.

Untuk mengurangi probabilitas keseluruhan dari konsekuensi yang tidak dapat diterima reaktor daya didesain dengan:

1. menggunakan sistem atau komponen redundan yang terpisah secara fisik;
2. mempertimbangkan kegagalan dengan penyebab sama akibat cairan yang membanjiri seluruh ruangan dan menyebar ke ruangan lain; dan
3. memperhitungkan kemungkinan terjadinya gelombang banjir internal dalam hal terjadi banjir yang cepat.

LAMPIRAN III
 PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
 NOMOR 2 TAHUN 2012 TENTANG DESAIN PROTEKSI
 TERHADAP BAHAYA INTERNAL SELAIN KEBAKARAN DAN
 LEDAKAN PADA REAKTOR DAYA

ANALISIS DAN KRITERIA PENERIMAAN

Analisis terhadap Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan diawali dengan penapisan Kejadian Awal Terpostulasi.

Analisis untuk proteksi terhadap Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan meliputi analisis probabilistik dan deterministik serta analisis Dampak Sekunder dan Berantai.

Hasil analisis probabilistik dan deterministik memenuhi kriteria penerimaan.

A. Proses Penapisan Kejadian Awal Terpostulasi

Proses penapisan Kejadian Awal Terpostulasi dimaksudkan untuk mencegah struktur, sistem, dan komponen yang mempunyai tingkat resiko kegagalan rendah dimasukkan ke dalam analisis dan memastikan semua struktur, sistem, dan komponen yang mempunyai tingkat resiko kegagalan tinggi dimasukkan ke dalam analisis.

Proses penapisan Kejadian Awal Terpostulasi meliputi antara lain:

1. Identifikasi semua struktur, sistem, dan komponen yang dipertimbangkan sebagai sumber Kejadian Awal Terpostulasi Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan.

Dalam proses penapisan diawali dengan identifikasi semua struktur, sistem, dan komponen yang dipertimbangkan sebagai sumber Kejadian Awal Terpostulasi Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan. Contoh struktur –dan komponen dengan kemungkinan Kejadian Awal Terpostulasi yang dapat ditimbulkannya diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Contoh struktur dan komponen dan kemungkinan Kejadian Awal Terpostulasi yang dapat ditimbulkannya

Struktur dan Komponen	Kejadian Awal Terpostulasi
baut pengikat bejana (<i>vessel closure plugs</i>)	kegagalan bejana yang bertekanan

penyangga bejana	kegagalan bejana yang bertekanan
1. batang katup (<i>valve stem</i>); 2. <i>valve bonnet</i> ; atau 3. baut penahan (<i>retaining bault</i>).	kegagalan katup
1. komponen penggerak batang kendali	lontaran batang kendali
1. perangkat generator; 2. sudu turbin uap; 3. pompa; 4. motor pompa; 5. roda gila (<i>flywheel</i>); 6. sudu-sudu kipas (<i>fan blades</i>); 7. flens (<i>flanges</i>); dan 8. baut koping.	kegagalan peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi
1. menara pendingin; 2. cerobong; dan 3. gedung turbin	kegagalan struktur
1. dinding (<i>block walls</i>); 2. tangga; dan 3. perancah (<i>scaffolding</i>).	kegagalan non struktur
1. <i>crane</i> ; 2. kask pemindah; dan 3. beban yang diangkat <i>crane</i> .	jatuhnya peralatan yang berat
1. pipa sistem pendingin primer; 2. pipa sistem pendingin sekunder; 3. pipa sistem air umpan	pipa pecah
1. pipa sistem pendingin primer; 2. pipa sistem pendingin sekunder; 3. pipa sistem pembuang panas sisa	cambukan pipa
1. pipa sistem pendingin primer; 2. pipa sistem pendingin sekunder; 3. pembangkit uap (<i>steam generator</i>); 4. <i>pressurizer</i> ; dan 5. bejana tekan reaktor.	semburan
1. pipa sistim pendingin primer; 2. pipa sistem pendingin sekunder;	8. bocor atau pecahnya sistem primer atau sekunder; 9. bocor atau pecahnya sistem

<p>3. pembangkit uap; 4. bejana tekan reaktor; 5. pipa sistem pendingin teras darurat; 6. pipa sistem suplai air layanan; 7. pipa sistem pemadam kebakaran; dan 8. pipa sistem penyemprot pengungkung.</p>	<p>air pengumpan sekunder; 10. bocor atau pecahnya sistem pendingin teras darurat; 11. bocor atau pecahnya sistem suplai air layanan; 12. bocor atau pecahnya sistem pemadam kebakaran; dan 13. aktuasi palsu sistem <i>containment spray</i>, atau <i>automatic depressurization system (ADS)</i>.</p>
---	---

2. Identifikasi Kejadian Awal Terpostulasi .

Setelah semua struktur, sistem, dan komponen yang dipertimbangkan sebagai sumber Kejadian Awal Terpostulasi diidentifikasi selanjutnya dilakukan identifikasi Kejadian Awal Terpostulasi. Contoh Kejadian Awal Terpostulasi diberikan pada Tabel 2.

3. Pengelompokan Kejadian Awal Terpostulasi harus dikelompokkan berdasarkan sifatnya yang sama (atau hampir sama) yaitu:

- a. eskalasi kecelakaan sesudah kejadian awal;
- b. kriteria sukses sistem keselamatan;
- c. dampak kejadian awal terhadap ketersediaan dan operasi sistem keselamatan dan sistem pendukung, termasuk adanya sinyal yang akan mengaktuator tindakan proteksi atau menghentikan aktuasi sistem;
- d. respon operator instalasi yang diharapkan.

Contoh pengelompokan Kejadian Awal Terpostulasi diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Contoh Kejadian Awal Terpostulasi dan pengelompokannya

Kejadian Awal Terpostulasi	Kelompok Kejadian Awal Terpostulasi
<p>1. kegagalan bejana yang bertekanan; 2. kegagalan katup; 3. lontaran batang kendali; dan</p>	Misil

4. kegagalan peralatan yang berputar dengan kecepatan tinggi.	
1. kegagalan struktur; 2. kegagalan non struktur; dan 3. jatuhnya peralatan yang berat.	runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek
1. pipa pecah; 2. cambukan pipa; dan 3. semburan.	kegagalan pemipaan
1. bocor atau pecahnya sistem primer atau sekunder; 2. bocor atau pecahnya sistem air pengumpan sekunder; 3. bocor atau pecahnya sistem pendingin teras darurat; 4. bocor atau pecahnya sistem suplai air layanan; 5. bocor atau pecahnya sistem pemadam kebakaran; dan 6. aktuasi palsu sistem <i>containment spray</i> atau <i>automatic depressurization system</i>	banjir internal

B. Analisis Probabilistik Dan Deterministik

Analisis probabilistik dan deterministik dalam desain proteksi terhadap Bahaya Internal selain kebakaran dan ledakan pada B. Analisis.... meliputi:

1. analisis terhadap Misil ;
2. analisis terhadap runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek;
3. analisis terhadap kegagalan pemipaan; dan
4. analisis terhadap banjir internal.

B.1. Analisis terhadap Misil

Analisis probabilistik dan deterministik terhadap Misil meliputi paling sedikit:

- a. penentuan arah dan target yang mungkin tertumbuk oleh Misil yang terlontar dengan melakukan evaluasi terhadap mekanika retakan yang terjadi;
- b. evaluasi penambahan fitur penahan atau pembelok arah Misil ;
- c. penentuan arah pemasangan katup dalam sistem untuk mencegah tumbukan Misil pada target;
- d. penentuan tata letak komponen reaktor daya yang berpotensi menjadi Misil dengan mempertimbangkan arah terjadinya Misil dan penempatan komponen dalam struktur beton yang kuat;
- e. evaluasi penggunaan pipa pelindung yang tidak bertekanan di sekitar pipa yang membawa fluida bertekanan tinggi;
- f. analisis penggunaan penghalang antara sumber Misil dan targetnya untuk mengurangi probabilitas struktur, sistem, dan komponen yang terpengaruh dampak Kejadian Awal Terpostulasi yang meliputi analisis kecukupan penghalang, evaluasi pengaruh terbatas dan luas dari Misil pada penghalang. Pengaruh terbatas dari Misil mencakup: penetrasi, perforasi, pengeluaran blok beton atau *scabbing* dan *spallin*. Pengaruh luas dari Misil mencakup: kegagalan struktur atau *buckling* dalam *bending*, *tension* atau *shear*; dan
- g. analisis pengurangan konsekuensi tidak dapat diterima dengan melakukan analisis Dampak Sekunder pada target yang tidak menyebabkan kehilangan fungsi keselamatan.

B.2. Analisis terhadap Runtuhnya Struktur dan Jatuhnya Obyek

Analisis probabilistik dan deterministik terhadap runtuhnya B.2. Analisis... dan non struktur meliputi paling sedikit:

- a. analisis penyebab runtuhnya struktur dan non struktur baik karena alam atau ulah manusia;
- b. evaluasi kestabilan struktur dan non struktur;
- c. evaluasi beban mati dan beban dinamis dari struktur dan non struktur;
- d. evaluasi bahan struktur dan non struktur; dan
- e. penentuan arah, lokasi, dan target.

Analisis probabilistik dan deterministik terhadap jatuhnya obyek meliputi paling sedikit:

- a. analisis kegagalan peralatan pengangkat akibat beban berlebih karena terlampauinya standar beban kerja yang aman;
- b. analisis dampak propagasi retak akibat fatik;
- c. analisis korosi;

- d. analisis keausan komponen ;
- e. analisis integritas sistem proteksi terhadap beban berlebih; dan
- f. analisis struktur.

B.3. Analisis terhadap Kegagalan Pemipaan

Analisis terhadap kegagalan pemipaan terdiri dari:

- a. analisis terhadap pipa pecah;
- b. analisis terhadap cambukan pipa; dan
- c. analisis terhadap semburan.

Analisis probabilistik dan deterministik terhadap pipa pecah meliputi paling sedikit:

- a. analisis pecahnya pipa bertekanan tinggi secara tiba-tiba yang dipostulasikan untuk menentukan kemampuan sistem pendingin teras darurat dan penyungkup untuk menahan tekanan dengan asumsi tidak dilakukan kualifikasi:
 - 1) bocor sebelum pecah;
 - 2) *break preclusion*; dan
 - 3) probabilitas pipa pecah $> 10^{-7}$ pertahun.
- b. analisis luas kebocoran akibat pipa pecah berdasarkan diameter dan ketebalan pipa.

B.3.a. Analisis terhadap Cambukan Pipa

Analisis probabilistik dan deterministik terhadap cambukan pipa meliputi paling sedikit:

- 1) penentuan arah pergerakan dan geometri cambukan pipa pada cabang pipa yang dapat membahayakan struktur, sistem, dan komponen dan evaluasi energi kinetiknya.
- 2) analisis tumbukan mekanik pada struktur, sistem, dan komponen dengan menggunakan analisis dinamik berdasarkan:
 - a) kajian rinci transien sistem; dan
 - b) kajian keefektifan penahan cambukan pipa.
- 3) analisis karakteristik pipa patah yang mengakibatkan cambukan pipa meliputi:
 - a) desain sistem;
 - b) lokasi;
 - c) tipe patahan yang terpostulasi; dan
 - d) bahan pipa.

- 4) analisis terhadap dampak cambukan pipa ke pipa yang mempunyai desain serupa dengan diameter lebih kecil dan mengakibatkan kerusakan pada pipa target; dan
- 5) analisis dampak cambukan pipa yang memiliki tambahan massa (katup atau pipa orifis) terhadap pipa lain yang mempunyai diameter lebih besar.

B.3.b. Analisis terhadap Semburan

Analisis probabilistik dan deterministik terhadap semburan meliputi paling sedikit:

- 1) analisis identifikasi sumber semburan baik cair maupun gas;
- 2) evaluasi geometri (bentuk dan arah) dan parameter fisik (tekanan dan temperatur) semburan sebagai fungsi waktu dan ruang untuk tiap lokasi dan ukuran pecahan yang terpostulasi;
- 3) analisis interferensi antar semburan apabila terjadi lebih dari satu semburan; dan
- 4) evaluasi pengaruh gerakan sumber semburan (cambukan pipa) atau pengaruh lain (obyek disekitar lintasan semburan) terhadap semburan.

B.4. Analisis terhadap Banjir Internal

Analisis probabilistik dan deterministik terhadap banjir internal meliputi paling sedikit:

- a. identifikasi sumber banjir;
- b. evaluasi penyebab banjir baik yang disebabkan oleh kegagalan sistem maupun oleh kesalahan manusia;
- c. analisis kemungkinan pengumpulan cairan pada suatu lokasi tertentu;
- d. penentuan ketinggian cairan berdasarkan fungsi waktu untuk:
 - 1) ruangan sumber cairan; dan
 - 2) ruangan yang mempunyai pintu, selubung pipa (*pipe conduits*), retakan pada dinding atau lantai.
- e. evaluasi kemungkinan efek sifon dalam hal terjadinya pipa pecah yang terhubung dengan tangki atau kolam;
- f. evaluasi kemungkinan penyumbatan lubang saluran atau saringan akibat obyek (misalnya serpihan isolasi dan partikel korosi) yang terbawa banjir yang menyebabkan kondisi semakin parah; dan

- g. Analisis dampak banjir misalnya hubung singkat, kegagalan peralatan listrik, dan kenaikan tekanan dengan tiba-tiba (*pressure excursion*) akibat cairan bersentuhan dengan obyek panas.

C. Kriteria Penerimaan Analisis

Kriteria penerimaan untuk probabilitas keseluruhan dari konsekuensi yang tidak dapat diterima (P) adalah lebih besar 10^{-6} pertahun dengan asumsi:

1. probabilitas terjadinya Kejadian Awal Terpostulasi (P_1) rendah;
2. probabilitas struktur, sistem, dan komponen yang terpengaruh dampak Kejadian Awal Terpostulasi (P_2) rendah; atau
3. probabilitas konsekuensi tidak dapat diterima (P_3) rendah.

P adalah hasil perkalian P_1 , P_2 , dan P_3 ($P = P_1 \times P_2 \times P_3$).

Probabilitas keseluruhan dari konsekuensi tidak dapat diterima dihitung dengan mempertimbangkan paling sedikit:

1. redundansi;
2. kemungkinan kegagalan dengan penyebab sama; dan
3. ketaktersediaan komponen tertentu.

Kriteria penerimaan analisis deterministik adalah terpenuhinya fungsi keselamatan dasar yang meliputi:

1. mengendalikan reaktivitas;
2. memindahkan panas dari teras reaktor; dan
3. mengungkung zat radioaktif dan menahan radiasi.

D. Analisis Dampak Sekunder Dan Berantai

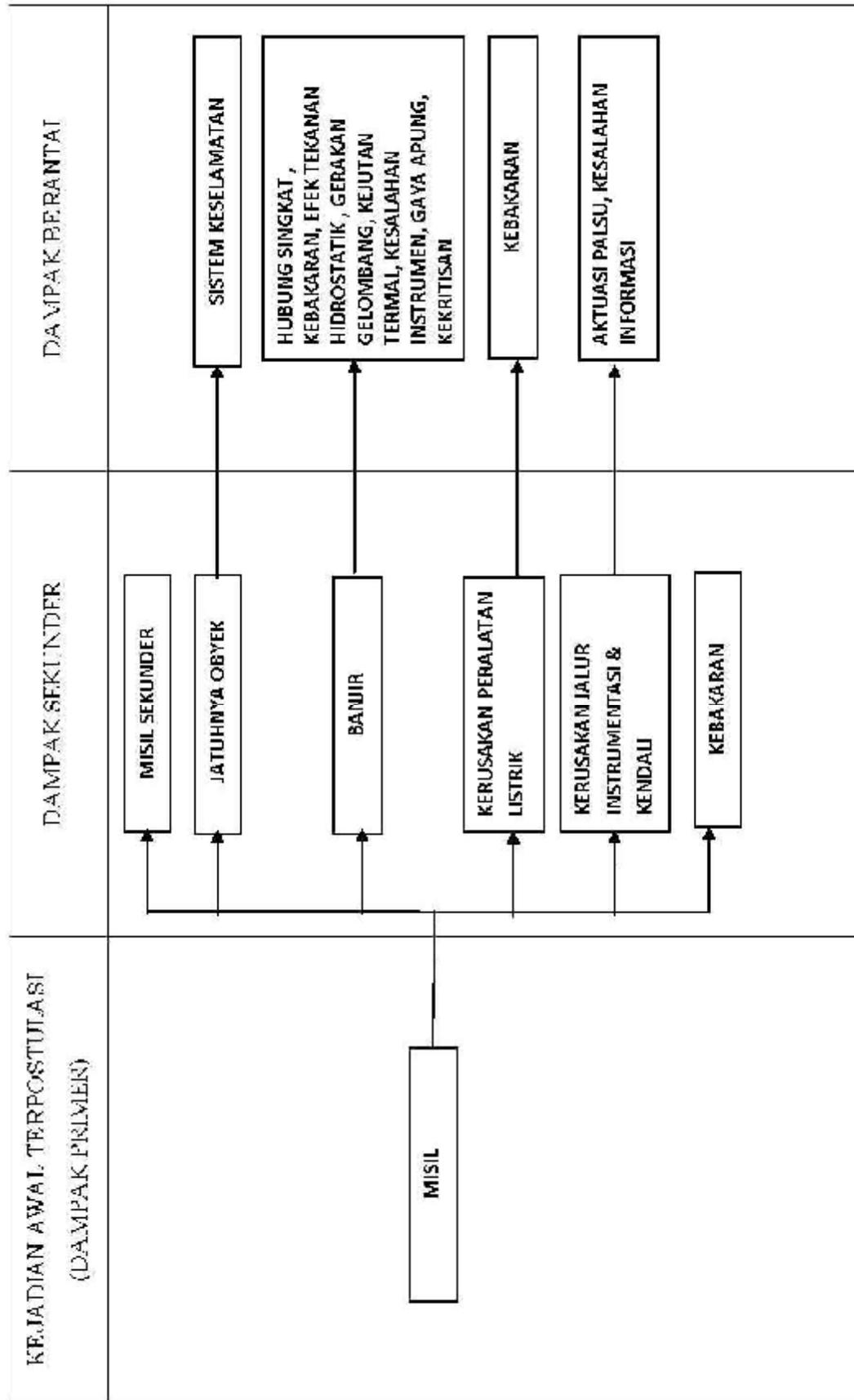
Analisis Dampak Sekunder dan Berantai dari Misil, kegagalan pemipaan, runtuhnya struktur dan jatuhnya obyek, dan banjir internal mengikuti analisis probabilistik dan deterministik.

Dampak Sekunder dan Berantai dapat berupa:

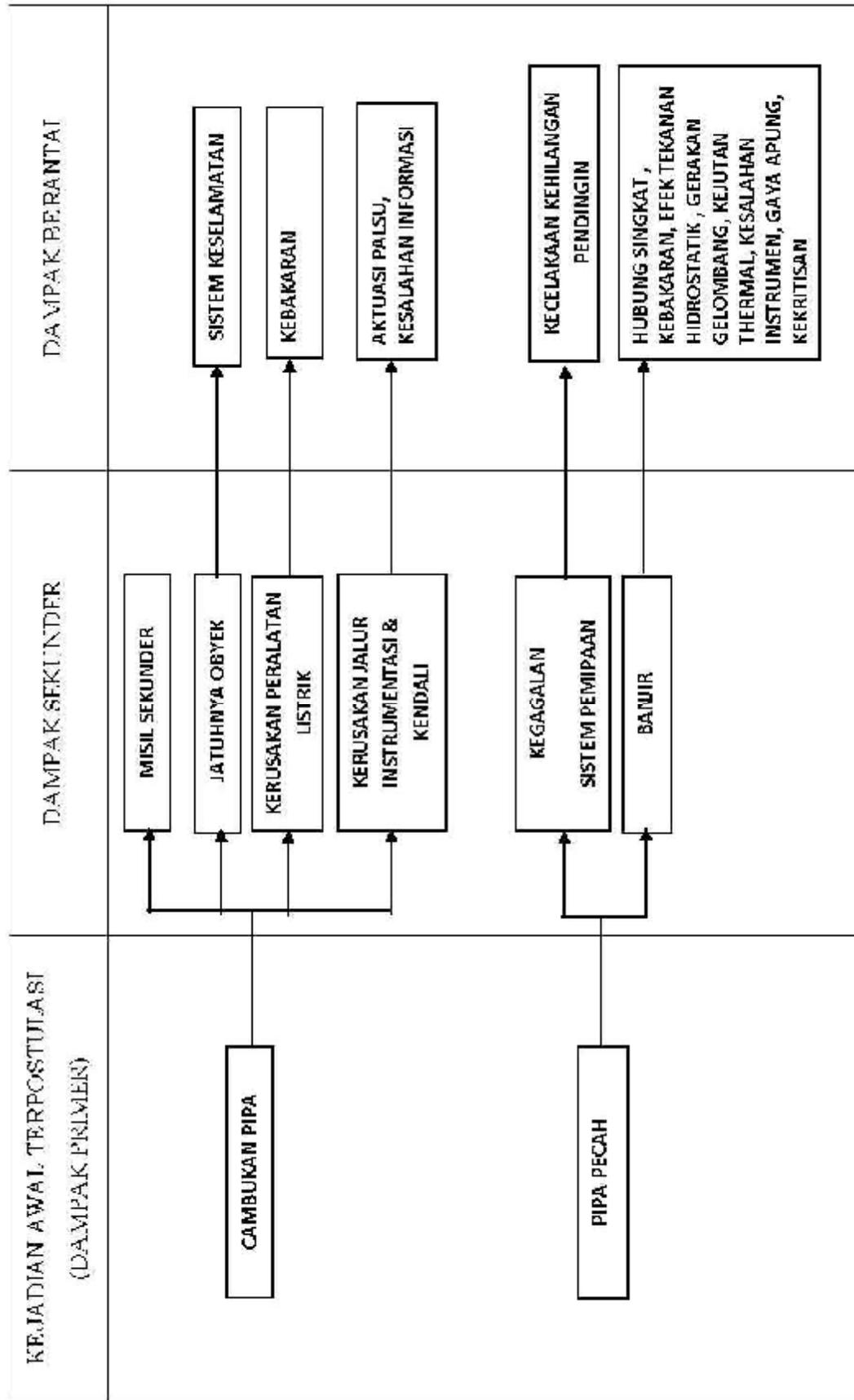
1. Misil sekunder;
2. benda jatuh;
3. kegagalan pemipaan;
4. banjir;
5. pelepasan radioaktif;
6. reaksi kimia;
7. kerusakan peralatan listrik;

8. kerusakan jalur instrumentasi dan kendali;
9. kebakaran; dan
10. korban manusia.

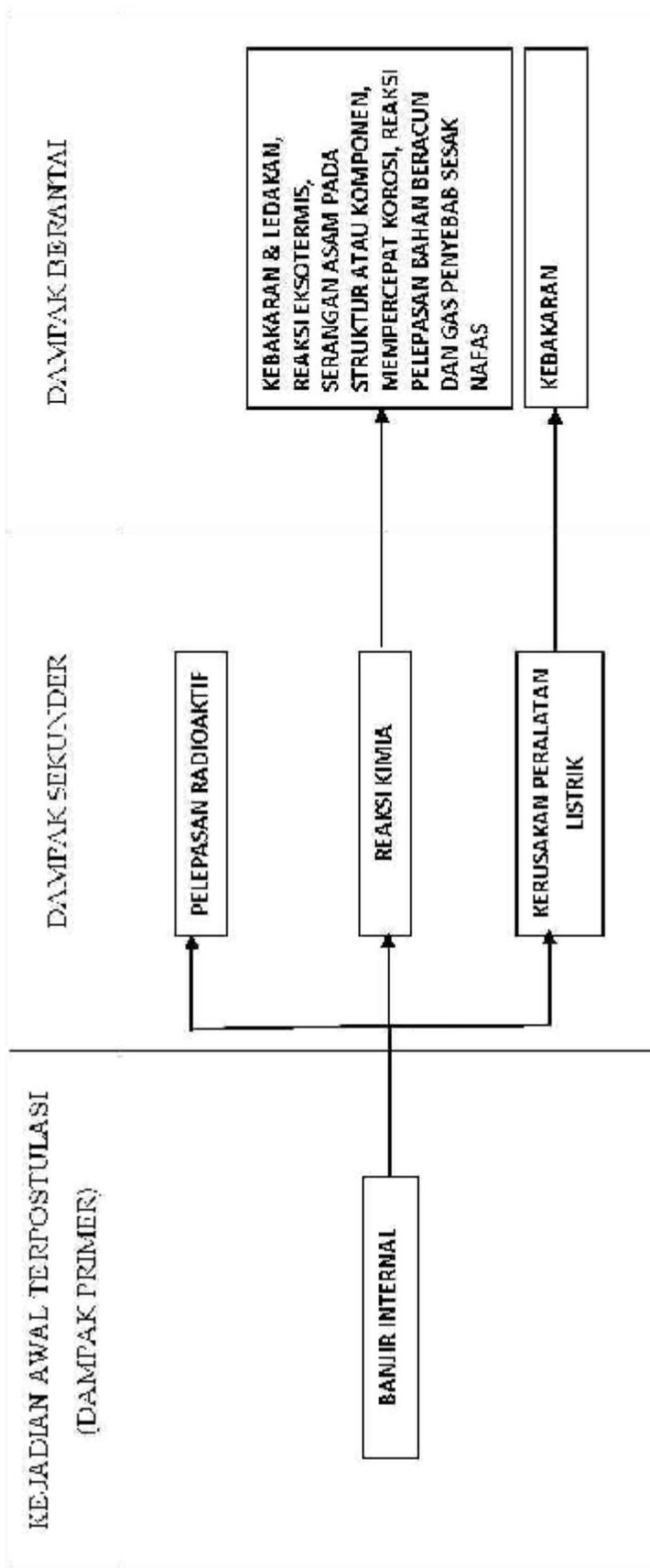
Contoh Dampak Sekunder dan Berantai diberikan dalam Gambar 1, 2, 3, dan 4.



Gambar 1. Contoh Dampak Sekunder dan Perantai untuk Kejadian Awal Terpostulasi Misil



Gambar 2. Contoh Dampak Sekunder dan Berantai untuk Kejadian Awal Terpostulasi cambukan pipa dan pipa pecah



Gambar 4. Contoh Dampak Sekunder dan Berantai untuk Kejadian Awal Terpostulasi banjir internal

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA,

AS NATIO LASMAN