

KESELAMATAN NUKLIR

Haryo Seno

Pelatihan Operator dan Supervisor Reaktor Non Daya

17 Februari – 12 Maret 2025

Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN - 2025

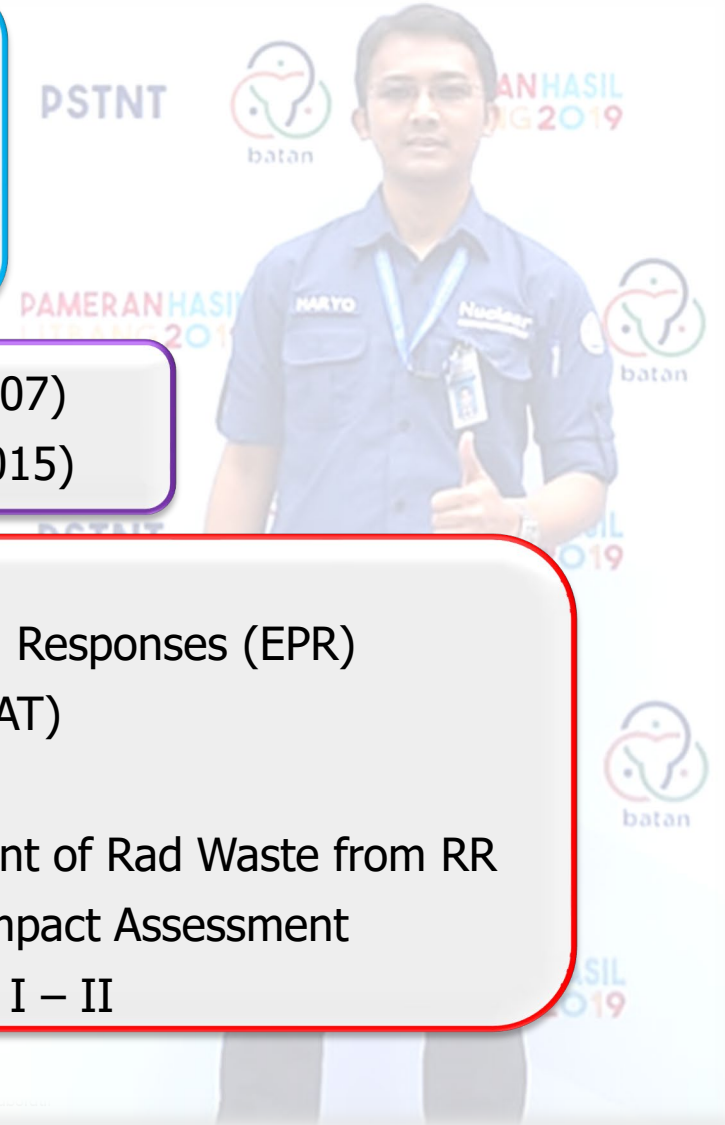
Nama : Haryo Seno, S.ST, M.Si
Penugasan : PSTNT – BATAN (2008 – 2021), ORTN – BRIN (2022)
Kompetensi : Radiation Safety, Nuclear Safety, RWM, RPO
e-mail : haryo.seno@brin.go.id

PENDIDIKAN

- Bachelor - Teknokimia Nuklir, STTN-BATAN (2007)
- Master - Fisika, Institut Teknologi Bandung (2015)

PELATIHAN

- ✓ Radiological Risk Assessment
- ✓ Emergency Preparedness and Responses (EPR)
- ✓ EPR Field Assistance Team (FAT)
- ✓ Nuclear Plant Safety
- ✓ Technical Meeting Management of Rad Waste from RR
- ✓ Radiological Environmental Impact Assessment
- ✓ Reactor Engineering & Safety I – II



PENDAHULUAN



BINA

Reaktor nuklir merupakan sistem dengan teknologi tinggi dan kompleks

Adanya produksi energi (panas/listrik) dan potensi lepasan zat radioaktif yang dapat membahayakan pekerja, masyarakat, dan lingkungan

MANFAAT

Operator dan supervisor memiliki kemampuan yang **handal** dalam mengoperasikan reaktor

Operator dan supervisor dapat menerapkan prinsip keselamatan nuklir, sehingga dapat **mengantisipasi segala kemungkinan** (terkait keselamatan) yang berpotensi terjadi saat bertugas

Kompetensi Dasar

Mampu menjelaskan konsep keselamatan nuklir

Indikator Keberhasilan

1. Mampu menjelaskan tujuan keselamatan nuklir
2. Mampu menjelaskan prinsip keselamatan reaktor nuklir
3. Mampu menjelaskan persyaratan desain sistem keselamatan
4. Mampu menyebutkan klasifikasi SSK (Struktur, Sistem, dan Komponen) pada reaktor riset nuklir

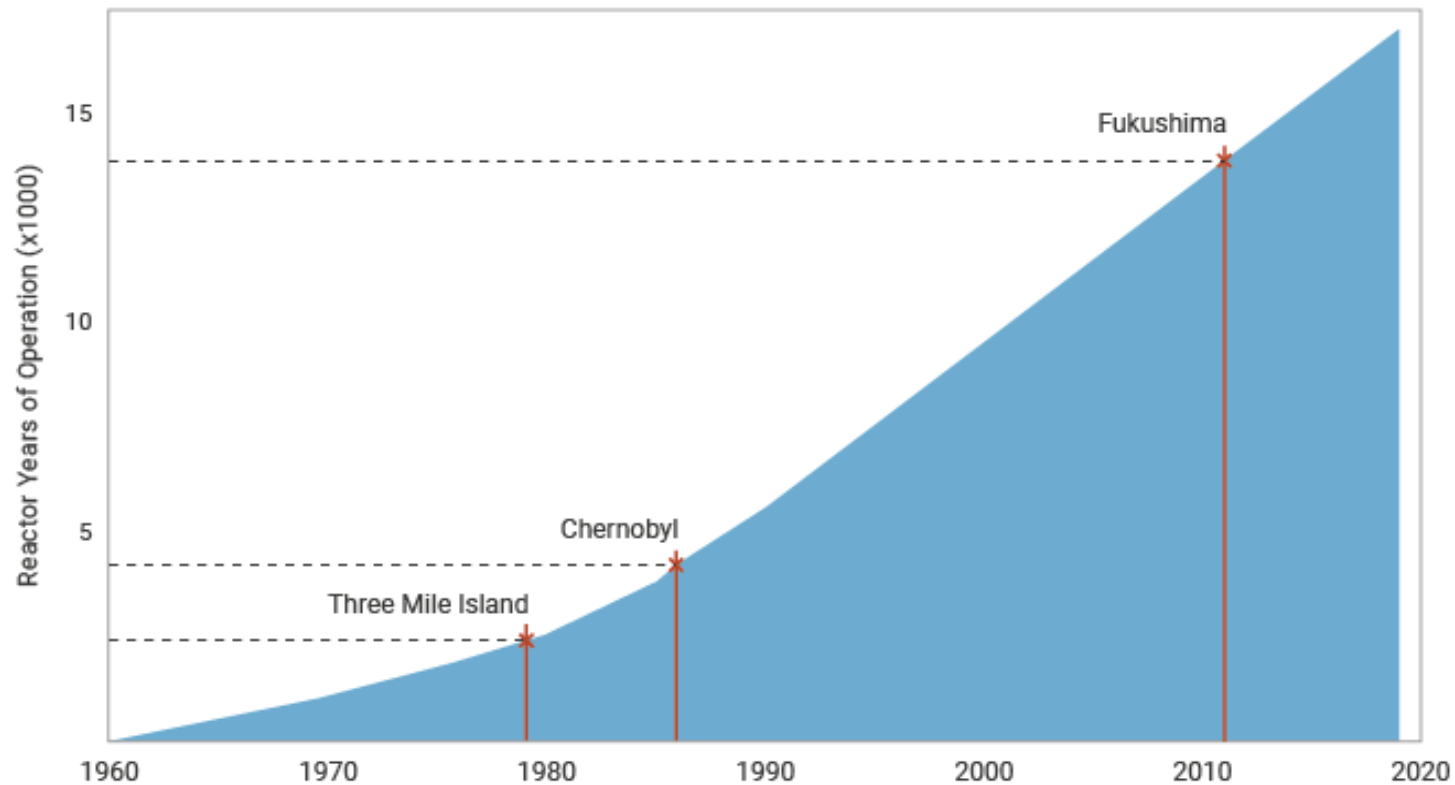
POKOK BAHASAN



A background image of a nuclear power plant with several large, grey, cylindrical cooling towers. The towers are arranged in a row, and the sky is overcast with grey clouds. The foreground shows some greenery and a fence.

LESSON LEARNED
&
MAKNA KESELAMATAN NUKLIR

Cumulative Reactor Years of Operation



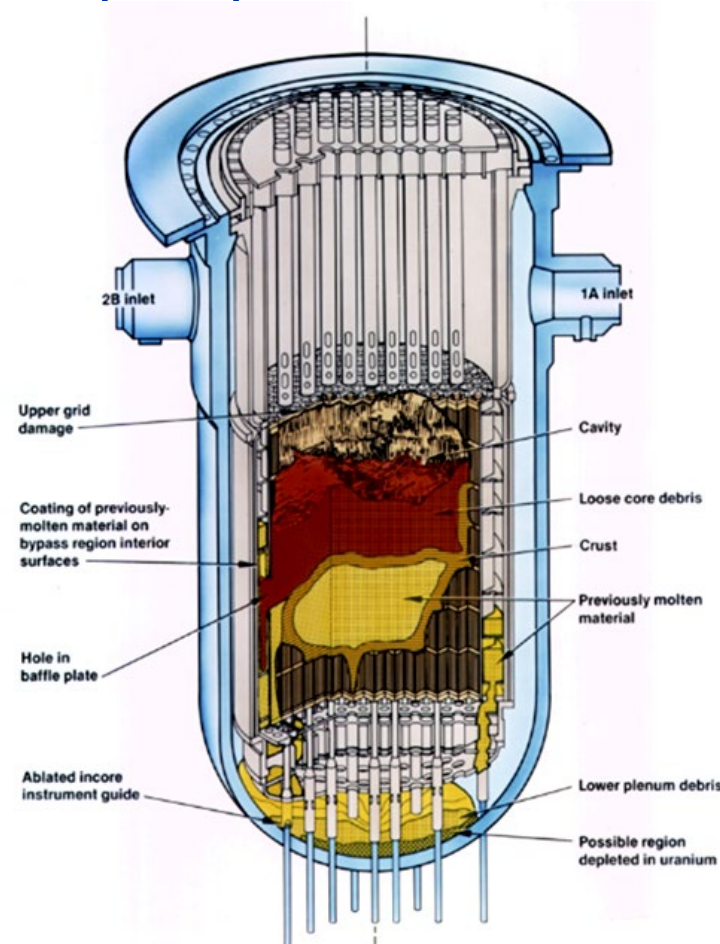
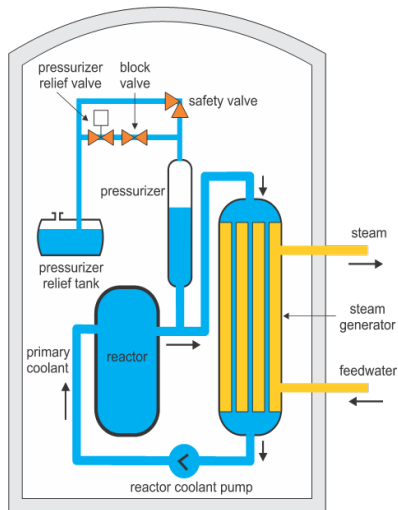
Sumber: World Nuclear Association (*update* Maret 2022)

Kecelakaan adalah sumber utama pelajaran dan sangat memudahkan dalam memberikan pemahaman tentang **keselamatan nuklir**.

Tiga sejarah kecelakaan besar pada reaktor nuklir di dunia:

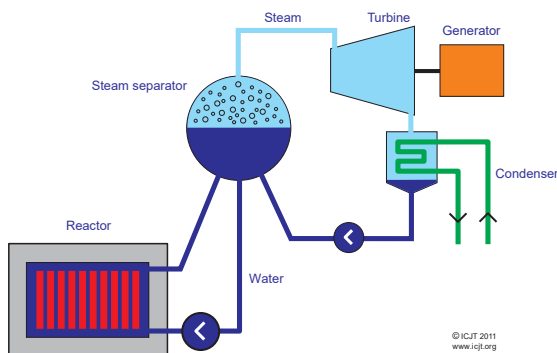
1. TMI accident
2. Chernobyl accident
3. Fukushima Daiichi accident

Three Mile Island (TMI) accident (1979)



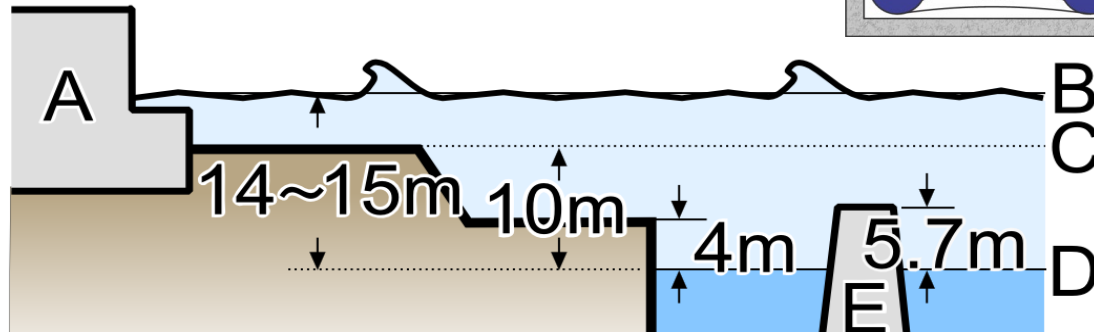
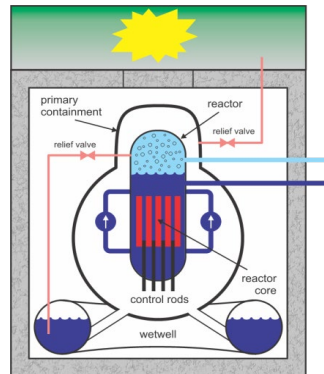
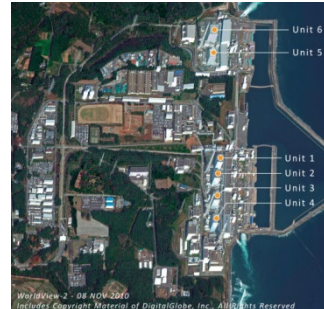
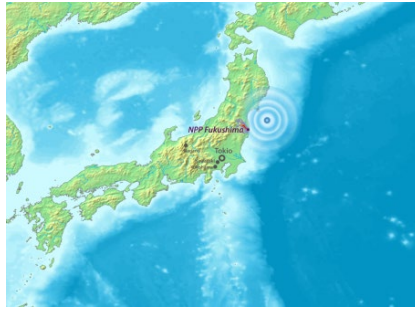
- Kehilangan cairan pendingin dan kerusakan teras parsial.
- Disebabkan karena kesalahan operator dan kesalahan teknis (malfungsi peralatan dan pembacaan instrumentasi yang tidak sesuai).
- Ada sedikit pelepasan gas radioaktif (*noble gas* dan *iodine*), namun tidak menyebabkan kenaikan dosis di atas *BG level* ke masyarakat.
- Tidak ada korban jiwa dan tidak ada efek gangguan kesehatan yang merugikan.
- Kategori INES level 5

Chernobyl accident (1986)



- Desain reaktor yang cacat dan personel yang tidak terlatih secara memadai, menyebabkan uji generator cadangan gagal.
- Uji ini menyebabkan lonjakan daya reaktor yang membuat temperatur bahan bakar menjadi terlalu panas, berakibat terjadinya ledakan, kebakaran, dan pelelehan bahan bakar reaktor.
- RBMK design → *positive void coefficient*
- Kebakaran grafit dan ledakan uap menyebabkan total sekitar 14 EBq (14×10^{18} Bq) zat radioaktif terlepas ke atmosfer dan menyebar ke udara seluruh Eropa.
- 2 korban jiwa (ledakan & kebakaran), 28 orang sakit (gangguan kesehatan signifikan karena efek radiasi)
- Evakuasi 300.000 orang.
- Kategori INES level 7

Fukushima Daiichi accident (2011)



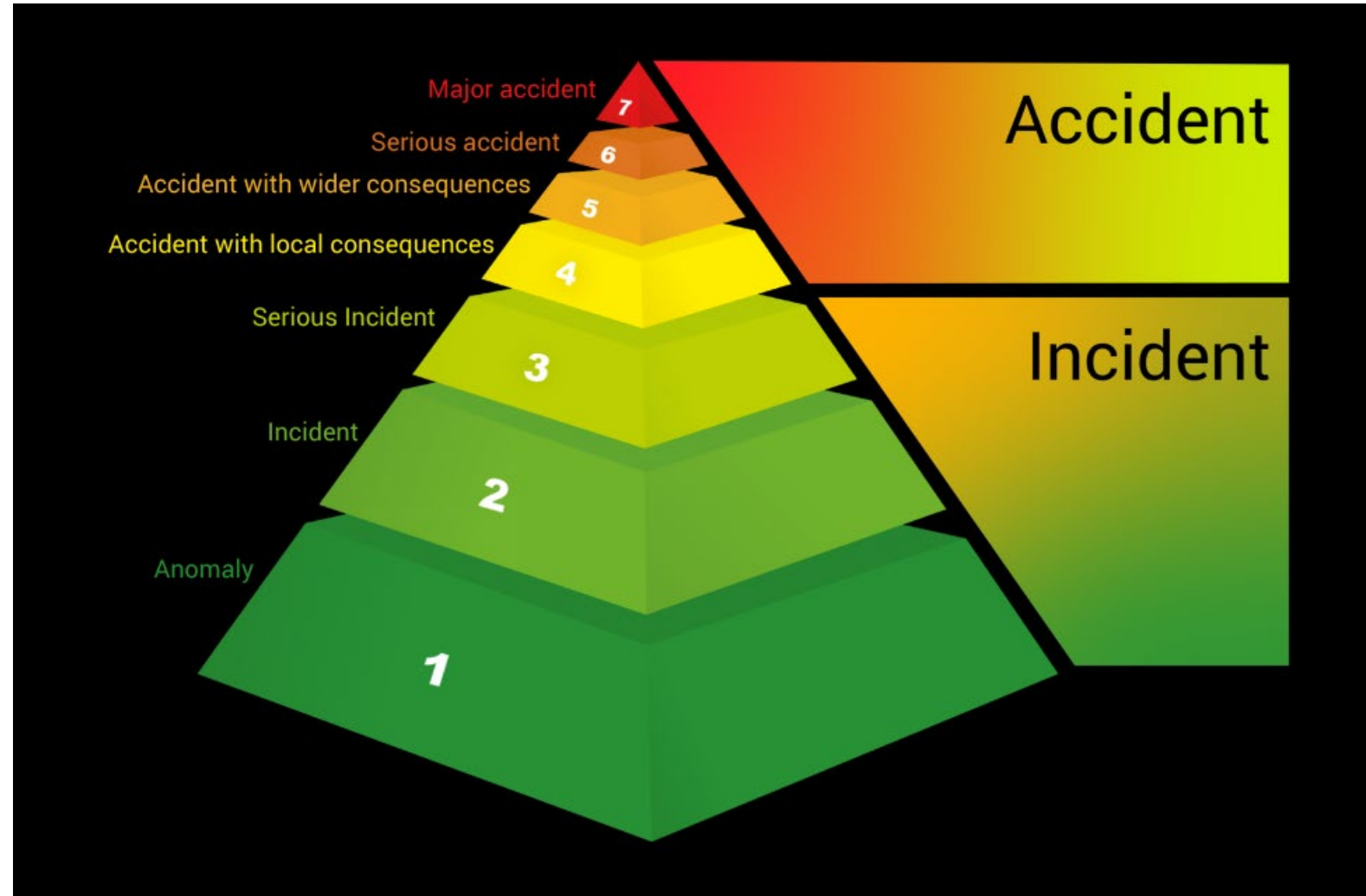
- Gempa bumi yang diikuti oleh tsunami setinggi 15 meter membanjiri dan merusak 3 unit reaktor aktif.
- Listrik utama dan listrik cadangan padam, serta hilangnya pendingin akhir, sehingga menyebabkan panas berlebih dan bahan bakar meleleh. Selain itu terjadi ledakan gas hidrogen yang membuat atap gedung pengungkung rusak, sehingga terjadi kebocoran dan lepasan zat radioaktif ke udara → 940 PBq (I-131 eq.)
- Tidak ada korban jiwa atau kasus kesehatan karena efek radiasi
- 19.500 korban jiwa karena gempa dan tsunami
- Evakuasi 160.000 orang yang berada pada radius 20 km dari lokasi kecelakaan.
- Kategori INES level 7

Skala INES

INES

International Nuclear and Radiological Event Scale

adalah suatu *tools* atau skala yang digunakan untuk mengkomunikasikan pentingnya arti keselamatan pada peristiwa nuklir dan radiologik kepada publik.



Pengertian Keselamatan Nuklir

Upaya untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari bahaya radiasi yang tidak semestinya, dengan cara menjaga kondisi operasi selalu normal, melakukan pencegahan kecelakaan, atau meminimalisir (mengupayakan sekecil mungkin) konsekuensi kecelakaan.

(IAEA Safety Glossary)

Tujuan Dasar Keselamatan Nuklir

Perlindungan terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari bahaya radiasi dilakukan melalui:

1. Pengendalian paparan radiasi kepada pekerja dan pengendalian lepasan zat radioaktif ke lingkungan.
2. Pembatasan kemungkinan terjadinya insiden yang bisa berakibat pada kehilangan kendali reaktor, reaksi fisi berantai, sumber radioaktif, atau sumber radiasi lainnya.
3. Mitigasi konsekuensi insiden jika sampai terjadi.

(IAEA Safety Fundamental No. SF-1)

The background image shows a large, modern building with a grey facade and red accents. A tall tower on the left has the word 'BATAN' on it. The main building has several windows with red frames. In the foreground, there is a green lawn and some trees. The title 'PRINSIP KESELAMATAN NUKLIR' is overlaid in the center in a large, bold, black font.

PRINSIP KESELAMATAN NUKLIR

Pokok bahasan ini terdiri dari beberapa materi, sbb:

- Fungsi keselamatan fundamental
- Pengendalian reaktivitas
- Pemindahan panas
- Pengungkungan material radioaktif
- Konsep *Defence in Depth* (DiD)
- Konsep *Multiple Barrier*
- Fitur keselamatan reaktor

SPECIFIC CHARACTERISTICS OF NUCLEAR REACTORS

Power excursions
possible without
reactivity control

Decay heat
present for a
long time

Radioactive fission
products accumulate in
the core



**Release of fission products and
radionuclides into the environment**

Dalam terminologi reaktor nuklir terdapat 3 (tiga) fungsi keselamatan mendasar

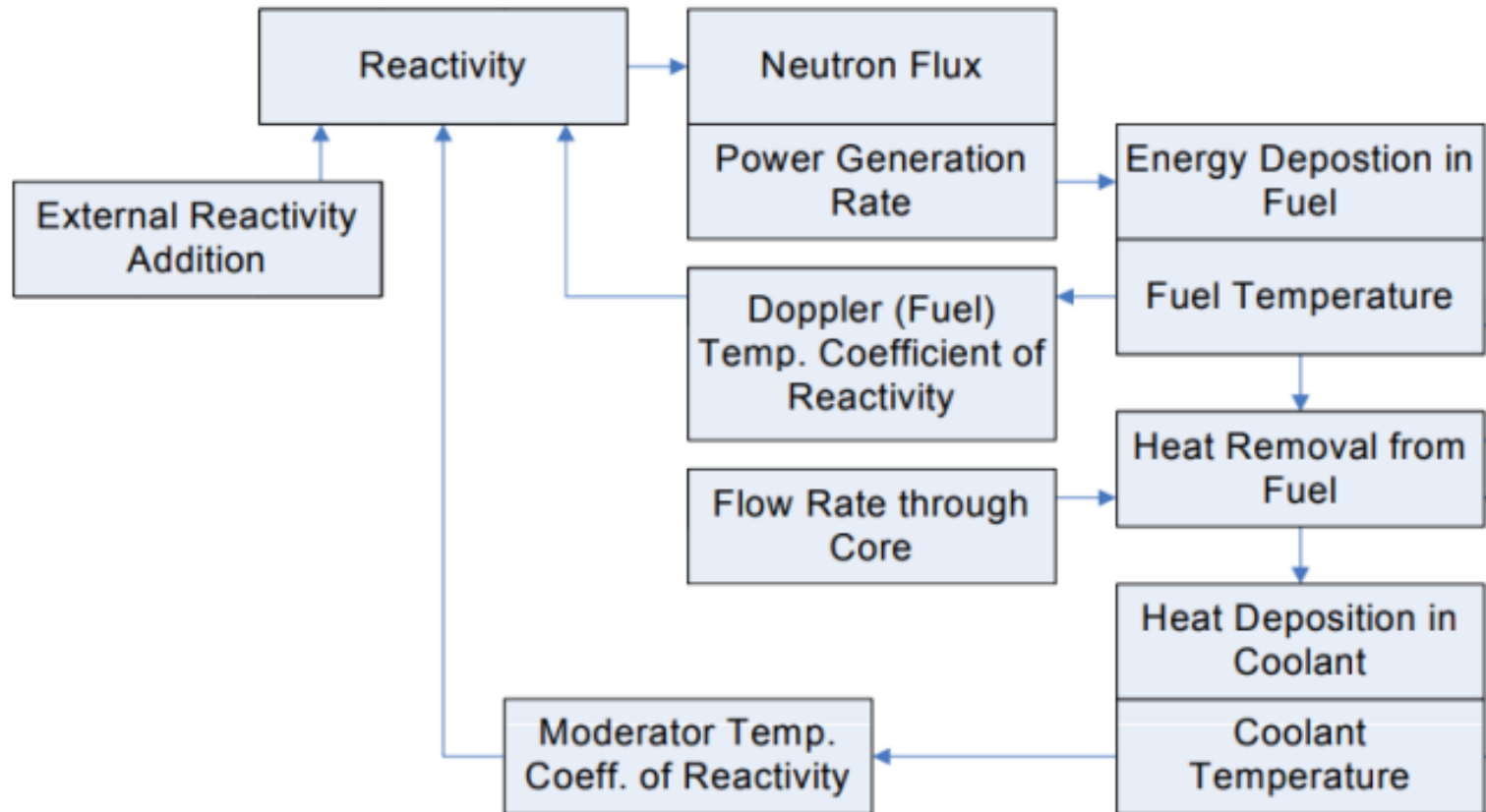


Sistem pengendalian reaktivitas harus mampu:

- Mengendalikan daya reaktor saat beroperasi dan memadamkan reaktor secara normal dan saat kondisi abnormal;
- Melakukan pemadaman cepat (scram) dan memelihara reaktor dalam kondisi subkritis pada saat kondisi kecelakaan (batang kendali dan injeksi asam borik pada sistem pendingin);
- Karakteristik umpan balik reaktivitas negative untuk membatasi daya reaktor:
 - Efek temperatur moderator negatif;
 - Efek temperatur bahan bakar negatif;
 - Efek void pendingin negatif;
 - Efek daya negatif.

Pengendalian Reaktivitas (2)

Gambaran mekanisme umpan balik pengendalian reaktivitas

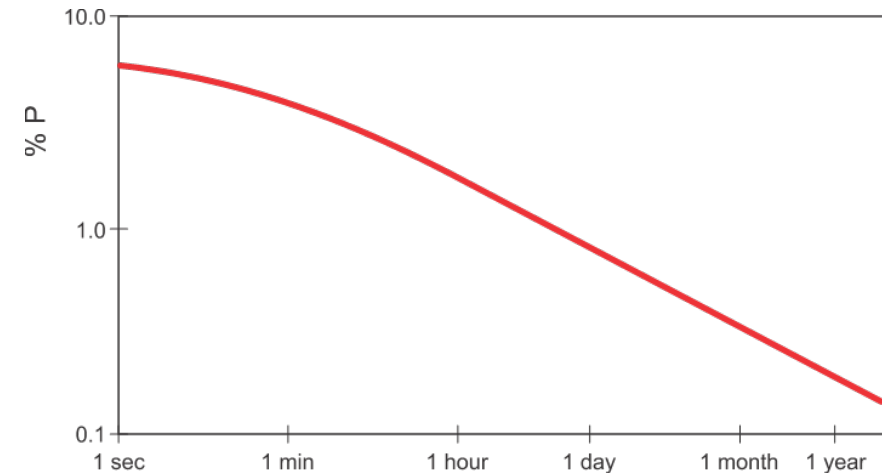


Pemindahan Panas

Panas peluruhan dihasilkan oleh peluruhan produk fisi radioaktif setelah reaktor *shutdown*:

- Permasalahan utama keselamatan pada reaktor berpendingin air ringan
- Pendinginan yang memadai harus dipertahankan setiap saat untuk memindahkan panas peluruhan dan mencegah kegagalan kelongsong bahan bakar, baik di dalam teras reaktor maupun di tempat penyimpanan bahan bakar bekas.

Kurva panas peluruhan reaktor berpendingin air ringan pada umumnya, yang beroperasi selama waktu yang panjang (dalam % daya penuh)



- **Bahaya unik** yang terkait dengan reaktor nuklir: **inventori material radioaktif** yang terakumulasi di inti.
- Asal material radioaktif tsb meliputi:
 - **peristiwa fisi**, sekitar 2 buah fragmen fisi per reaksi fisi;
 - **Penyerapan neutron pada material struktur**, yang menghasilkan berbagai produk radioaktif **aktivasi**;
 - **Penyerapan neutron pada material fertil** (terutama U-238), untuk menghasilkan elemen *transuranic*, yang berperan pada bahaya radiasi jangka panjang dari bahan bakar nuklir bekas.

Zat radioaktif di teras reaktor

Fisi

- Sm^{149} , Xe^{135} , Cs^{137} , Mo^{99} , Ba^{141} , Kr^{92} , dsb

Aktivasi

- N^{16} , N^{17} , O^{19} , Fe^{59} , Co^{60} , Mn^{54} , dsb

Peluruhan

- Deret Th, Np, U, Ac

Karakteristik isotop yang paling diperhatikan:

- **Ketidakstabilan kimiawi** (mempermudah *release* jika terjadi kecelakaan)
- **Afinitas kimia** pada tubuh manusia
- **Peluruhan gamma energi tinggi** (dibutuhkan perisai)
- **Waktu paro yang panjang**
- **Isotop yang menjadi perhatian: gas mulia, Sr-90, I-131, Cs-137**
 - Lepas material radioaktif yang tidak terkendali harus dicegah dengan **pengungkung** sedekat mungkin dengan titik asalnya atau lokasi yang dimaksudkan.
 - Ini dicapai dengan desain **penghalang fisik** yang bersentuhan langsung atau sangat dekat dengan sumber radioaktif.
 - Pada prinsipnya, **penghalang ini harus bersifat pasif.**

Pada PWR dan BWR :

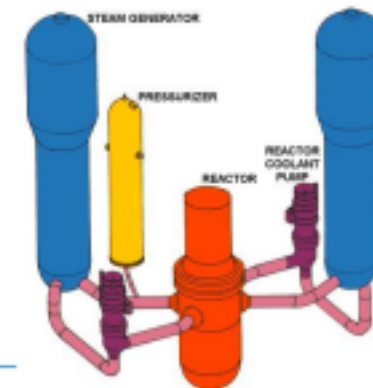
- Matriks bahan bakar menahan produk fisi padat;
- Kelongsong Zirconium menahan gas hasil fisi dan produk fisi yang volatil;
- Batas tekanan pendingin reaktor menahan produk fisi yang bocor dari kelongsong dan produk aktivasi terlarut.

Pada spent fuel pit :

- Matriks Bahan Bakar;
- Kelongsong bahan bakar ;
- Spent fuel pit stainless steel cladding dan sistem pendingin berfilter.

Pada tempat penyimpanan limbah:

- Bentuk limbah;
- Kontainer

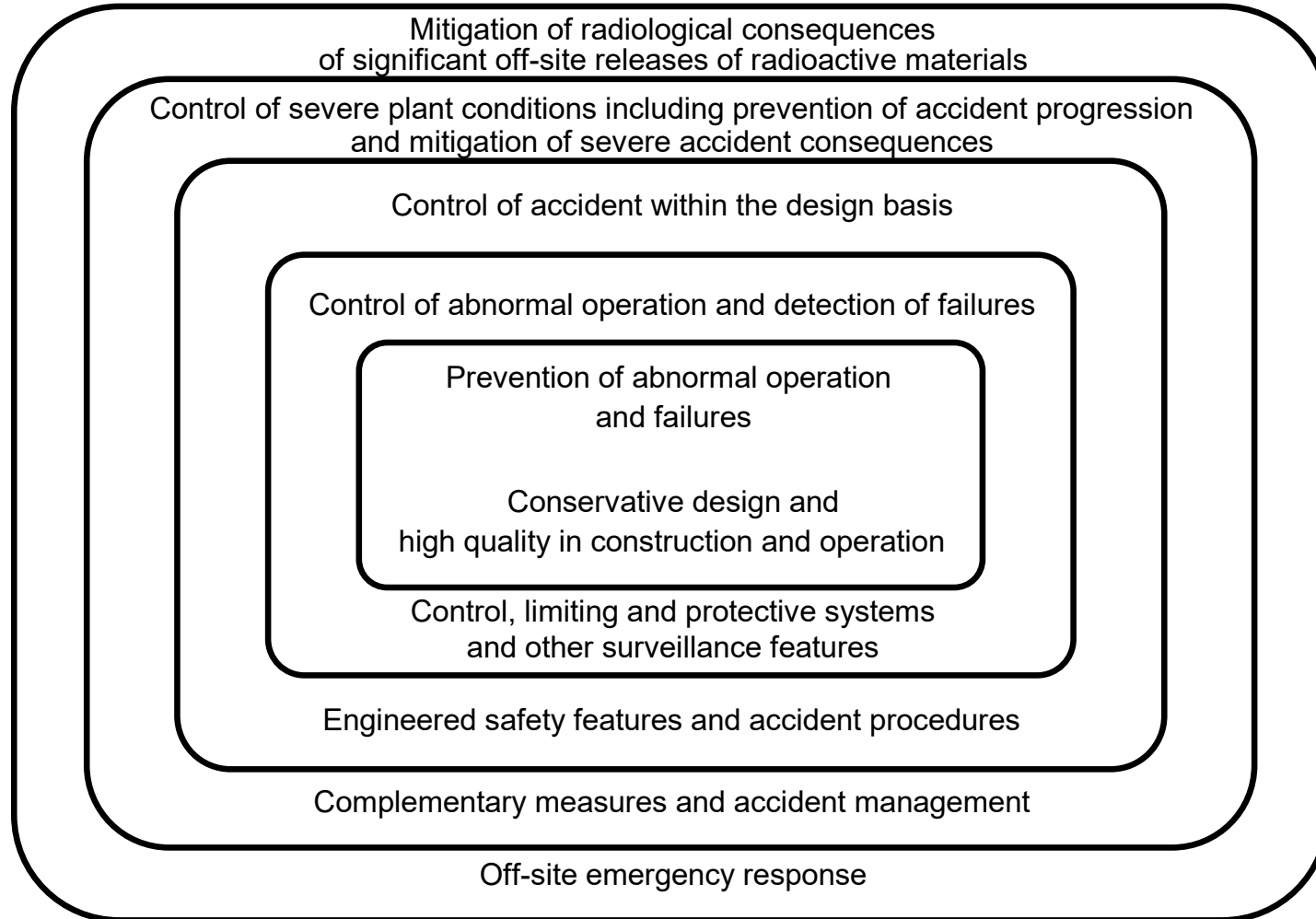


Defence in Depth (DiD)

- ❑ **Defence in Depth** merupakan konsep dasar upaya keselamatan agar tercapainya keselamatan nuklir.
- ❑ **Defence in Depth** meliputi 5 hirarki berlapis dan saling independen satu sama lainnya dari upaya keselamatan, dimana dampak dari kegagalan setiap level akan dimitigasi oleh level berikutnya.



Konsep Defence in Depth (1)

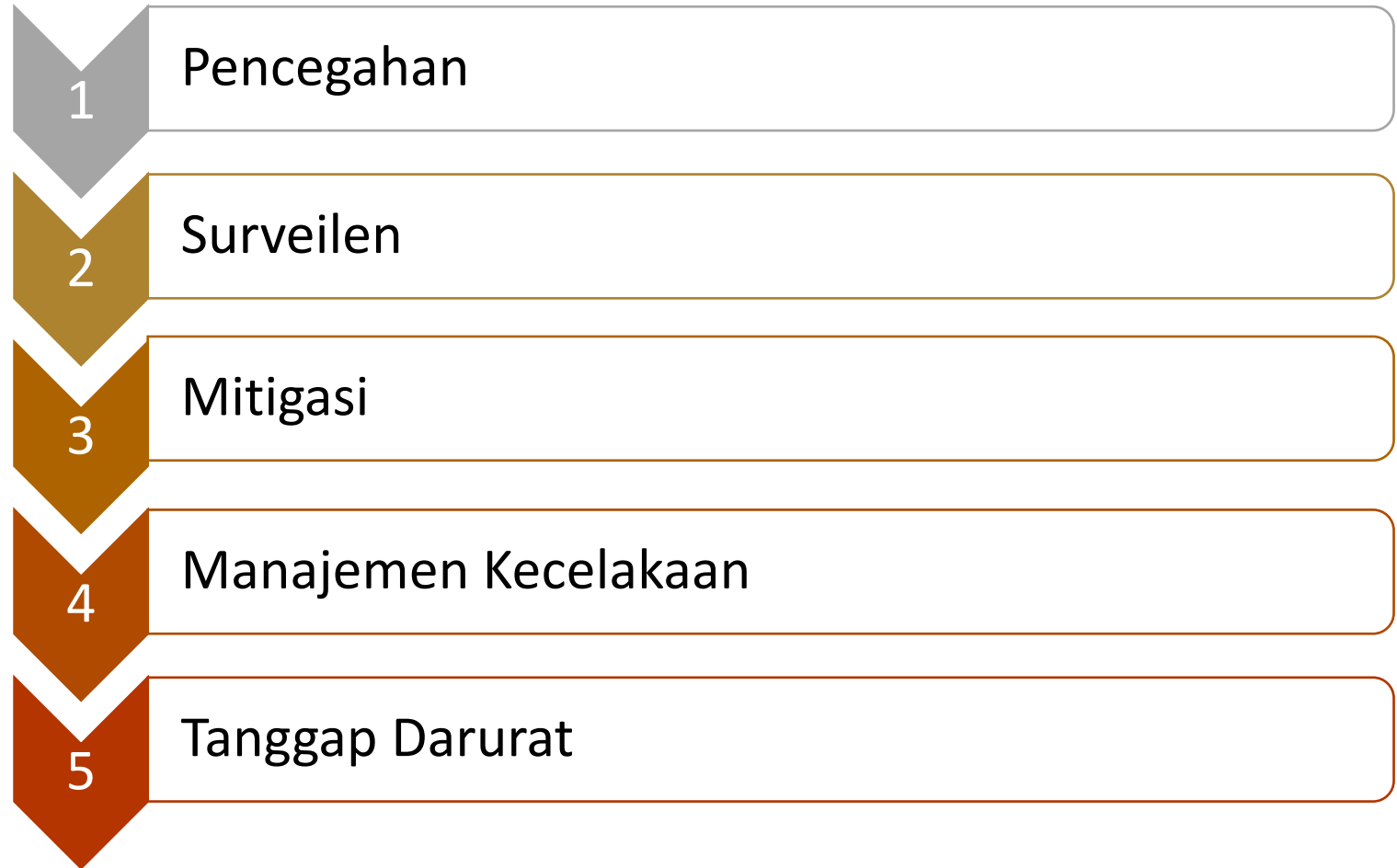


- ❖ Setiap level Defence in Depth (DiD) harus **independen**.
- ❖ Error, insiden, atau accident harus **tidak berdampak** pada beberapa level secara simultan.
- ❖ Sistem keselamatan harus memiliki **keandalan** yang memadai.
- ❖ Desain, layout, dan prosedur perawatan **khusus** harus diterapkan pada sistem keselamatan.

Kontrol kualitas

- Pengendalian mutu di **semua aktivitas** harus dipastikan pada tahap:
 - Desain
 - Pasokan
 - Manufaktur
 - Konstruksi
 - Pengujian dan inspeksi
 - Persiapan operasi
 - Operasi yang sesungguhnya
- Ini menunjukkan perlunya **prosedur organisasi yang sesuai**.
- Jaminan kualitas sangat sulit diterapkan dalam kondisi **kecelakaan yang parah**.

5 Level
Implementasi DiD
pada tahap
Operasi



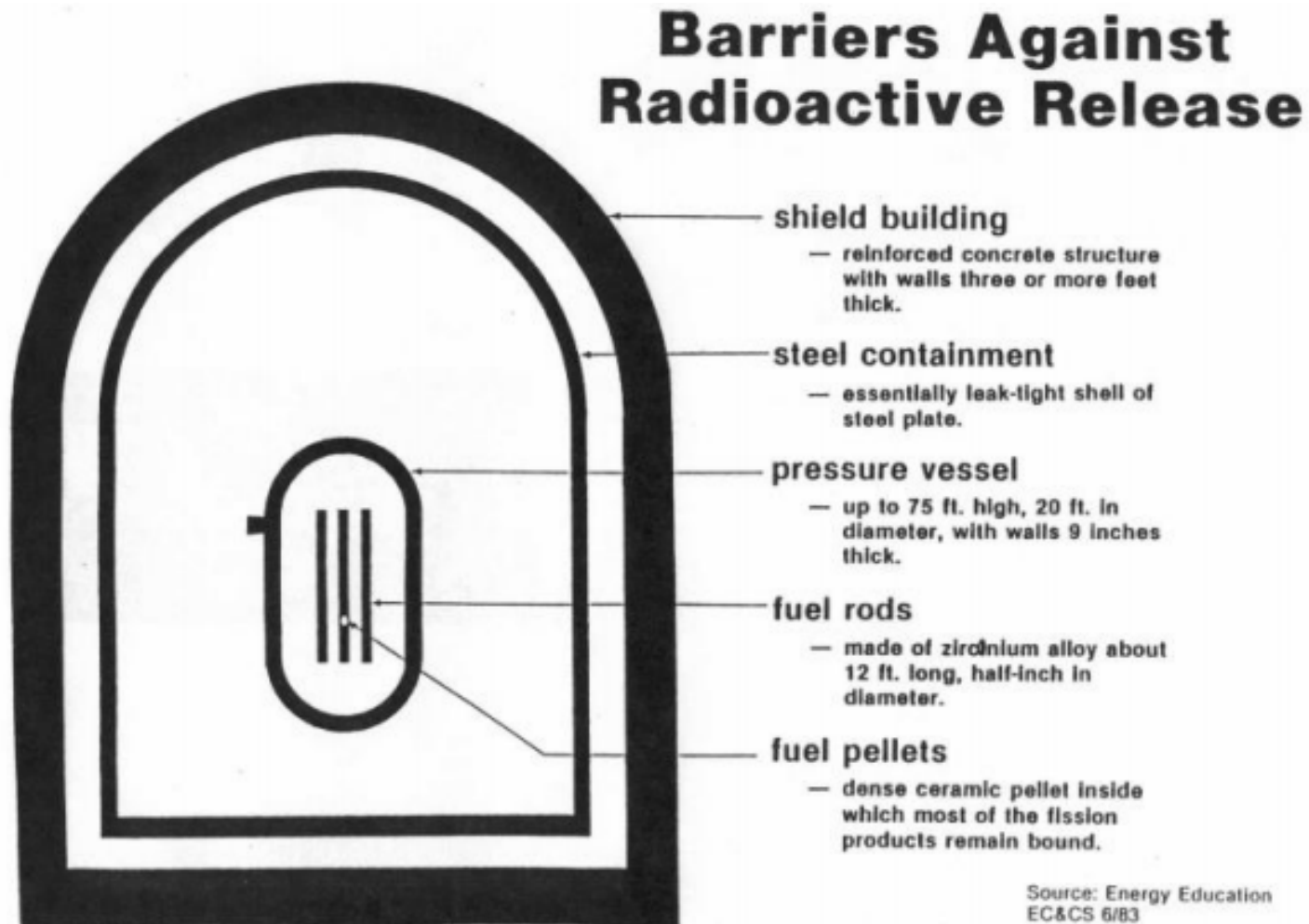
Implementasi DiD (2)

Frekuensi Kejadian	Level DiD	Kondisi Instalasi	Tujuan	Implementasi
Terjadi di sepanjang umur operasi instalasi	Level 1	Operasi Normal	Untuk mencegah deviasi dari operasi normal; dan untuk mencegah kegagalan struktur, sistem dan komponen (SSK) yang terkait/penting untuk keselamatan	Desain yang konservatif Material serta pabrikan dan konstruksi berkualitas tinggi Pemilihan tapak yang tepat dengan mempertimbangkan seluruh potensi bencana alam/bahaya eksternal Kualifikasi personil dan program pelatihan untuk peningkatan kompetensi Operasi dan perawatan SSK yang bersesuaian dengan prinsip keselamatan Penumbuhan budaya keselamatan yang kuat
	Level 2	Kejadian-kejadian selama operasi	Mendeteksi dan menghentikan deviasi dari operasi normal untuk mencegah terjadinya kejadian-kejadian transient (Anticipated Operational Occurrence; AAO) yang dapat ber- eskalasi menjadi kecelakaan. Serta mengembalikan instalasi pada kondisi normal.	Fitur desain keselamatan bawaan (inherent) dan rekayasa untuk mengurangi atau menghilangkan transien yang tidak terkontrol. Sistem Monitoring untuk mengidentifikasi deviasi dari operasi normal. Pelatihan operator untuk merespon transien yang terjadi di instalasi

Implementasi DiD (3)

Frekuensi Kejadian	Level DiD	Kondisi Instalasi	Tujuan	Implementasi
Terjadi dengan frekuensi yang jarang	Level 3	Kejadian yang disebabkan oleh Postulated Initiating Event (PIE) (Design Basis Accident; DBA)	Memperkecil konsekuensi kecelakaan dan mencegah eskalasi kecelakaan menjadi kecelakaan di luar basis desain (beyond design basis accident) yang dapat menyebabkan kerusakan/pelelahan teras.	Fitur Keselamatan Bawaan (inherent) Fail-safe Design Fitur Keselamatan Teknis (ESF), Prosedur untuk meminimalisir konsekuensi DBA Redundansi, Diversitas, Segregasi, Separasi Fisik, Independensi kanal sistem keselamatan, single-point failure protection, Instrumenstasi yang sesuai dengan kondisi kecelakaan. Pelatihan operator untuk merespon postulated accident
Terjadi dengan frekuensi yang sangat jarang	Level 4	Kecelakaan yang menyebabkan teras meleleh (beyond design basis accident; BDBA)	Menjamin pelepasan radioaktif yang diakibatkan kecelakaan BDBA atau kecelakaan parah sekecil mungkin	Pedoman untuk mengelola kecelakaan BDBA dan memitigasi konsekuensi Desain pengungkung yang kokoh dan mengacu pada ancaman pada pengungkung (pembakaran hidrogen, proteksi tekanan lebih, interaksi concrete dengan teras, penyebaran lelehan teras dan pendinginan) Fitur desain komplementer untuk mencegah dan mitigasi progresi kecelakaan. Fitur untuk memitigasi pelepasan radiologic (filter, dll)
Terjadi dengan frekuensi yang hampir tidak mungkin dan memerlukan perencanaan kedaruratan	Level 5	Terjadi Pelepasan Radioaktif ke Lingkungan secara signifikan	Memitigasi konsekuensi radiologic sebagai akibat dari pelepasan material radioaktif ke lingkungan	Fasilitas pendukung kedaruratan Perencanaan dan ketentuan respons kedaruratan on-site dan off-site Pelatihan kesiapsiagaan dan respon kedaruratan

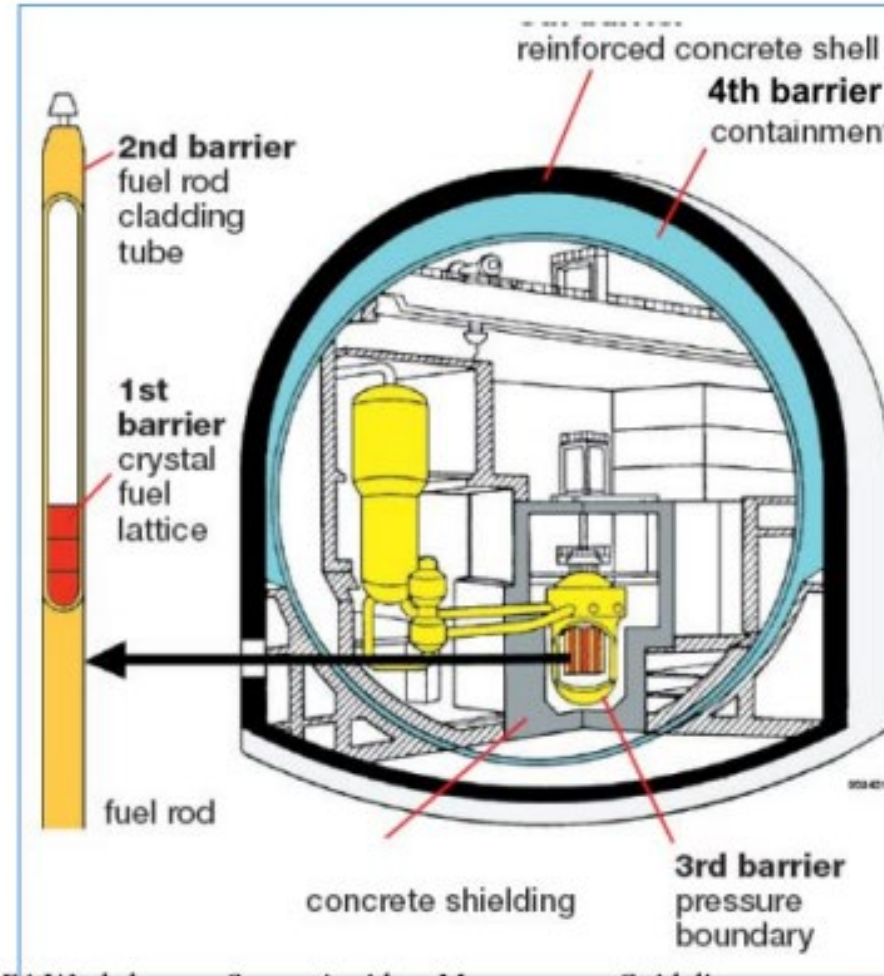
Multiple Barrier



Konsep Multiple Barrier

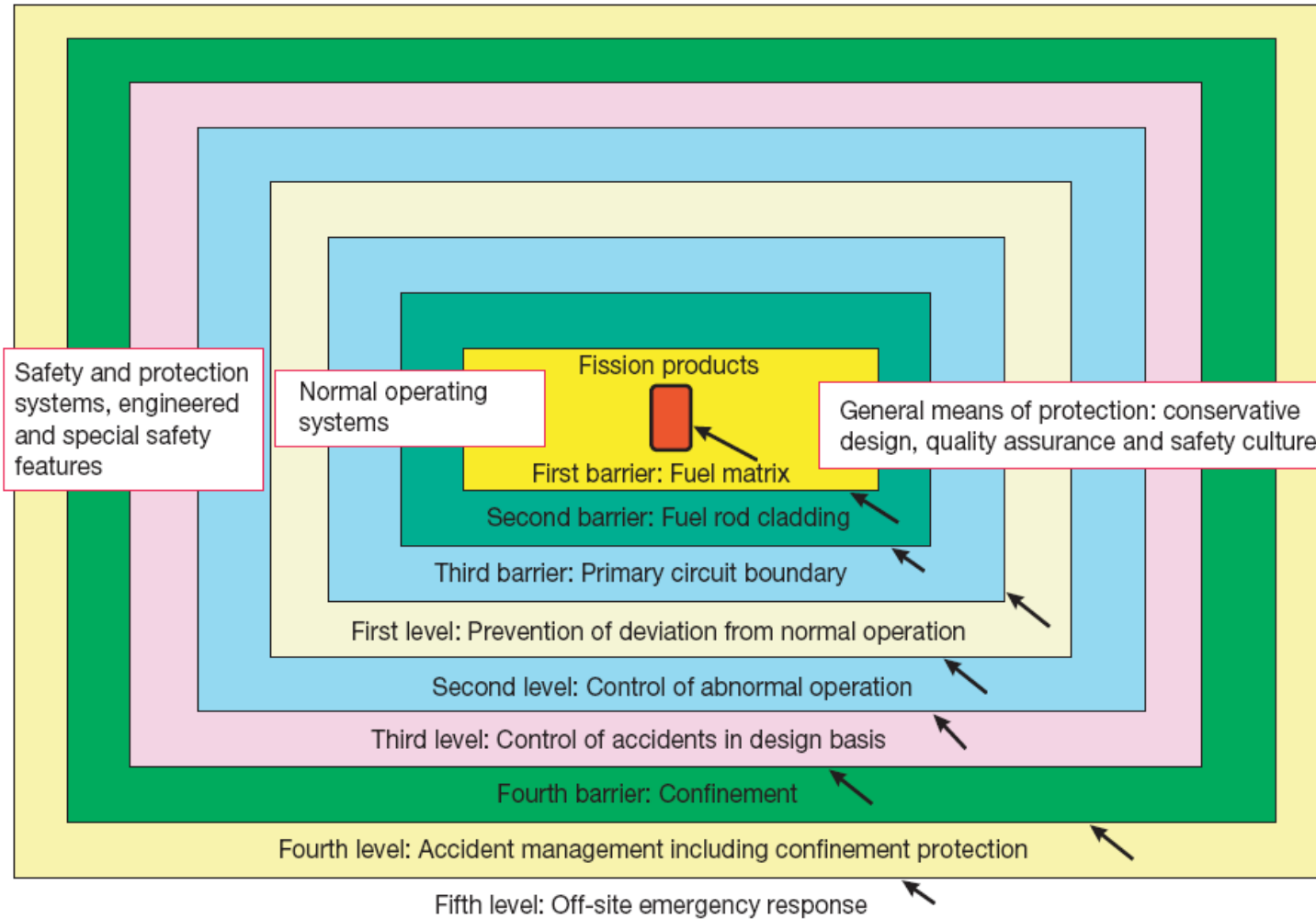
Barrier berlapis disediakan untuk mencegah terlepasnya produk fisi atau bahan radioaktif dari teras ke lingkungan, yaitu:

1. Matriks bahan bakar
2. Cladding bahan bakar
3. Sistem Primer
4. Containment



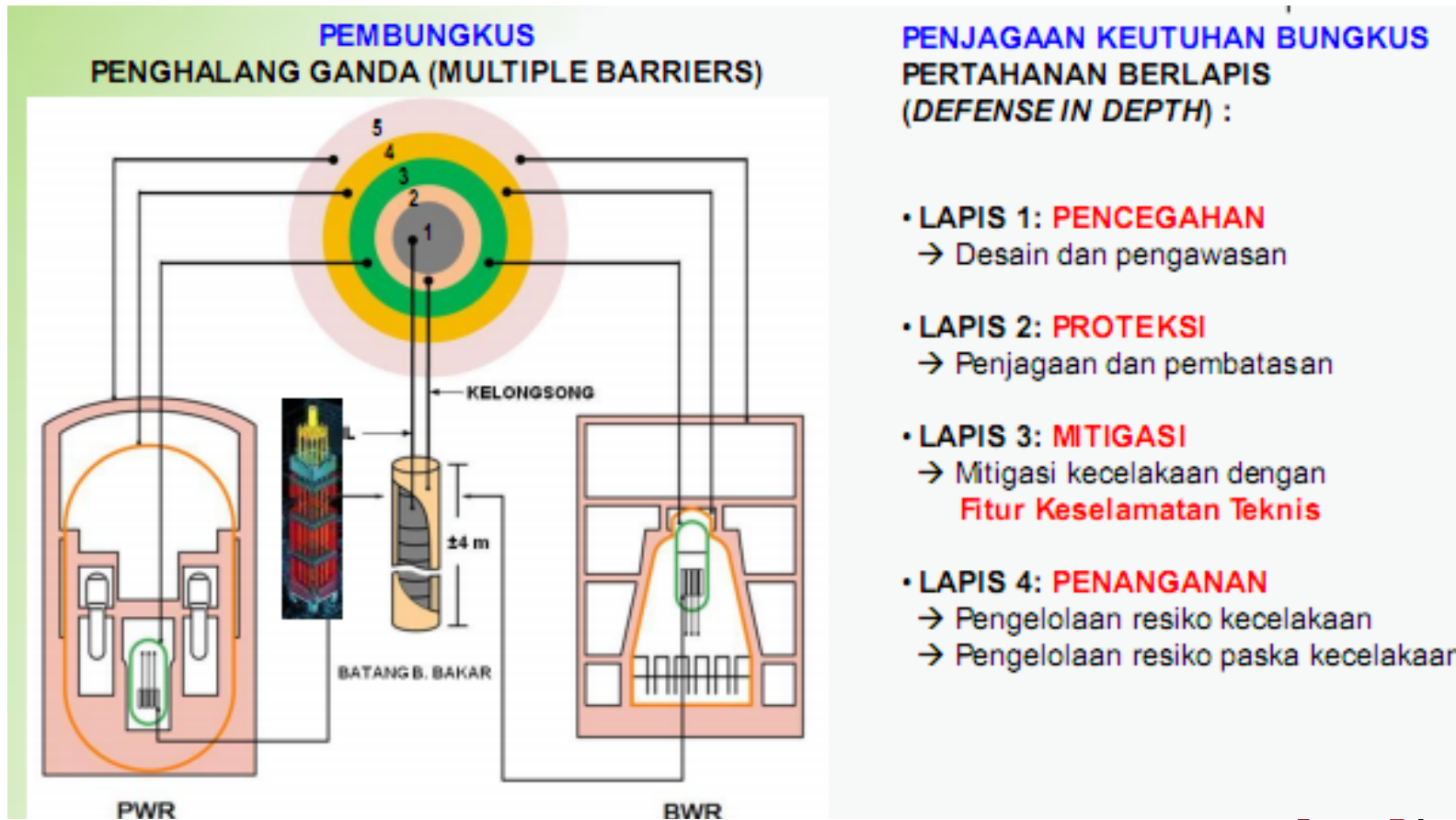
Sumber: Tim Haste, Basic Concept of Nuclear Safety, IAEA Workshop on Severe Accident Management Guidelines, 19-23 October 2015, Vienna, Austria

DiD & Multiple Barrier (1)



DiD & Multiple Barrier (2)

Prinsip keselamatan reaktor nuklir → “bungkus rapat dan jaga keutuhan pembungkus”





FITUR KESELAMATAN REAKTOR

detikcom

Fitur Keselamatan Reaktor (1)

Fitur keselamatan dasar dalam reaktor nuklir:

- Karakteristik Bawaan Alamiah (Inherent Characteristic)
- Sistem Pasif
- Sistem Aktif

Karakteristik Inheren:

Reaktor dengan koefisien reaktifitas temperatur negatif; ketika daya reaktor naik berlebihan, reaksi fisi akan menurun atau berhenti dengan sendirinya karena temperatur naik secara berlebihan.

Ketika pompa sirkulasi mati, pendingin bersirkulasi sendiri melalui proses konveksi alamiah

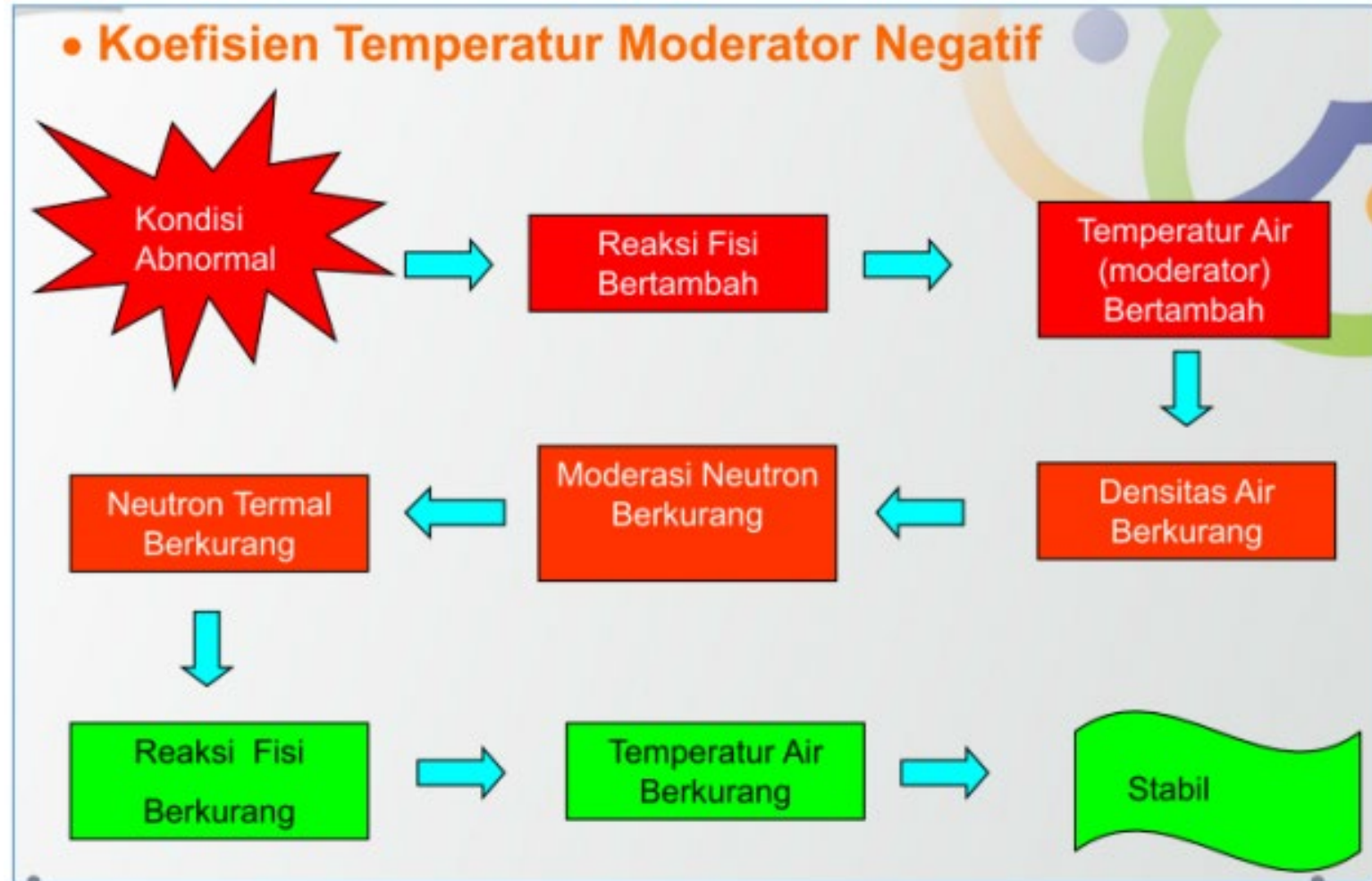
Sistem Pasif:

Sistem yang beroperasi tanpa memerlukan pasokan catu daya dari luar; seperti barrier radioaktif, penjatuhan batang kendali dengan gaya gravitasi (scram) , penggunaan energi yang tersimpan sendiri (bertekanan) dalam sistem injeksi pendingin darurat.

Sistem Keselamatan aktif;

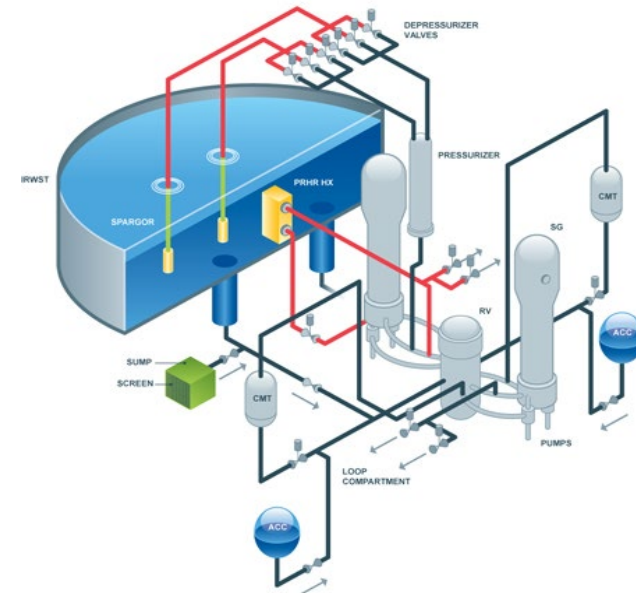
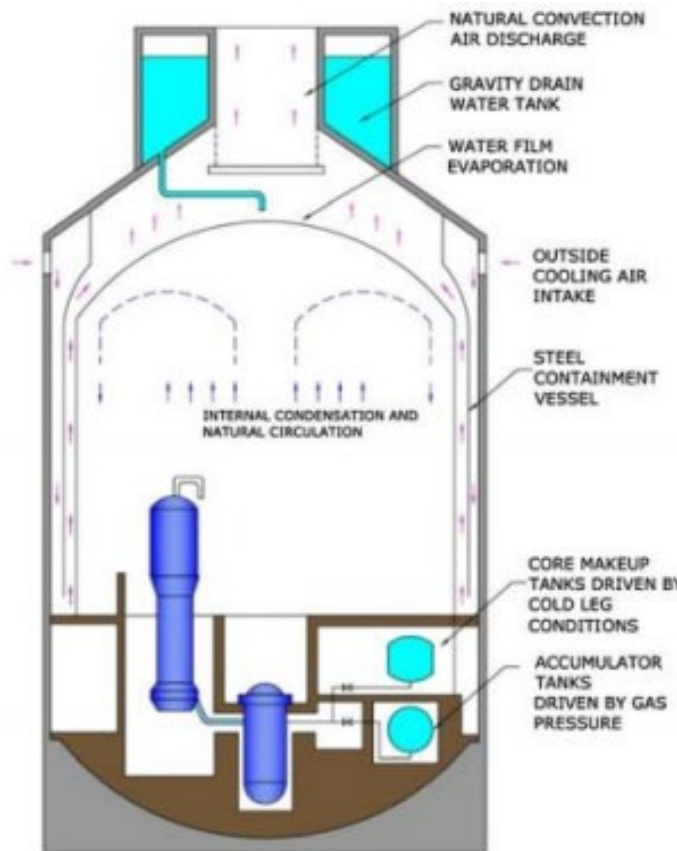
Sistem yang memerlukan pasokan catu daya dari luar dan sinyal aktif; seperti sistem Pendingin darurat, sistem pendingin aktif, dll.

Inherent Characteristic



Sistem Keselamatan Pasif

Contoh: Reaktor PWR jenis AP1000

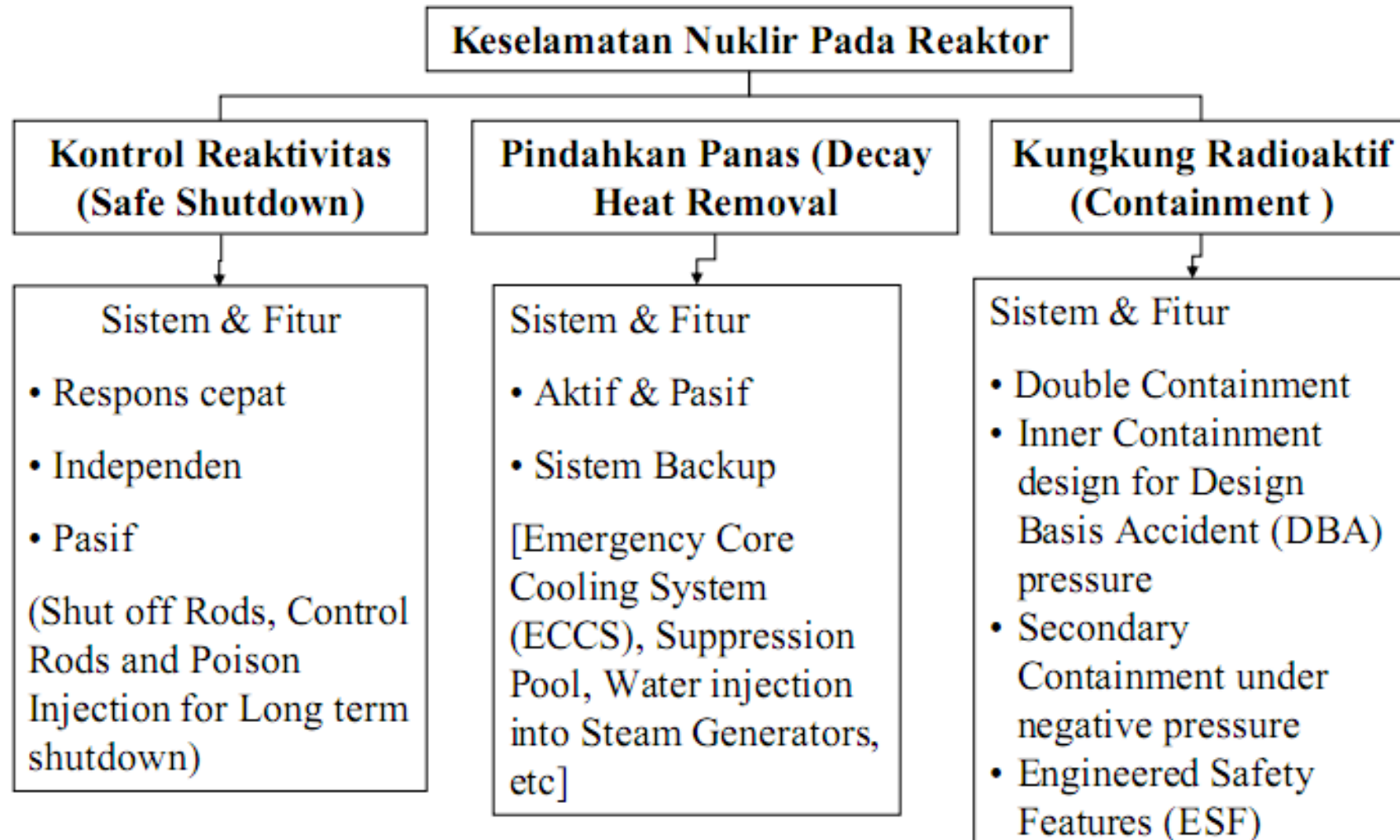


- Passive Core Cooling System (PXS)
- Containment Isolation
- Passive Containment Cooling System (PCS)
- Main Control Room Emergency Habitability System
- High Pressure Safety Injection with Core Makeup Tanks (CMTs)
- Medium Pressure Safety Injection with Accumulators
- Low Pressure Reactor Coolant Make from the IRWST
- Passive Residual Heat Removal
- Automatic Depressurization System

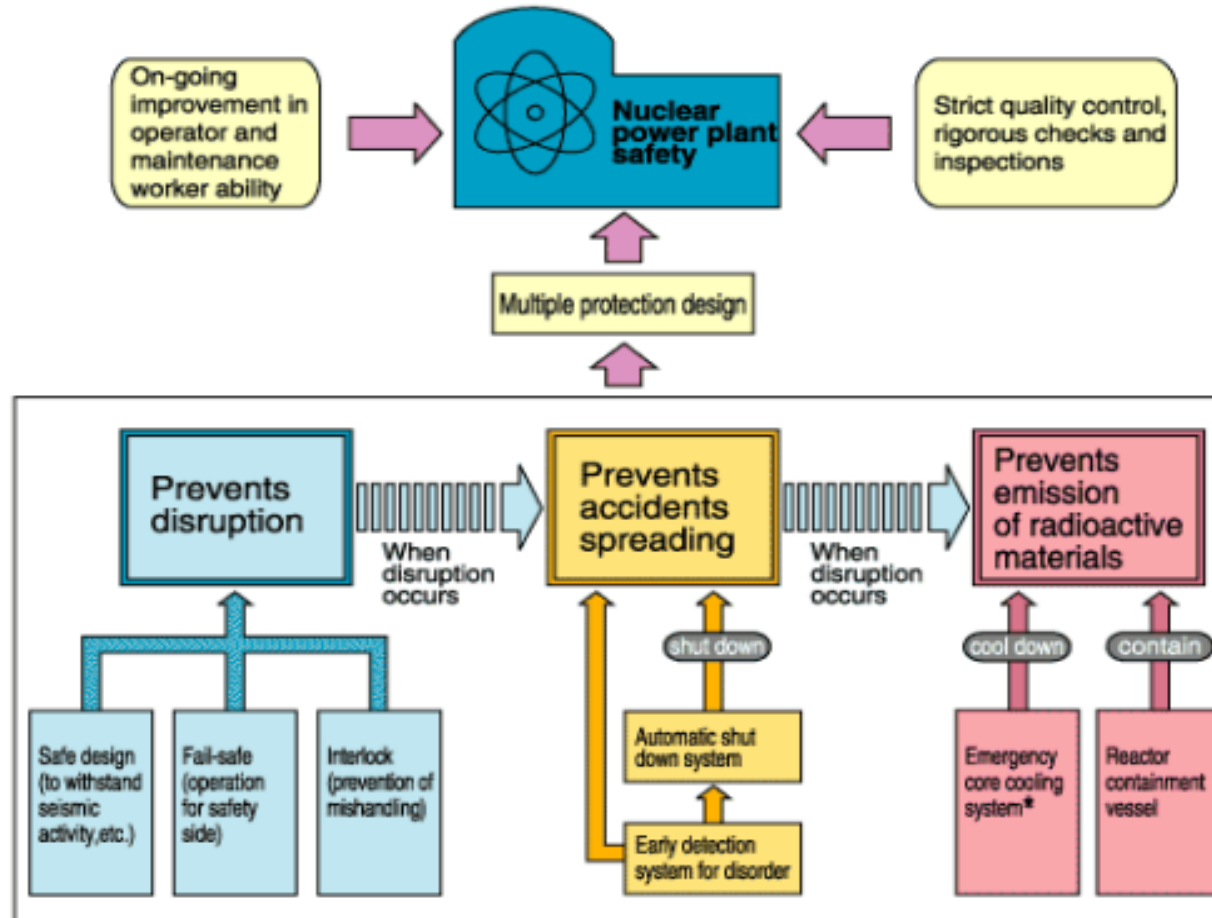
Fitur Keselamatan Teknis (*Engineering Safety Features*)

Fitur keselamatan yang dirancang untuk sistem dan komponen reaktor nuklir:


- Redundansi;** suatu fungsi dijalankan oleh lebih dari satu subsistem atau peralatan; misalnya sistem proteksi reaktor terdiri dari 4 kanal, diperlukan sekurang-kurangnya dua kanal beroperasi sehingga sistem proteksi berhasil memadamkan reaktor.
- Diversitas;** suatu fungsi dijalankan oleh lebih dari satu subsistem dengan desain yang berbeda; misalnya pengendalian reaktor melalui batang kendali dan injeksi asam borak.
- Pemisahan fisik;** komponen atau sistem yang dirancang untuk melakukan fungsi yang sama dipisahkan tempatnya secara fisik untuk melindungi dari kegagalan bersamaan akibat banjir, kebakaran dll.
- Fail Safe Principle;** komponen atau sistem dirancang untuk membawa kepada kondisi yang aman (safe) ketika mengalami kegagalan atau kehilangan daya listrik, misalnya batang kendali akan seketika jatuh bebas saat kehilangan daya listrik.



Fitur Keselamatan Reaktor (6)



* Emergency Core Cooling System (ECCS): When an accident occurs, huge amounts of water will be automatically poured into a nuclear reactor to cool down nuclear fuel.



Klasifikasi
Struktur, Sistem, dan Komponen
(SSK)

Klasifikasi SSK Reaktor

Secara umum, klasifikasi SSK reaktor nuklir didasarkan pada hal berikut:

- ✓ Aspek Keselamatan
- ✓ Aspek Kualitas
- ✓ Aspek Seismik atau Lingkungan

(IAEA Specific Safety Requirement SSR-3)

Klasifikasi Keselamatan SSK

Identifikasi dan klasifikasi berdasarkan:

- Fungsi keselamatan
- Arti penting bagi keselamatan instalasi

Metodologi klasifikasi

- Deterministik
- Probabilistik
- Keputusan para ahli

Pertimbangan

- Fungsi keselamatan SSK
- Konsekuensi kegagalan SSK
- Keandalan SSK
- Waktu yang menyertai PIE atau kejadian awal terpostulasi

PIE = Postulated Initiating Event

Setelah ditetapkan klasifikasinya, selanjutnya SSK dirancang, dikonstruksi, dan dijaga kualitasnya sesuai kelas keselamatannya.

Tujuan klasifikasi keselamatan SSK

Menghubungkan tingkat pentingnya keselamatan dari setiap fungsi SSK ke persyaratan desain (kemampuan, keandalan, dan ketangguhan) dalam rangka mencegah terjadinya kecelakaan nuklir dan mitigasi akibat kecelakaan nuklir.

Metode Klasifikasi Keselamatan SSK

Dalam klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan didasarkan pada metode deterministik yang didukung oleh metode probabilistik dengan mempertimbangkan:

1. Fungsi keselamatan yang diemban
2. Konsekuensi kegagalannya (tingkat keparahan)
3. Frekuensi dalam melaksanakan fungsi keselamatan
4. Lamanya waktu respon sejak kejadian pemicunya

Tingkat Keparahan Kegagalan SSK

Menurut IAEA SSG-30 (*Safety Classification of Structure, System and Components in Nuclear Power Plant*), terdapat 3 tingkat keparahan jika SSK gagal memenuhi fungsi keselamatan

Keparahan Tingkat Tinggi

- Lepas material radioaktif melampaui batas yang ditetapkan pada kondisi DBA, beberapa parameter fisis melampaui batas DBA.

Keparahan Tingkat Menengah

- Lepas material radioaktif melampaui batas yang ditetapkan pada kondisi AOO, beberapa parameter fisis melampaui batas AOO.

Keparahan Tingkat Rendah

- Jika dosis yang diterima pekerja melebihi batas yang ditetapkan.

DBA = Design Basis Accident

AOO = Anticipated Operational Occurrences

Klasifikasi Keselamatan

- ❖ **Kelas Keselamatan A atau Kelas Keselamatan 1** → berfungsi untuk mempertahankan integritas elemen bakar nuklir dan **mencegah** terjadinya kecelakaan nuklir → elemen bakar
- ❖ **Kelas Keselamatan B atau Kelas Keselamatan 2** → berfungsi untuk **mengurangi** dampak suatu kecelakaan nuklir
 - Menjamin tersedianya pendingin reaktor
 - Memindahkan panas dari teras reaktor setelah terjadinya kegagalan sistem pendingin → membatasi kerusakan elemen bakar nuklir
- ❖ **Kelas Keselamatan C atau Kelas Keselamatan 3** → apabila mengalami kegagalan dalam operasinya **tidak akan menimbulkan** kecelakaan nuklir

Klasifikasi Kualitas

1. **Kelas Kualitas 1** → mengacu pada *ASME Code Section III, Division I, Subsection NB-Class I Component*
2. **Kelas Kualitas 2** → mengacu pada *Quality Assurance Level (QAL) II, General Atomics, USA*
3. **Kelas Kualitas 3** → mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI)

Klasifikasi Seismik

- 1. Kelas Seismik 1** → kategori tertinggi, diidentifikasi untuk keselamatan dan mencakup semua item penting untuk keselamatan
- 2. Kelas Seismik 2** → terkait dengan aksesibilitas tapak dan item yang diperlukan untuk pelaksanaan rencana evakuasi darurat
- 3. Kelas Seismik 3** → mencakup semua item yang bisa menimbulkan bahaya radiologi tetapi tidak terkait dengan reaktor (misalnya tempat bahan bakar bekas dan bangunan limbah radioaktif).
- 4. Kelas Seismik 4** → semua item yang tidak terdapat dalam kategori seismik 1,2 atau 3.

Klasifikasi SSK Reaktor TRIGA 2000 (Bandung)

Berdasarkan LAK Reaktor TRIGA 2000 Bandung, klasifikasi SSK dilakukan berdasarkan aspek **keselamatan, kualitas, dan seismik**.

Klasifikasi SSK TRIGA Reaktor Kartini (Yogyakarta)

Berdasarkan LAK Reaktor Kartini Yogyakarta, klasifikasi SSK dilakukan berdasarkan aspek **keselamatan dan mutu**.

Klasifikasi SSK Reaktor TRIGA

2000

Klasifikasi Struktur, Komponen dan Sistem Reaktor TRIGA 2000 Bandung Berdasarkan Fungsi Keselamatan dan Kualitas

No.	Struktur/Komponen/Sistem	Kelas Keselamatan			Kelas Kualitas			Kelas Seismik					
		A	B	C	1	2	3	1	2	3	4		
1. Reaktor													
1.1.	Tangki reaktor (<i>Al-lining</i>)			x		x			x				
1.2.	Bulk shielding			x		x							x
1.3.	Pipa berkas (<i>beamport</i>)			x		x			x				
1.4.	Struktur mekanis teras			x		x			x				
1.5.	Rak penyimpanan elemen bakar di dalam tangki reaktor			x					x				x
1.6.	Mekanisme penggerak batang kendali (<i>Control rod drive mechanism</i>)			x		x			x				
1.7.	<i>Magnetic Scram</i>			x		x			x				
1.8.	Katrol geser (<i>crane</i>) di dalam gedung reaktor			x					x				x
1.9.	Jembatan			x		x							x
1.10.	Elemen bakar	x				x			x				
1.11.	<i>Fuel handling tool</i>			x		x							x
1.12.	<i>Transfer cask</i>			x		x							x
1.13.	<i>Sample handling tool</i>			x		x							x
2. Sistem Pembuang Panas													
2.1.	Sistem pendingin primer			x		x			x				
2.2.	Sistem pendingin sekunder			x					x				x
2.3.	Sistem pendingin teras darurat (<i>ECCS</i>)			x					x				
3. Sistem Pemurnian Air													
3.	Sistem Pemurnian Air			x		x							x
4. Sistem Pemadam Api Gedung Reaktor													
4.	Sistem Pemadam Api Gedung Reaktor			x		x							x
5. Demineralized Water Plant													
5.	<i>Demineralized Water Plant</i>			x					x				
6. Sistem Instrumentasi dan Kontrol													
6.1.	Pengukur fluks neutron			x		x			x				
6.2.	Pengukur temperatur bahan bakar di dalam teras			x		x			x				
6.3.	Konsul reaktor			x		x			x				

No.	Struktur/Komponen/Sistem	Kelas Keselamatan			Kelas Kualitas			Kelas Seismik					
		A	B	C	1	2	3	1	2	3	4		
6.4.	Pengukur aliran massa air pendingin primer			x					x				x
6.5.	Pengukur tekanan air pendingin primer			x					x				x
6.6.	Pengukur temperatur air keluaran penukar panas			x					x				x
6.7.	Pengukur tinggi air di dalam tangki reaktor			x					x				x
6.8.	Pengukur temperatur air di dalam tangki reaktor			x					x				x
7. Penyediaan Daya Listrik													
7.1.	<i>Normal, low voltage switchgear</i>			x					x				x
7.2.	Transformer distribusi			x					x				x
7.3.	Disel darurat			x					x				x
7.4.	Pentanahan dan sistem penangkal petir			x					x				x
7.5.	Catu daya tak terputus (<i>UPS</i>) untuk konsul reaktor			x					x				x
8. Struktur Sipil													
8.1.	Gedung reaktor			x					x				x
8.2.	Rumah generator disel			x					x				x
8.3.	Menara pendingin			x					x				x
9.	Sistem Ventilasi Udara			x					x				x

Klasifikasi SSK TRIGA Reaktor

Kartini

Klasifikasi Struktur, Komponen dan Sistem Reaktor Kartini Berdasarkan Fungsi Keselamatan

No	Struktur/Komponen/Sistem	Kelas Keselamatan		
		I	II	III
1. Reaktor				
1.1	Tangki reaktor	x		
1.2	Bulk Shielding		x	
1.3	Pipa berkas (<i>beamport</i>)		x	
1.4	Struktur dan komponen teras	x		
1.5	Rak penyimpanan bahan bakar dalam tangki reaktor			x
1.6	Sistem mekanisme penggerak batang kendali		x	
1.7	Sistem Scram (Sistem kendali reaktivitas)	x		
1.8	Pesawat angkat (<i>crane</i>) dalam gedung reaktor			x
1.9	Jembatan atas kolam reaktor			x
1.10	Elemen bahan bakar	x		
1.11	Fuel handling tool			x
1.12	Transfer Cask			x
1.13	Alat pancing sampel (<i>sample handling tool</i>)			x
2. Sistem Pendingin Reaktor				
2.1	Air pendingin primer	x		
2.2	Air pendingin sekunder		x	
2.3	Menara pendingin		x	
2.4	Pompa primer	x		
2.5	Pompa sekunder		x	
2.6	Demineraliser	x		
2.7	Sistem katup dan pipa primer	x		
2.8	Sistem katup dan pipa sekunder		x	
2.9	Alat penukar panas (<i>Heat Exchanger, HE</i>)	x		
3. Sistem produksi air primer (pemurnian air)				
3	Sistem produksi air primer (pemurnian air)			x
4. Sistem pemadam api gedung reaktor				
4	Sistem pemadam api gedung reaktor			x
5. Sistem Instrumentasi dan Kendali				
5	Sistem Instrumentasi dan Kendali			

No	Struktur/Komponen/Sistem	Kelas Keselamatan		
		I	II	III
5.1	Pengukur Fluks Neutron (FC dan CIC)	x		
5.2	Pengukur temperatur bahan bakar teras	x		
5.3	Konsul dan panel reaktor		x	
5.4	Komputer kendali dan akuisisi			x
5.5	Pengukur debit aliran pendingin primer		x	
5.6	Pengukur temperatur input/output pendingin primer		x	
5.7	Pengukur tinggi (level) air tangki reaktor		x	
5.8	Pengukur temperatur air tangki reaktor		x	
6. Penyediaan Daya Listrik				
6.1	Transformer distribusi			x
6.2	Disel darurat			x
6.3	Pentanahan dan sistem penangkal petir			x
6.4	Catu daya tak terputus (<i>UPS</i>) untuk konsul reaktor		x	
7. Struktur Sipil				
7.1	Gedung reaktor	x		
7.2	Rumah blower			x
7.3	Rumah pompa sekunder			x
7.4	Rumah generator disel			x
7.5	Cerobong udara (<i>stack</i>)			x
8. Sistem Ventilasi Udara				
8.1	Blower		x	
8.2	Filter udara (pre-filter dan absolute filter)		x	
8.3	Ducting		x	
9	Sistem monitor radiasi ruangan		x	



Terima kasih

Haturnuhun

Maturnuwun

Thank you