

Analisis Deterministik dalam Prinsip Keselamatan Reaktor Nuklir

Surip Widodo

Research Center for Nuclear Reactor Technology National Research and
Innovation Agency (BRIN)

FTC on Reactor Engineering and Safety I

17 – 21 February 2025



Biodata

- Nama : Surip Widodo
- Kantor : Pusat Riset Teknologi Reaktor Nuklir - BRIN
- Jabatan : Peneliti Madya
- Kompetensi : Teknologi Keselamatan Reaktor
- Pendidikan:
 - S1 Teknik Nuklir, UGM, Indonesia (1988)
 - S2 M. Information Technology, Newcastle Uni, Australia (2002)
 - S3 Teknik Mesin, UI, Indonesia (2024)
- Pelatihan / Training:
 - Instructor Training Program - Reactor Engineering III, 2010



Content

- Analisis Keselamatan Deterministik
- Keadaan Reaktor Nuklir
- Peristiwa Pemicu
- Kriteria Penerimaan
- Jenis Analisis Keselamatan Deterministik
- Penerapan Analisis Keselamatan Deterministik

Analisis Keselamatan Deterministik

Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan bab ini, peserta pelatihan akan dapat:

1. Menjelaskan tujuan utama dari pelaksanaan analisis keselamatan.
2. Mengidentifikasi pihak yang bertanggung jawab atas pelaksanaan analisis keselamatan.
3. Menjelaskan tujuan utama/hasil dari penilaian keselamatan deterministik.

Tujuan Analisis Keselamatan

- Publikasi **Safety Fundamentals, Fundamental Safety Principles**, menetapkan prinsip-prinsip untuk memastikan perlindungan terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan, baik saat ini maupun di masa depan, dari dampak berbahaya radiasi pengion.
- Analisis keselamatan dilakukan sebagai upaya untuk mengevaluasi kepatuhan terhadap prinsip dan persyaratan keselamatan di semua fasilitas nuklir.
- Analisis ini harus dilaksanakan dan didokumentasikan oleh organisasi yang bertanggung jawab atas pengoperasian fasilitas, diverifikasi secara independen, dan diserahkan kepada badan pengawas sebagai bagian dari proses perizinan atau otorisasi.

Cara Melakukan Analisis Keselamatan Deterministik

- Penilaian Keselamatan Deterministik (*Deterministic Safety Assessment - DSA*) mempostulasikan sejumlah peristiwa pemicu (*postulated initiating events - PIE*) dan mensimulasikan respons fasilitas terhadap peristiwa-peristiwa tersebut.
- Penilaian keselamatan deterministik dilakukan dengan asumsi awal yang telah ditentukan mengenai kondisi operasional awal dan peristiwa pemicu, serta menggunakan seperangkat aturan dan kriteria penerimaan tertentu.
- DSA dapat dilakukan dengan pendekatan konservatif atau *best estimate*.

Manfaat yang Diberikan oleh Analisis Keselamatan Deterministik

Analisis keselamatan deterministik terutama memberikan:

- Penetapan dan konfirmasi dasar desain untuk semua komponen yang penting bagi keselamatan.
- Karakterisasi peristiwa pemicu yang dipostulasikan (*postulated initiating events* - PIE) yang sesuai dengan lokasi dan desain fasilitas.
- Analisis dan evaluasi rangkaian kejadian yang terjadi akibat peristiwa pemicu yang dipostulasikan.
- Perbandingan hasil analisis dengan batas dosis, batas penerimaan, dan batas desain.
- Demonstrasi bahwa pengelolaan kejadian operasional yang diantisipasi dan kondisi kecelakaan dasar desain dapat dilakukan melalui aktivasi otomatis sistem keselamatan.
- Demonstrasi bahwa pengelolaan kondisi perluasan desain dapat dilakukan melalui aktivasi sistem fasilitas yang dikombinasikan dengan tindakan operator yang telah ditetapkan.

Tujuan Keseluruhan Analisis Keselamatan

- Hasil analisis keselamatan memastikan, dengan tingkat kepercayaan yang tinggi, bahwa fasilitas akan beroperasi sesuai dengan desainnya dan memenuhi semua kriteria penerimaan desain saat *commissioning* serta sepanjang masa operasional fasilitas.

KEADAAN REAKTOR NUKLIR

Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan bab ini, peserta pelatihan akan dapat:

1. Menjelaskan berbagai keadaan fasilitas PLTN.
2. Membedakan antara keadaan operasional normal dan kondisi kecelakaan.
3. Membedakan antara kecelakaan dasar desain dan kondisi perluasan desain (*design extension conditions*).

Jenis-Jenis Keadaan Fasilitas (Reaktor Nuklir)

- **Keadaan fasilitas** untuk pembangkit listrik tenaga nuklir ditetapkan dalam IAEA SSR 2/1.
- Keadaan ini dibagi menjadi **keadaan operasional** dan **kondisi kecelakaan**.
- **Keadaan operasional** mencakup operasi normal serta kejadian operasional yang diantisipasi.
- **Kondisi kecelakaan** mencakup kecelakaan dalam batas desain (*design basis accidents*) dan kondisi perluasan desain (*design extension conditions*).
- Di masa lalu, kondisi perluasan desain disebut sebagai **kondisi kecelakaan di luar batas desain** (*Beyond Design Basis Accidents*).
- **Kondisi perluasan desain** mencakup **kondisi kecelakaan parah** (*severe accident conditions**), yang ditandai dengan degradasi signifikan pada teras reaktor.

Jenis-Jenis Keadaan Fasilitas

Keadaan Operasional		Kondisi Kecelakaan	
Operasi normal	Kejadian operasional yang diantisipasi (<i>Anticipated operational occurrences</i>)	Kecelakaan dalam batas desain (<i>Design basis accidents</i>)	Kondisi perluasan desain (<i>Design extension conditions</i>)

Operasi Normal

- **Operasi normal**** didefinisikan sebagai operasi yang berlangsung dalam batas dan kondisi operasional yang telah ditentukan.
- Analisis deterministik diterapkan pada operasi normal dengan tujuan menunjukkan bahwa operasi dapat dilakukan dengan aman.
- Analisis ini mencakup:
 - Dosis yang dapat diterima bagi pekerja dan masyarakat.
 - Pelepasan material radioaktif yang direncanakan dalam batas yang dapat diterima.
- Analisis juga harus menunjukkan bahwa selama operasi normal, parameter fasilitas tetap berada dalam batas yang dapat diterima.

Kejadian Operasional yang Diantisipasi

- **Kejadian operasional yang diantisipasi** (*Anticipated Operational Occurrence - AOO*) adalah proses operasional yang menyimpang dari operasi normal dan diperkirakan akan terjadi setidaknya sekali selama masa operasional fasilitas.
- Karena adanya ketentuan desain yang tepat, kejadian ini tidak menyebabkan kerusakan signifikan pada komponen yang penting bagi keselamatan atau mengarah pada kondisi kecelakaan.
- Kejadian semacam ini berpotensi menantang keselamatan fasilitas, tetapi berkat ketentuan desain yang tepat, kejadian ini tidak menyebabkan kerusakan bahan bakar yang signifikan dan, oleh karena itu, tidak menimbulkan dampak di luar lokasi (*offsite consequences*).

Kecelakaan dalam Batas Desain

- **Kecelakaan dalam batas desain** (*Design Basis Accidents* - DBAs) adalah kondisi kecelakaan yang menjadi dasar perancangan fasilitas sesuai dengan kriteria desain yang telah ditetapkan.
- Pada DBAs, kerusakan bahan bakar dan pelepasan material radioaktif tetap berada dalam batas yang diizinkan.
- DBAs tidak diharapkan terjadi selama masa operasional fasilitas, tetapi memiliki probabilitas yang cukup tinggi sehingga secara wajar dipertimbangkan sebagai uji terhadap desain keselamatan fasilitas.
- Peluang terjadinya DBAs diperkirakan lebih dari 1% selama masa operasional fasilitas, meskipun desain modern telah mengurangi frekuensi kejadiannya hingga di bawah nilai tersebut.

Kondisi Perluasan Desain

- Analisis deterministik juga harus dilakukan untuk **kondisi perluasan desain** (*Design Extension Conditions* - DECs) dan **kecelakaan parah** (*Severe Accidents* - SAs).
- **DECs** didefinisikan sebagai kondisi kecelakaan yang tidak termasuk dalam kecelakaan dalam batas desain (*Design Basis Accidents* - DBAs), tetapi tetap dipertimbangkan dalam proses perancangan fasilitas sesuai dengan metodologi *best estimate*.
- Pada **DECs**, pelepasan material radioaktif tetap berada dalam batas yang dapat diterima.
- Kecelakaan semacam ini memiliki frekuensi kejadian yang sangat rendah, sehingga secara historis tidak dianggap sebagai bagian dari batas desain.

Kondisi Perluasan Desain: Kecelakaan Parah

- Beberapa desain terbaru telah mencakup fitur-fitur untuk mengurangi konsekuensi kecelakaan parah (*Severe Accidents - SAs*).
- Tujuan utama adalah meminimalkan atau secara praktis menghilangkan kebutuhan penerapan tindakan perlindungan bagi masyarakat di luar lokasi fasilitas.
- Analisis **kondisi perluasan desain** (*Design Extension Conditions - DEC*s) dilakukan dengan menggunakan kode dan data *best estimate*, serta disertai analisis ketidakpastian, yang bisa sangat besar.
- Berbeda dengan analisis operasi normal, **kejadian operasional yang diantisipasi** (*Anticipated Operational Occurrences - AOO*s), dan **kecelakaan dalam batas desain** (*Design Basis Accidents - DBA*s), yang memiliki kriteria penerimaan yang jelas, hingga saat ini belum ada kriteria deterministik yang diterima secara umum untuk kecelakaan parah (*Severe Accidents - SAs*).

PERISTIWA PEMICU

Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan bab ini, peserta pelatihan akan dapat:

1. Menyebutkan peristiwa pemicu yang dipostulasikan (*Postulated Initiating Events - PIE*), baik internal maupun eksternal, serta kemungkinan pengelompokannya.
2. Menjelaskan dasar pengelompokan peristiwa pemicu.
3. Membedakan antara peristiwa pemicu yang diharapkan, mungkin terjadi, tidak mungkin terjadi, dan sangat jarang terjadi.

Peristiwa Pemicu yang Dipostulasikan (*Postulated Initiating Events - PIEs*)

- Baik analisis deterministik maupun probabilistik dimulai dengan mengidentifikasi serangkaian **peristiwa pemicu yang dipostulasikan** (*Postulated Initiating Events - PIEs*).
- **PIE** adalah suatu peristiwa yang mengganggu operasi normal fasilitas dan dapat menyebabkan **kejadian operasional yang diantisipasi** (*Anticipated Operational Occurrence - AOO*) atau **kondisi kecelakaan**.
- **PIEs** dapat mencakup:
 - **Peristiwa internal**, seperti kegagalan peralatan atau kesalahan manusia.
 - **Peristiwa eksternal**, seperti gempa bumi atau banjir.

Peristiwa Pemicu Internal yang Dipostulasikan (*Internal Postulated Initiating Events - PIEs*)

- **PIEs internal** adalah peristiwa yang berasal dari dalam fasilitas dan menantang sistem kendali serta keselamatan yang telah dirancang.
- Beberapa peristiwa yang secara fisik berasal dari luar lokasi, seperti **kehilangan daya dari luar fasilitas** (*loss of offsite power*), biasanya tetap dianggap sebagai peristiwa internal jika peristiwa tersebut menantang sistem keselamatan internal.

Kategorisasi Peristiwa Pemicu Internal (PIEs)

- Peristiwa pemicu internal biasanya termasuk dalam salah satu kategori berikut:
 - Peningkatan atau penurunan pelepasan panas dari sistem pendingin reaktor.
 - Peningkatan atau penurunan aliran pendingin reaktor.
 - Peningkatan atau penurunan tekanan dalam sistem pendingin reaktor.
 - Peningkatan atau penurunan inventaris pendingin reaktor, termasuk kegagalan pada batas tekanan pendingin primer.
 - Anomali reaktivitas dan distribusi daya yang menyebabkan perubahan operasi daya teras reaktor.
- Selain itu, peristiwa yang menyebabkan pelepasan radionuklida dari suatu sistem atau komponen, meskipun tidak secara langsung termasuk dalam kategori di atas, juga harus dipertimbangkan.

Peristiwa Eksternal

- **Peristiwa eksternal** biasanya berasal dari luar fasilitas dan mencakup peristiwa alami maupun yang disebabkan oleh manusia.
- Peristiwa eksternal dapat memicu peristiwa pemicu internal serta berpotensi menonaktifkan peralatan keselamatan.
- Contoh peristiwa eksternal meliputi:
 - Gempa bumi;
 - Tornado, angin topan, siklon, kebakaran, suhu tinggi atau rendah, hujan salju ekstrem, dan kondisi cuaca buruk lainnya;
 - Banjir;
 - Kecelakaan pesawat, kebakaran eksternal, ledakan, atau pelepasan material berbahaya.

Batasan Urutan Kecelakaan dan Pengelompokan Peristiwa Pemicu

- Setelah peristiwa pemicu terjadi, perlu dipertimbangkan kemungkinan kegagalan fasilitas yang dapat terjadi sebagai akibatnya.
- Hal ini mengarah pada identifikasi sejumlah besar kemungkinan urutan kecelakaan, yang tidak praktis untuk dianalisis semuanya.
- Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi sejumlah urutan kecelakaan terbatas yang dapat mewakili (*bounding*) semua urutan lain dalam kategori yang sama untuk dianalisis.
- Urutan kecelakaan yang dipilih harus mewakili skenario yang paling menantang terhadap kriteria penerimaan yang relevan dibandingkan dengan semua urutan dalam kelompoknya.

Kemungkinan Pengelompokan Peristiwa Pemicu yang Dipostulasikan

Occurrence (1/reactor year)	Characte- ristics	Plant state	Terminology	Acceptance criteria
$10^{-2} - 1$ (Expected over the lifetime of the plant)	Expected	Anticipated operational occurrences	Anticipated transients, transients, frequent faults, incidents of moderate frequency, upset conditions, abnormal conditions	No additional fuel damage
$10^{-4} - 10^{-2}$ (Chance greater than 1% over the lifetime of the plant)	Possible	Design basis accidents	Infrequent incidents, infrequent faults, limiting faults, emergency conditions	No radiological impact at all or no radiological impact outside the exclusion area
$10^{-6} - 10^{-4}$ (Chance less than 1% over the lifetime of the plant)	Unlikely	Beyond design basis accidents	Faulted conditions	Radiological consequences outside exclusion area within limits
$< 10^{-6}$ (Very unlikely to occur)	Remote	Severe accidents	Faulted conditions	Emergency response needed

KRITERIA PENERIMAAN

Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan bab ini, peserta pelatihan akan dapat:

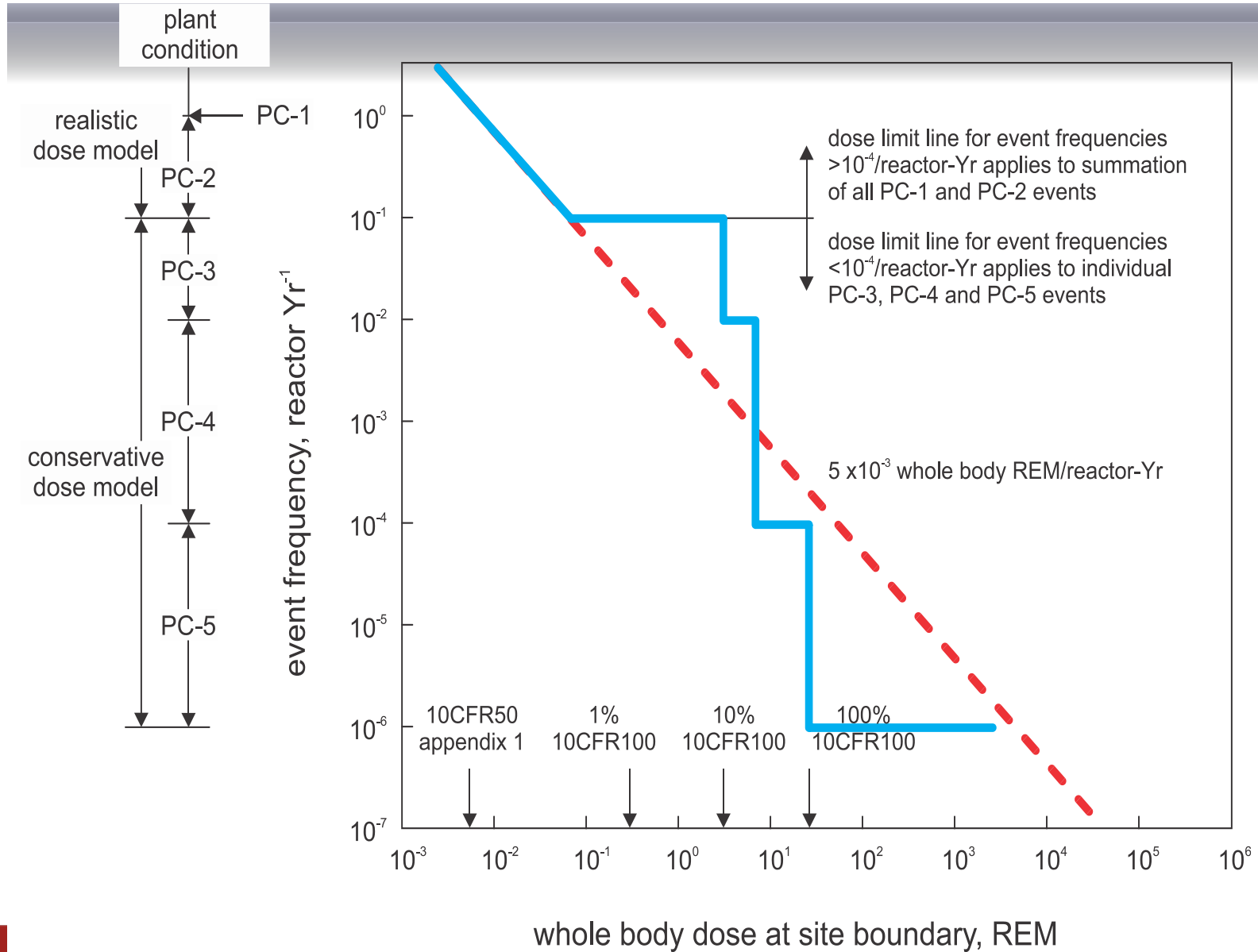
1. Menjelaskan kriteria penerimaan untuk analisis keselamatan deterministik.
2. Membedakan antara kriteria penerimaan dasar dan kriteria penerimaan turunan.
3. Menyebutkan kriteria penerimaan turunan yang paling umum digunakan untuk **Sistem Pendingin Darurat Teras** (*Emergency Core Cooling Systems - ECCS*) pada Reaktor Air Ringan (*Light Water Reactors - LWRs*).

Kriteria Penerimaan Dasar dan Turunan

- **Kriteria penerimaan dasar** biasanya didefinisikan sebagai batas dan kondisi yang harus dipenuhi untuk memastikan tingkat keselamatan yang memadai.
- Kriteria ini umumnya ditetapkan oleh badan pengawas.
- Kriteria ini dilengkapi dengan persyaratan lain yang dikenal sebagai **kriteria penerimaan turunan** (*derived acceptance criteria*).
- Kriteria turunan ini bertujuan untuk memastikan **pertahanan berlapis** (*defence in depth*), misalnya dengan mencegah kegagalan lanjutan pada batas tekanan selama suatu kecelakaan.

Jenis Kriteria Penerimaan Dasar

- Kriteria penerimaan dasar, seperti kriteria dosis radiasi, harus dikaitkan dengan frekuensi peristiwa pemicu atau urutan pemicu, tergantung pada pendekatan yang digunakan.
- Kriteria penerimaan harus ditetapkan untuk seluruh rentang **keadaan operasional** dan **kondisi kecelakaan**.
- Kriteria penerimaan dapat dikaitkan dengan **frekuensi peristiwa**.
- **Peristiwa yang terjadi lebih sering**, seperti **kejadian operasional yang diantisipasi** (*Anticipated Operational Occurrences - AOO*), harus memiliki kriteria penerimaan yang lebih ketat dibandingkan dengan peristiwa yang lebih jarang terjadi, seperti **kecelakaan dalam batas desain** (*Design Basis Accidents - DBAs*).



Penggunaan Variabel Pengganti

- Kriteria penerimaan harus ditetapkan berdasarkan variabel atau parameter yang secara langsung mengendalikan proses fisik yang dapat mengancam integritas suatu **penghalang**.
- Namun, dalam praktik rekayasa, penggunaan **variabel pengganti** sering diterapkan untuk menetapkan kriteria penerimaan. Jika nilai variabel ini tidak terlampaui, maka integritas penghalang akan tetap terjaga.
- **Contoh variabel pengganti** meliputi:
 - **Suhu selubung bahan bakar maksimum** (*Peak Cladding Temperature - PCT*);
 - **Rasio penyimpangan dari pendidihan nukleat** (*Departure from Nucleate Boiling Ratio - DNBR*) atau **kenaikan entalpi pelet bahan bakar**.
- Dalam mendefinisikan kriteria penerimaan ini, harus dimasukkan tingkat **konservatisme** yang cukup tinggi untuk memastikan adanya **batas keselamatan yang memadai** di luar kriteria penerimaan guna mengantisipasi ketidakpastian.

Kriteria Penerimaan Turunan

- Kriteria penerimaan yang umum digunakan (**kriteria penerimaan turunan**) meliputi:
 - **Batas numerik** pada nilai variabel yang dihitung (misalnya, suhu maksimum selubung bahan bakar, tingkat oksidasi selubung bahan bakar);
 - **Kondisi keadaan fasilitas** selama dan setelah kecelakaan (misalnya, pembatasan daya berdasarkan aliran pendingin melalui teras reaktor, pencapaian kondisi aman jangka panjang);
 - **Persyaratan kinerja** untuk struktur, sistem, dan komponen (misalnya, laju aliran injeksi pendingin);
 - **Persyaratan tindakan operator**, dengan mempertimbangkan kondisi spesifik selama kecelakaan (misalnya, keandalan sistem alarm dan kelayakan lingkungan di area kendali).

Contoh Kriteria Penerimaan Turunan

- Contoh kriteria penerimaan turunan dapat ditemukan dalam **peraturan US NRC 10 CFR 50.46** untuk **Sistem Pendingin Darurat Teras** (*Emergency Core Cooling Systems - ECCS*) pada **Reaktor Air Ringan** (*Light Water Reactors - LWRs*).
- Peraturan ini menetapkan batas keselamatan yang harus dipastikan dalam kondisi **Kecelakaan Kehilangan Pendingin** (*Loss of Coolant Accident - LOCA*), yaitu:
 - **Suhu maksimum selubung zircaloy: 1204°C;**
 - **Oksidasi maksimum selubung bahan bakar: 17%;**
 - **Jumlah maksimum hidrogen** yang dihasilkan dari reaksi kimia antara kelongsong zircaloy dengan air atau uap: 1%;
 - **Geometri teras yang dapat didinginkan;**
 - **Pendinginan jangka panjang.**
- Kepatuhan terhadap kriteria penerimaan ini harus selalu dibuktikan dalam aplikasi perizinan.

Pelengkap Kriteria Penerimaan

- Kriteria penerimaan untuk **kecelakaan dalam batas desain** (*Design Basis Accidents - DBAs*) dapat dilengkapi dengan kriteria yang berkaitan dengan **kecelakaan berat** (*Severe Accidents - SAs*) dan **kondisi perpanjangan desain** (*Design Extension Conditions - DEC*s).
- Kriteria tambahan ini umumnya mencakup:
 - **Frekuensi kerusakan teras reaktor** (*Core Damage Frequency - CDF*);
 - **Pencegahan kerusakan lanjutan pada bangunan pelindung reaktor** (*Containment*);
 - **Frekuensi pelepasan besar dan dini** (*Large Early Release Frequency - LERF*);
 - **Probabilitas skenario yang memerlukan tindakan darurat di luar lokasi fasilitas**;
 - **Pembatasan pelepasan radionuklida spesifik, seperti Cs-137**;
 - **Batas dosis atau risiko terhadap individu yang paling terpapar.**

JENIS ANALISIS KESELAMATAN DETERMINISTIK

Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan bab ini, peserta pelatihan akan mampu:

1. Menyebutkan **4 opsi** yang tersedia untuk perhitungan deterministik.
2. Membedakan antara **perhitungan konservatif** dan **perkiraan terbaik** (*best estimate*).
3. Menjelaskan perbedaan dalam **penentuan ketersediaan sistem keselamatan** antara opsi **konservatif** dan opsi berbasis **Analisis Keselamatan Probabilistik** (*Probabilistic Safety Assessment - PSA*).

Jenis Analisis Keselamatan Deterministik

- **Panduan Keselamatan Spesifik IAEA No. 2** menjelaskan berbagai jenis analisis keselamatan deterministik.
- Terdapat tiga pendekatan utama dalam menganalisis **kejadian operasional yang diantisipasi** (*Anticipated Operational Occurrences - AOO*) dan **kecelakaan dalam batas desain** (*Design Basis Accidents - DBA*) untuk menunjukkan bahwa persyaratan keselamatan telah dipenuhi:

Jenis Analisis Keselamatan Deterministik (lanjut)

- Terdapat tiga pendekatan utama :

1. Analisis Konservatif

Menggunakan **kode komputer konservatif** dengan kondisi awal dan batas yang **konservatif**.

2. Analisis Kombinasi

Menggunakan **kode komputer perkiraan terbaik** (*best estimate*) yang dikombinasikan dengan **kondisi awal dan batas konservatif**.

3. Analisis Perkiraan Terbaik (*Best Estimate Analysis*)

- Menggunakan **kode komputer perkiraan terbaik** dengan data input yang **konservatif dan/atau realistis**.
- Dikombinasikan dengan **evaluasi ketidakpastian** terhadap hasil perhitungan, termasuk ketidakpastian dalam **data input** dan **model dalam kode komputer perkiraan terbaik**.
- Dalam evaluasi keselamatan, digunakan **nilai konservatif dari parameter relevan** yang mencerminkan tingkat ketidakpastian yang telah dikuantifikasi.

Opsi untuk Mengombinasikan Kode Komputer dengan Data Input

Option	Computer code	Availability of systems	Initial and boundary conditions
1. Conservative	Conservative	Conservative assumptions	Conservative input data
2. Combined	Best estimate	Conservative assumptions	Conservative input data
3. Best estimate	Best estimate	Conservative assumptions	Realistic plus uncertainty; partly most unfavourable conditions ^[1]
4. Risk informed	Best estimate	Derived from probabilistic safety analysis	Realistic input data with uncertainties ¹

^[1]Realistic input data are used only if the uncertainties or their probabilistic distributions are known. For those parameters whose uncertainties are not quantifiable with a high level of confidence, conservative values should be used

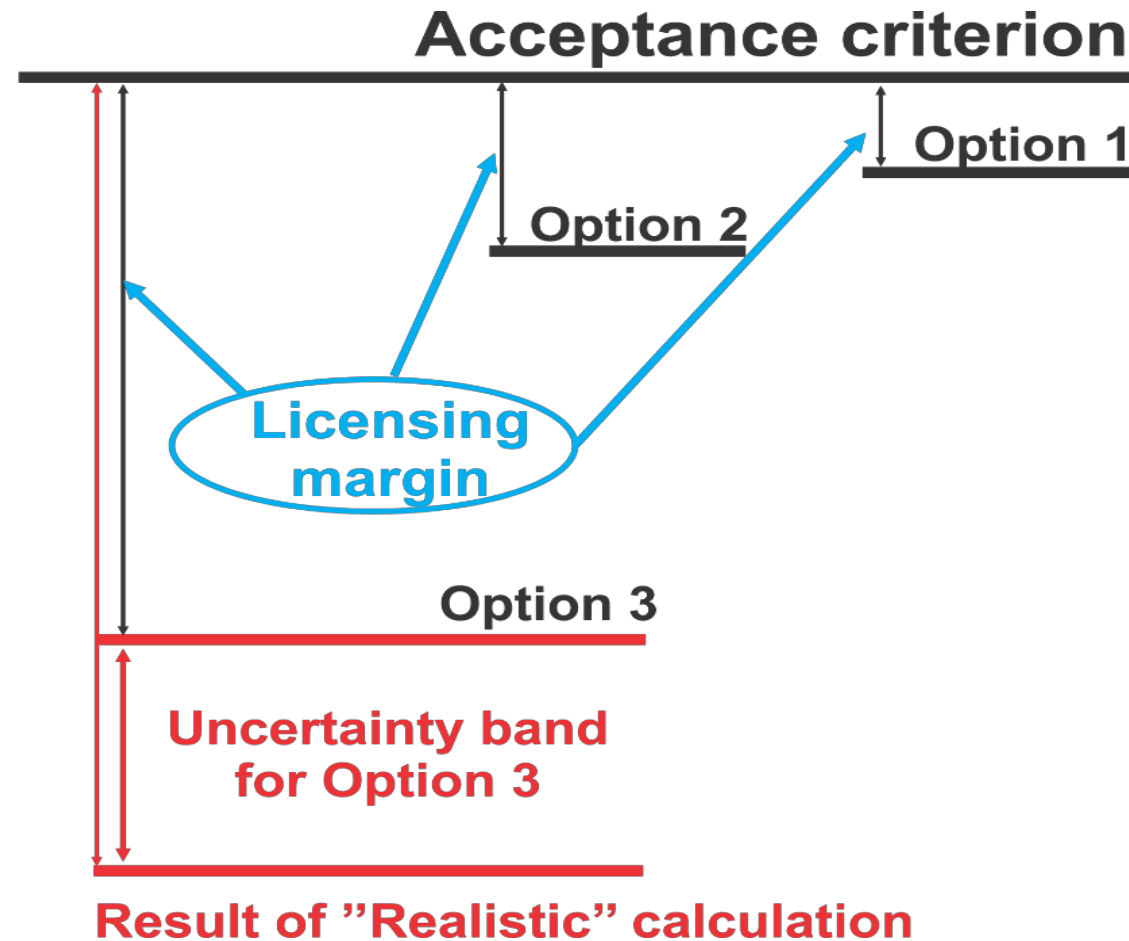
Penggunaan Opsi 2 dan 3 dalam Analisis Keselamatan Deterministik

- Secara prinsip, **Opsi 2** dan **Opsi 3** merupakan jenis analisis yang **berbeda secara jelas**.
- Namun, dalam praktiknya, kombinasi antara **Opsi 2** dan **Opsi 3** sering digunakan.
- Hal ini dikarenakan:
 - Jika **data yang tersedia cukup banyak**, maka cenderung digunakan **data input yang realistis**.
 - Jika **data yang tersedia terbatas**, maka cenderung digunakan **data input yang konservatif**.

Penggunaan Opsi 4 dalam Analisis Keselamatan Deterministik

- **Opsi 4** belum banyak digunakan secara luas.
- Opsi ini mencoba **mengombinasikan wawasan dari analisis keselamatan probabilistik** dengan pendekatan deterministik, yang menghasilkan **analisis keselamatan berbasis informasi risiko** (*risk-informed safety analysis*).
- Dalam **Opsi 1 – 3**, ketersediaan sistem keselamatan didasarkan pada **asumsi konservatif**, sedangkan dalam **Opsi 4**, ketersediaan sistem keselamatan **ditentukan melalui metode probabilistik**.

Ilustrasi Margin Perizinan untuk Berbagai Opsi.



PENERAPAN ANALISIS KESELAMATAN DETERMINISTIK

Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan bab ini, peserta pelatihan akan dapat:

1. Menjelaskan penggunaan analisis keselamatan deterministik dalam desain PLTN.
2. Menjelaskan penggunaan analisis keselamatan deterministik dalam perizinan PLTN.
3. Menjelaskan penggunaan analisis keselamatan deterministik dalam penilaian laporan analisis keselamatan untuk PLTN.
4. Menjelaskan penggunaan analisis keselamatan deterministik dalam analisis kejadian operasional di PLTN.
5. Menjelaskan penggunaan analisis keselamatan deterministik dalam pengembangan **Prosedur Operasi Darurat (EOPs)** dan **Panduan Manajemen Kecelakaan (SAMGs)** untuk PLTN.
6. Menjelaskan penggunaan analisis keselamatan deterministik dalam konteks **tinjauan keselamatan berkala**.

Bidang Penerapan

- Analisis keselamatan deterministik harus dilakukan untuk bidang-bidang berikut:
- **Desain pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN).**
 - Analisis ini memerlukan pendekatan konservatif atau analisis estimasi terbaik (*best estimate*) yang disertai dengan evaluasi ketidakpastian.
- **Pembuatan laporan analisis keselamatan baru atau revisi untuk tujuan perizinan**, termasuk mendapatkan persetujuan dari badan pengawas untuk modifikasi pada fasilitas dan operasi PLTN.
 - Untuk aplikasi ini, di banyak negara (meskipun tidak semua), metode konservatif serta metode estimasi terbaik dengan evaluasi ketidakpastian dapat digunakan.
- **Penilaian laporan analisis keselamatan oleh badan pengawas.**
 - Untuk aplikasi ini, di banyak negara (meskipun tidak semua), metode konservatif serta metode estimasi terbaik dengan evaluasi ketidakpastian dapat digunakan.

Penerapan pada Desain Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

- Basis desain untuk komponen yang penting bagi keselamatan harus ditetapkan dan dikonfirmasi melalui penilaian keselamatan yang komprehensif.
- Basis desain mencakup persyaratan desain untuk struktur, sistem, dan komponen yang harus dipenuhi guna memastikan operasi PLTN yang aman serta untuk mencegah atau mengurangi dampak kejadian yang dapat membahayakan keselamatan.
- Sebagai contoh, analisis deterministik dilakukan untuk menentukan tekanan dan suhu yang harus dapat ditahan oleh komponen sistem pendingin primer.

Penerapan pada Perizinan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

- Penggunaan analisis keselamatan deterministik dalam pengembangan desain dan **perizinan PLTN** sangat berkaitan erat.
- PLTN harus dirancang agar memenuhi semua **peraturan dan standar yang berlaku**, dan kepatuhan ini harus ditunjukkan dalam laporan analisis keselamatan untuk memperoleh izin pembangunan dan operasi.
- Analisis yang disajikan dalam laporan analisis keselamatan harus mencerminkan kondisi desain terkini dan disusun sedemikian rupa sehingga menunjukkan kepada **badan pengawas** bahwa semua **persyaratannya** telah **dipenuhi**.

Penerapan pada Penilaian Laporan Analisis Keselamatan

- **Organisasi pengelola** harus memastikan bahwa **verifikasi independen terhadap penilaian keselamatan** dilakukan oleh individu atau kelompok yang terpisah dari mereka yang melakukan perancangan, sebelum desain diajukan ke badan pengawas.
- **Analisis independen tambahan** terhadap aspek-aspek tertentu juga dapat dilakukan oleh atau atas nama **badan pengawas**.

Penerapan dalam Modifikasi Pembangkit

- Modifikasi pada pembangkit listrik tenaga nuklir yang ada biasanya dilakukan untuk:
 - Mengatasi penuaan pembangkit;
 - Membuktikan kelayakan operasionalnya yang berkelanjutan;
 - Memanfaatkan perkembangan teknologi; atau
 - Mematuhi perubahan peraturan dan regulasi yang berlaku.

Penerapan dalam Analisis Kejadian Operasional

- Analisis terhadap kejadian nyata yang terjadi pada pembangkit listrik tenaga nuklir yang beroperasi merupakan cara yang sangat penting untuk menentukan sejauh mana analisis deterministik yang telah dilakukan secara akurat merepresentasikan perilaku pembangkit.
- Analisis semacam itu harus menjadi bagian integral dari umpan balik berdasarkan pengalaman operasional.

Penerapan dalam Pengembangan dan Validasi Prosedur Operasi Darurat (EOPs)

- Analisis keselamatan deterministik dengan estimasi terbaik harus dilakukan untuk mengonfirmasi strategi yang telah dikembangkan guna memulihkan kondisi operasi normal di pembangkit setelah kejadian transien akibat kejadian operasional yang diantisipasi dan kecelakaan dasar perancangan.
- Strategi ini tercermin dalam prosedur operasi darurat yang mendefinisikan tindakan yang harus diambil selama kejadian tersebut.
- Setelah prosedur operasi darurat dikembangkan, analisis validasi harus dilakukan.
- Analisis ini biasanya dilakukan dengan menggunakan simulator yang telah terverifikasi.

Penerapan dalam Pengembangan Panduan Manajemen Kecelakaan Parah (SAMGs)

- Analisis keselamatan deterministik juga harus dilakukan untuk membantu pengembangan strategi yang harus diikuti oleh operator jika prosedur operasi darurat gagal mencegah terjadinya kecelakaan parah.
- Analisis ini harus dilakukan dengan menggunakan satu atau lebih kode komputer khusus yang tersedia untuk memodelkan fenomena fisika yang relevan.

Tinjauan Keselamatan Berkala

- Analisis deterministik baru mungkin diperlukan untuk menyempurnakan analisis keselamatan sebelumnya dalam konteks tinjauan keselamatan berkala guna memastikan bahwa penilaian dan kesimpulan awal masih berlaku.
- Dalam analisis tersebut, harus diperhitungkan setiap margin keselamatan yang mungkin telah berkurang dan terus berkurang akibat penuaan selama periode yang dipertimbangkan.
- Analisis estimasi terbaik bersama dengan evaluasi ketidakpastian dapat digunakan untuk menunjukkan bahwa margin yang tersisa masih memadai.

Terima Kasih

suri003@brin.go.id

081287528971