



# FITUR KESELAMATAN TEKNIS REAKTOR TRIGA

**Prasetyo Haryo Sadewo**

Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran  
Badan Riset dan Inovasi Nasional

YOGYAKARTA, 17 FEBRUARI 2025  
PELATIHAN OPERATOR DAN  
SUPERVISOR REAKTOR NON-DAYA 2025



PROFESIONAL  
OPTIMIS  
PRODUKTIF

# PROFIL

## Pendidikan:

- S.T., Teknik Nuklir (UGM)
- M.Eng, Rekayasa Sistem Energi Nuklir (UGM)
- M.Sc, Advanced Nuclear Waste Management (IMT-Atlantique)

## Pelatihan Terkait:

- Basic Professional Training Course on Reactor Safety (BATAN), 2020
- Regional Exchange on Transport Security Planning for Nuclear and Other Radioactive Materials (US DoE), 2021
- Research Reactor Aging Management (BATAN), 2021
- International Training Course: Reactor Engineering (IAEA), 2021
- Introduction to the IAEA and Safeguards (IAEA), 2022
- Train-the-Trainers Course: Research Reactors and Cyclotrons, Applications, Infrastructure, Educational Programmes (ROSATOM-Tomsk Polytechnic University), 2023

## Minat:

- Neutronik, Keselamatan Reaktor, Pengelolaan Limbah Radioaktif, Radiokimia, Pendidikan Nuklir



Kontak: [pras008@brin.go.id](mailto:pras008@brin.go.id)

# KOMPETENSI DASAR

- Peserta diklat mampu untuk memahami peran fitur keselamatan teknis untuk pengoperasian keselamatan reaktor TRIGA
- Karakter memitigasi kecelakaan terparah di reaktor TRIGA

# INDIKATOR KEBERHASILAN

- Mengerti watak keselamatan melekat (*inherent safety*) reaktor TRIGA
- Mengerti watak pengungkungan zat produk fisi dan sistem proteksi reaktor
- Mengerti sistem keselamatan teknis
- Memahami sistem penyungkup
- Memahami dasar desain fitur keselamatan teknis
- Memahami fungsi gedung reaktor dan sistem ventilasi

# TUJUAN

Peserta diklat penyegaran operator :

- memahami fitur keselamatan teknis sebagai bagian sistem keselamatan reaktor TRIGA
- memahami prinsip dan implementasi fitur keselamatan teknis di reaktor TRIGA,
- dalam kondisi kecelakaan mampu mengoperasikan Struktur Sistem dan Komponen yang tepat untuk memitigasi kecelakaan.

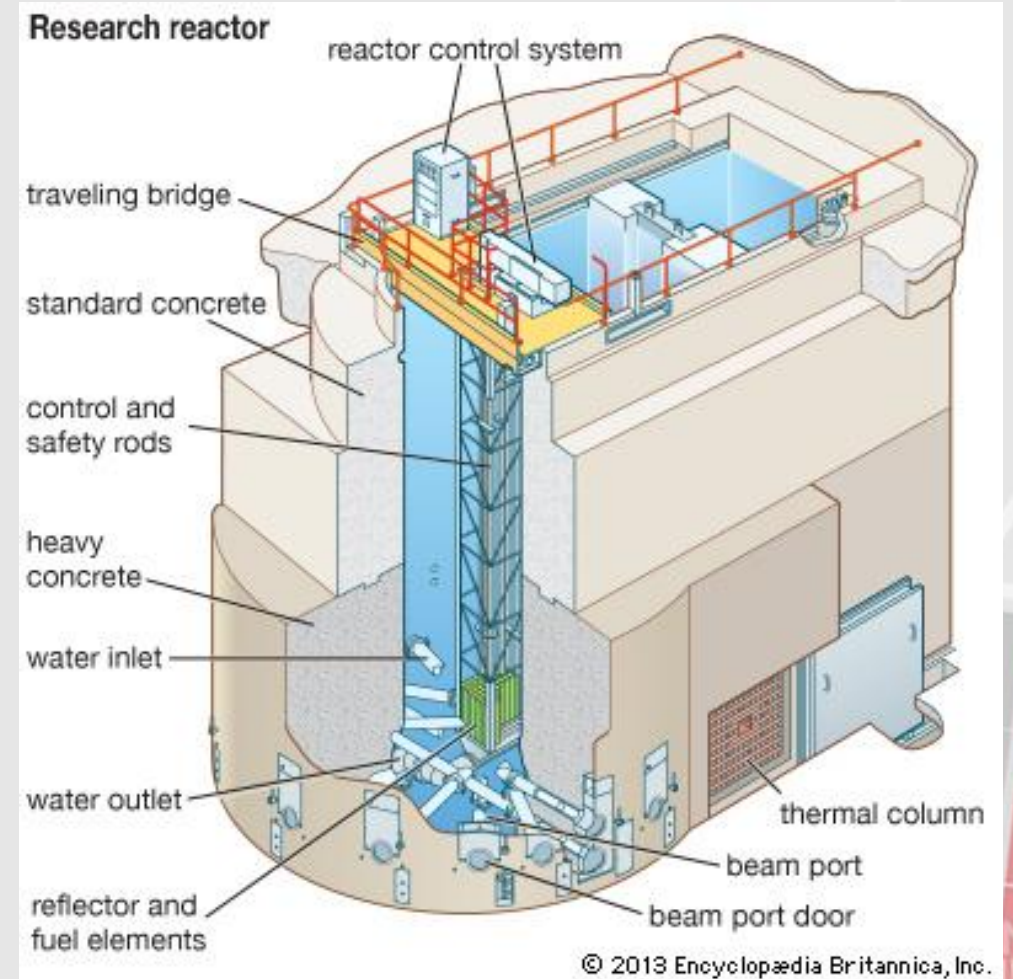
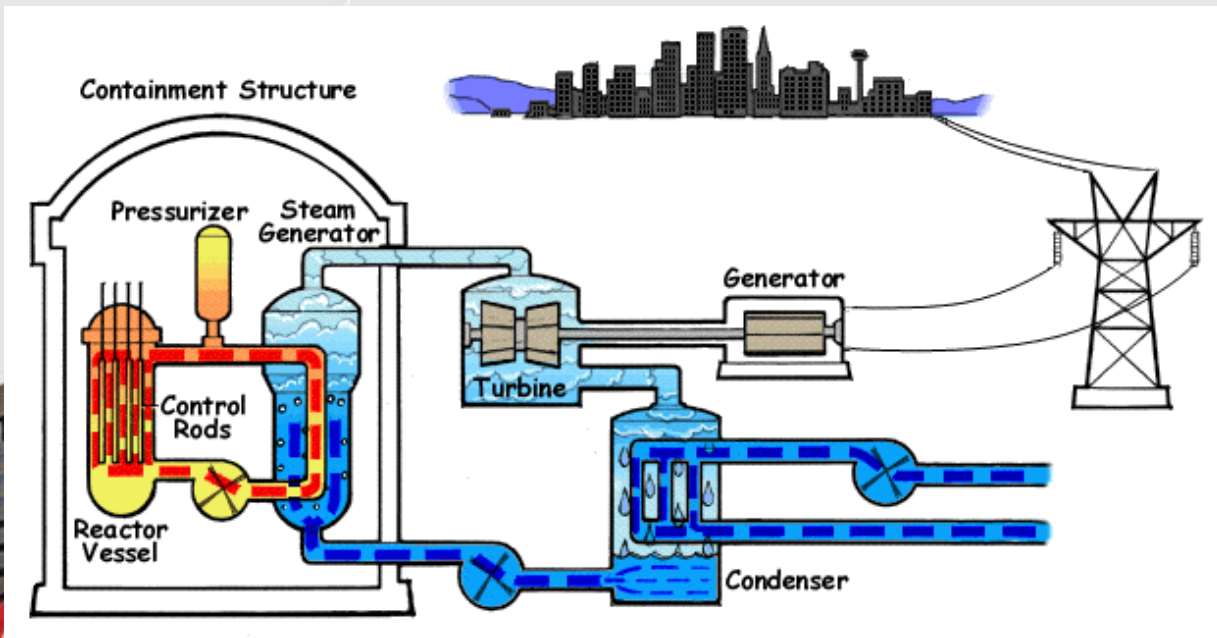
# TOPIK BAHASAN

REAKTOR TRIGA

FITUR KESELAMATAN TEKNIS

# REAKTOR TRIGA

## Jenis Reaktor Nuklir



© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

# REAKTOR TRIGA

## Jenis-jenis Reaktor Nuklir

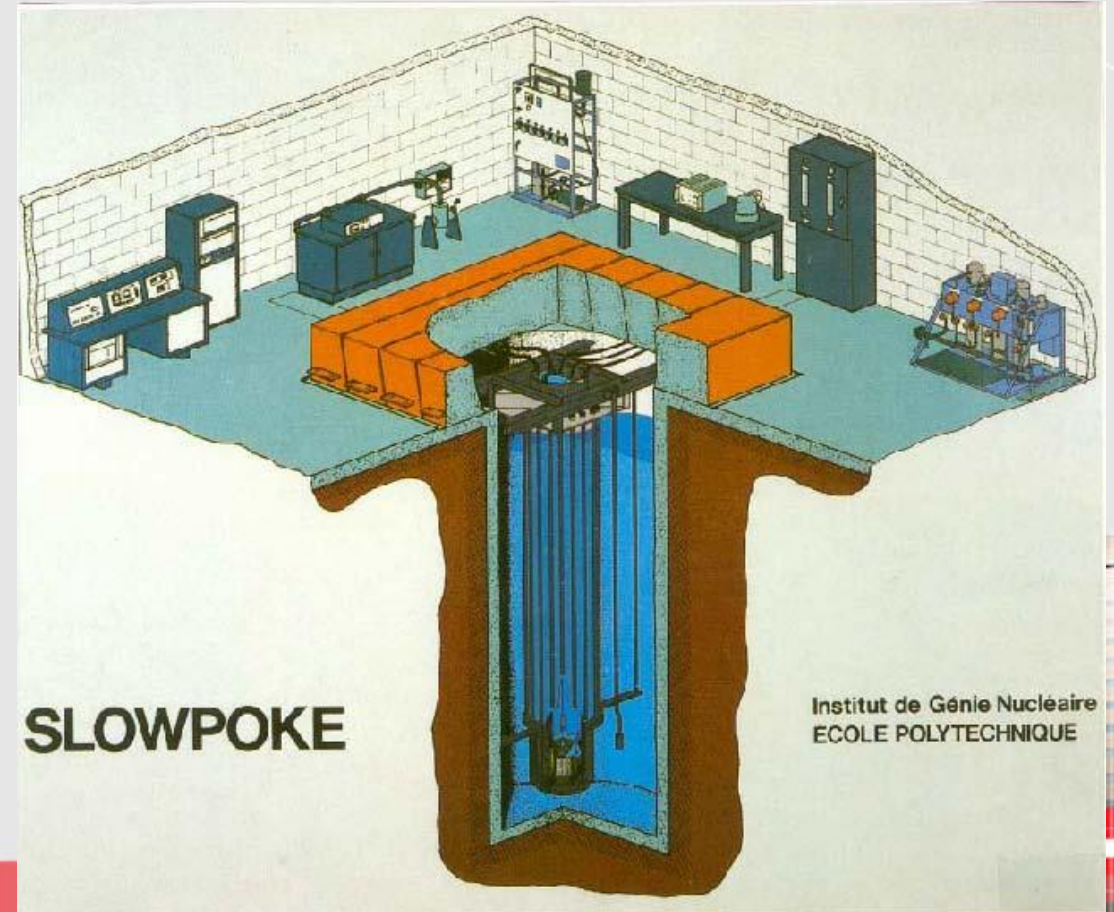
	REAKTOR DAYA	REAKTOR NON-DAYA
KOMERSIAL	PLTN	REAKTOR RISET
NON-KOMERSIAL	REAKTOR PROPULSI / PROTOTYPE	



# REAKTOR TRIGA

## Klasifikasi Reaktor Non-daya

- Reaktor Kolam (Pool)
- Reaktor Tangki (Tank)
- *Tank in Pool (TIP)*

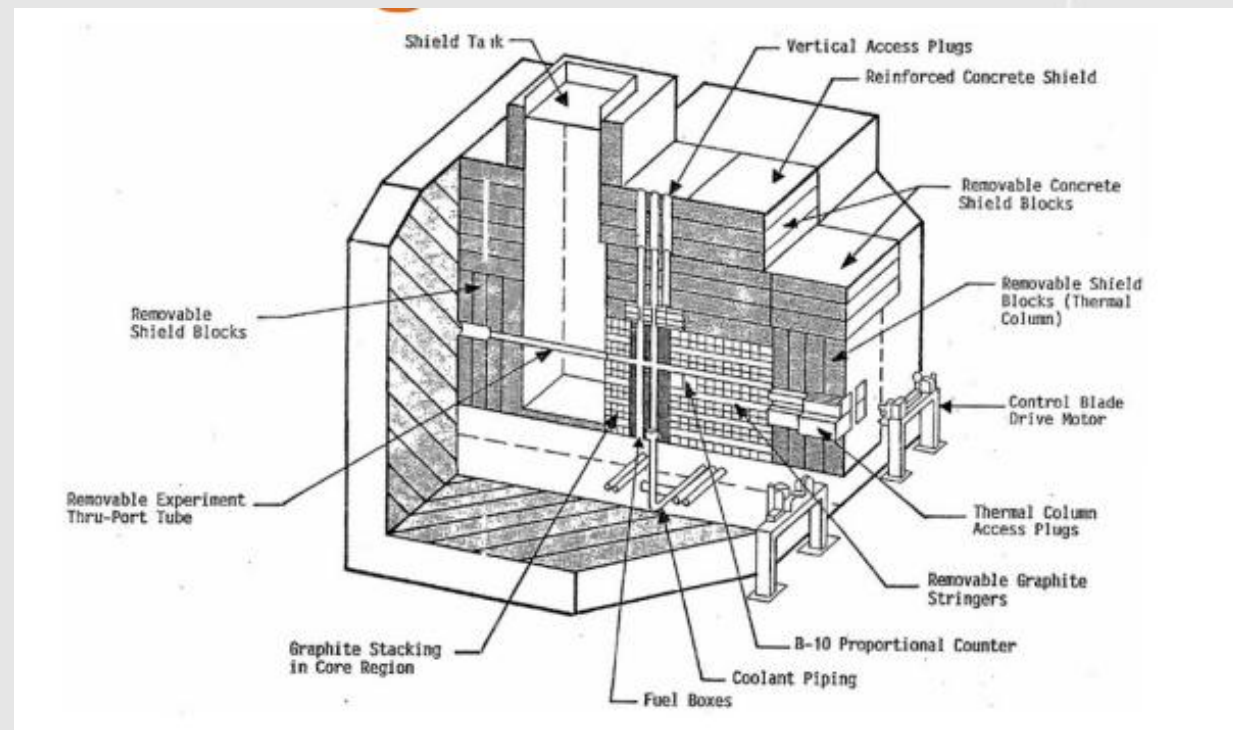


TIP Reactor Schematic

# REAKTOR TRIGA

## Jenis-Jenis Reaktor Riset

- TRIGA (Training, Research, and Isotope Production By General Atomic)
- IRT
- Argonaut (Argonne Nuclear Assembly for University Training)
- Slowpoke (Safe Low Power Kritical Experiment)
- MTR (G.A. Siwabessy, Jules Horowitz)



Argonaut Reactor Schematic

# REAKTOR TRIGA

TRIGA (Training, Research, and Isotope Production By General Atomic)

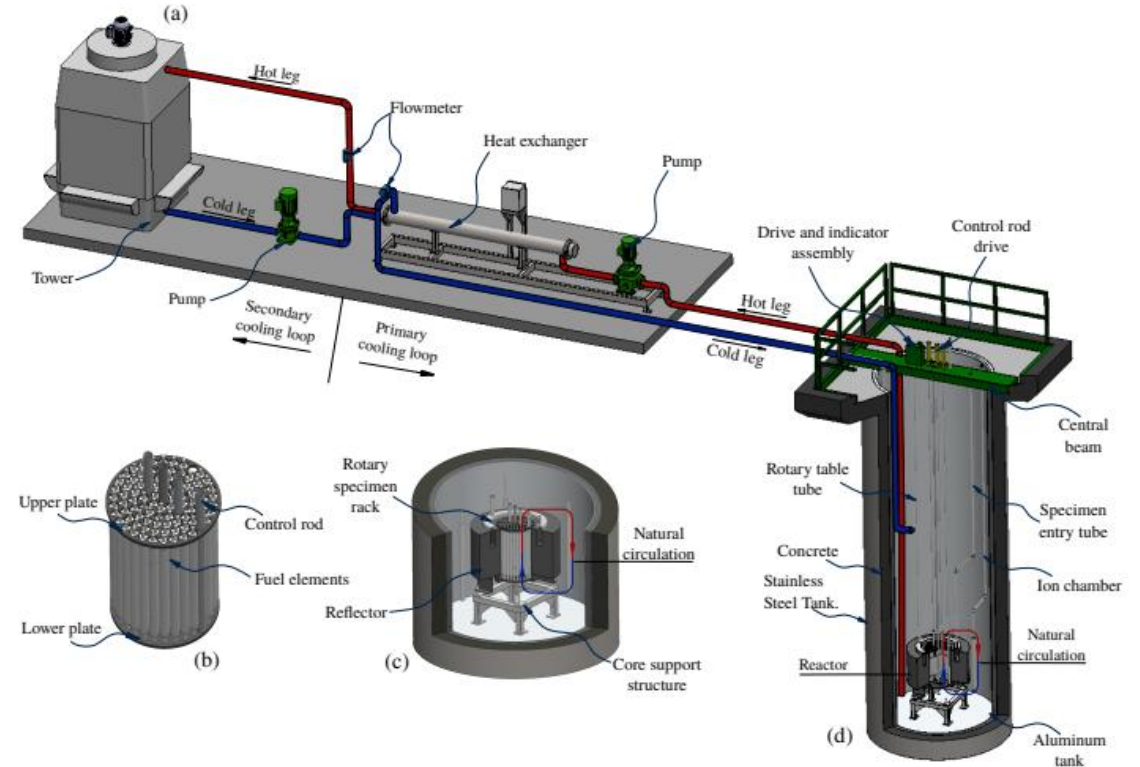
- Daya Rendah(100 kW – 3 MW)
- Tipe Kolam
- Dapat di pulsa hingga 6500 MW
- Inherent Safety
- Fleksibel secara Operasional
- Relatif Murah Dioperasikan
- Berbagai macam eksperimen
- Menggunakan Low enriched uranium
- Dapat dimodifikasi menjadi MPR untuk daya lebih tinggi



# REAKTOR TRIGA

## Varian Reaktor TRIGA

- Mark-I: underground pool without beam tubes
- Mark-II: above ground tank with several beam tubes
- Mark-III: above ground oval tank with movable core.



**Figure 1: Schematic representation of the TRIGA MARK I IPR-I: (a) Cooling loop - (b) View of the fuel elements - (c) View of the reactor core - (d) View of the reactor pool [9]**

# REAKTOR TRIGA

## Varian Reaktor TRIGA Mk III

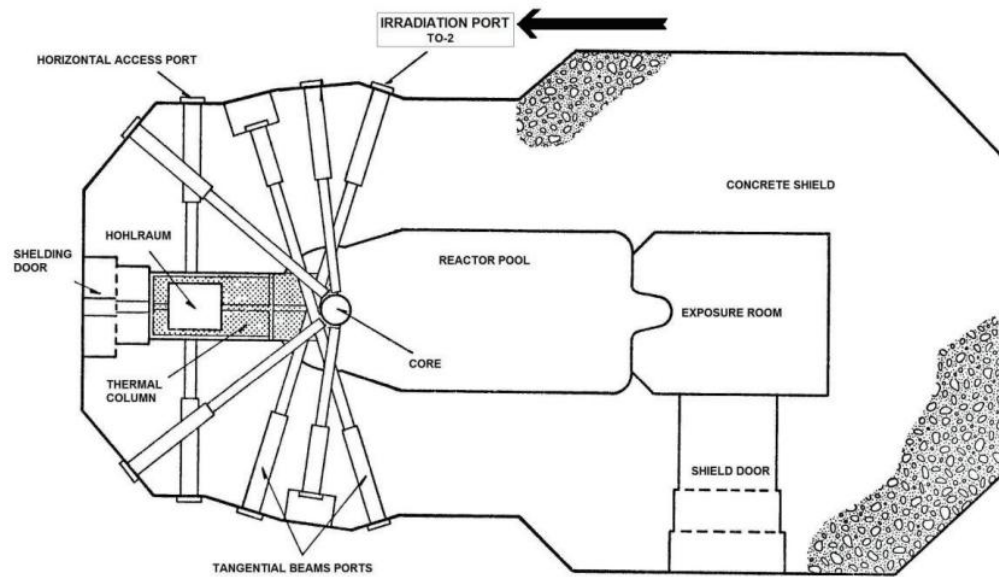
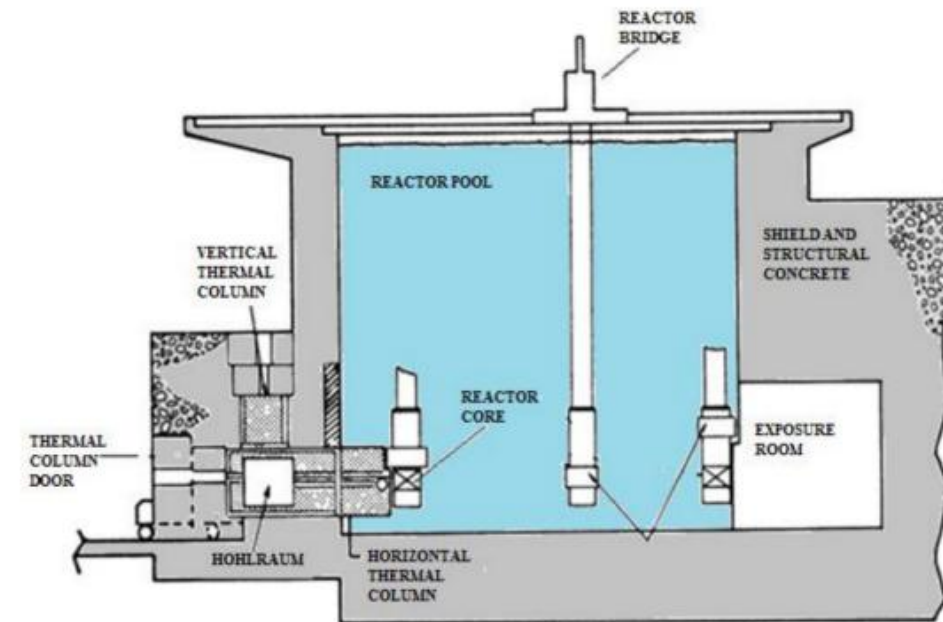


Figure 2.- Diagram of the ININ Triga Mark III research reactor.



# REAKTOR TRIGA

## Pulsa Reaktor TRIGA

- Reaktor JSI
- Inseri sebesar 2\$
- Max power: 135 MW
- Released energy: 7.8 MWs
- Fuel temperature: 270 °C
- Sumber:  
<https://www.youtube.com/watch?v=mEaCwKGmX88>

# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## Konsep Keselamatan

- Fungsi dasar dari konsep keselamatan yang diterapkan di reaktor TRIGA diantaranya:
  - Mengendalikan reaktivitas.
  - Membuang panas yang timbul di teras reaktor.
  - Mengungkung lepasan zat radioaktif dan menahan radiasi.
- Hal ini dicapai melalui
  - Defense in Depth
  - Multiple Barrier

# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## Implementasi Konsep Keselamatan

Redundansi :

- Menggunakan perangkat/komponen lebih dari satu dengan fungsi dan jenis yang sama.

Diversity :

- Menggunakan perangkat/komponen lebih dari satu dengan jenis yang berbeda, namun mempunyai fungsi yang sama.

Independence :

- Pengaturan atau pemisahan lokasi antar SSK, baik secara fisik atau berdasarkan fungsinya, sehingga jika terjadi kegagalan pada salah satu SSK tidak menghambat fungsi SSK disekitarnya.

Gagal Selamat (Fail-Safe) :

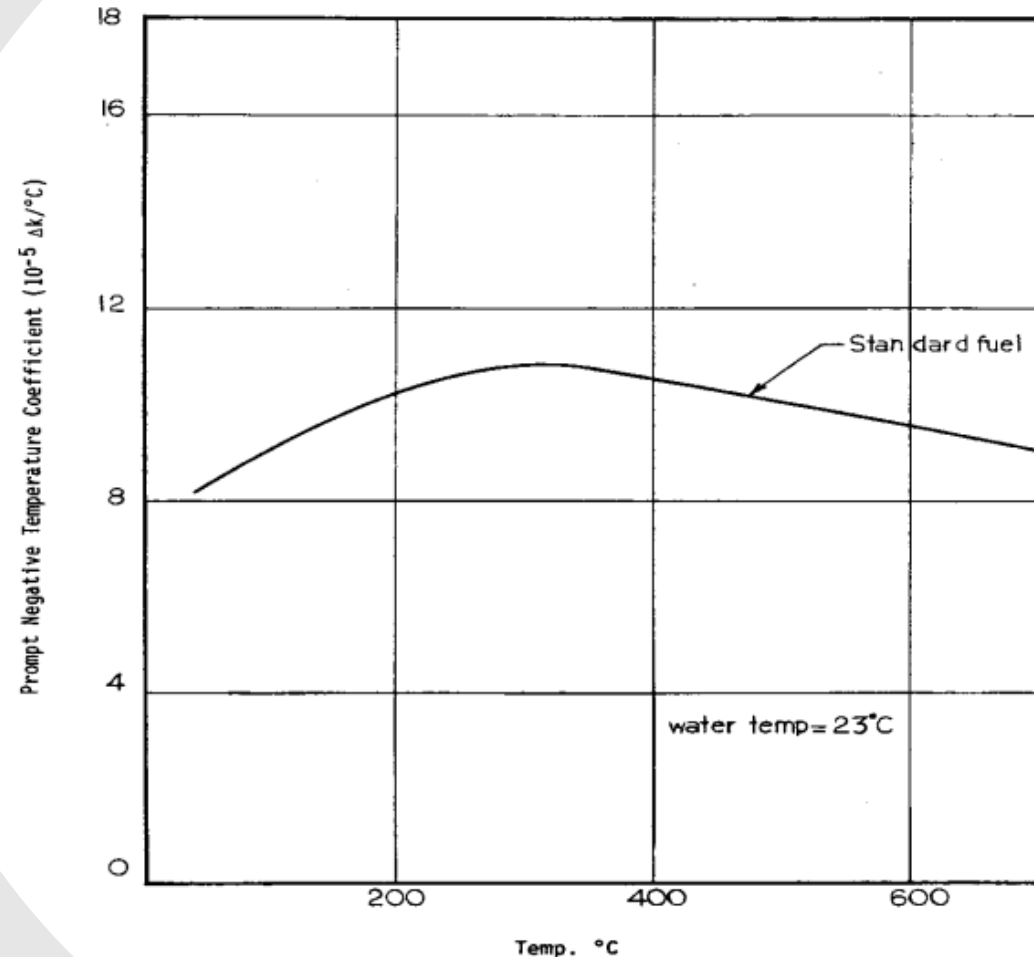
- Fitur keselamatan tetap berfungsi , walaupun terjadi kegagalan pada SSK (Fail to open, fail to close, fail to start, fail to process) sistem akan tetap bekerja pada kondisi aman terhadap sistem/fasilitas lainya. Kegagalan tersebut dapat disebabkan oleh faktor teknis dan non-teknis.



# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## Inherent Safety

- Moderasi
  - Moderasi oleh air
  - Moderasi oleh ZrH
- Koefisien temperatur negatif
- Disebabkan oleh
  - Efek Sel
  - Efek Doppler
  - Efek kebocoran neutron



# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## Moderasi Neutron

### Moderasi oleh ZrH:

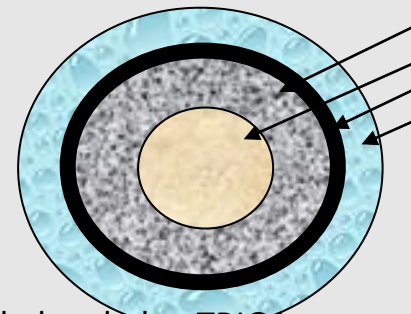
- **T ZrH naik**, kebolehjadian n lolos meningkat
- Air efektif memoderasi n  $\rightarrow$  n termal kembali
- ketangkap UZrH tergantung T pendingin



### Moderasi oleh air:

- **T air naik**, densitas air turun, sifat moderasi air menurun, reaktivitas negatif

**Moderasi** : termalisasi energi neutron ke energi untuk reaksi fisi di 0.025 eV, [85% absorpsi (585 barn), 15% tangkapan radiatif (99 barn), barn:  $10^{-24} \text{ cm}^2$ ]



20%  $U^{235}$  dan 80%  $U^{238}$   
Zirkonium Hidrida  
Stainless Steel  
Air pendingin

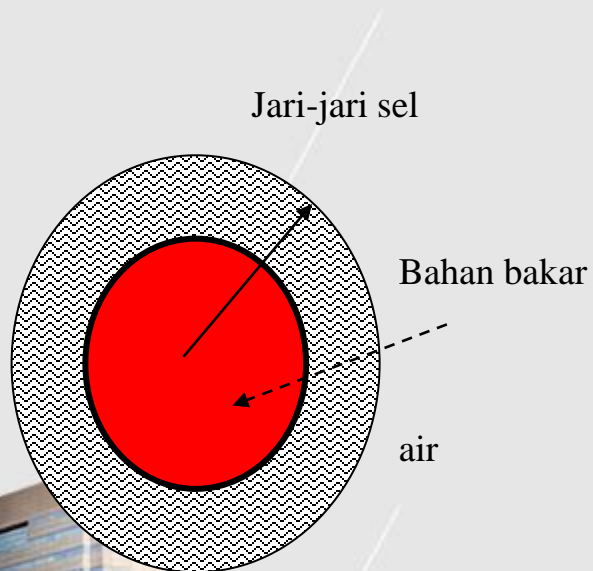
Sel bahan bakar TRIGA

# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## Efek Sel

### EFEK SEL :

- jarak tempuh rerata neutron  $\sim 3$  cm
- sebanding diameter rerata elemen BB
- **T BB naik**  $\rightarrow$  Jarak tempuh rerata neutron naik dan probabilitas neutron terlepas meningkat
- neutron tertermalisasi oleh air
- rasio serapan neutron di dalam bahan bakar terhadap serapan total sel menurun sebagai fungsi kenaikan temperatur elemen bahan bakar
- kesetimbangan neutron teras menjadikan reaktivitas negatif
- Efek sel kontributor koefisien reaktivitas negatif

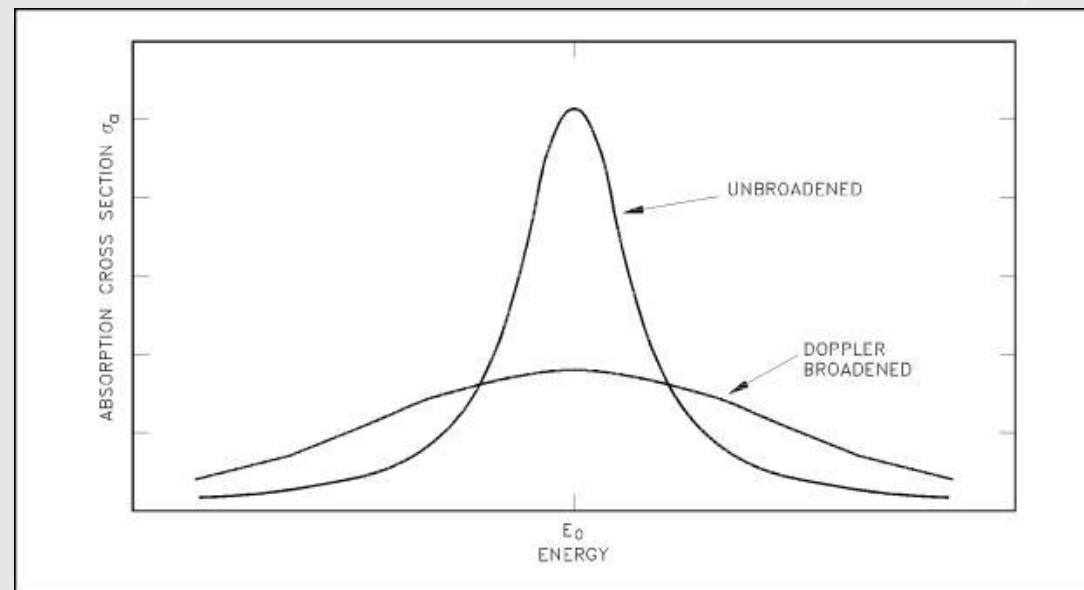


# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## Efek Doppler

- **Efek Doppler :**

- **T BB naik** → probabilitas neutron terlepas meningkat karena lebih banyak tertangkap oleh  $U^{238}$
- jumlah neutron reaksi fisi penumbuk  $U^{235}$  berkurang
- reaktivitas negatif



# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## Efek Bocor

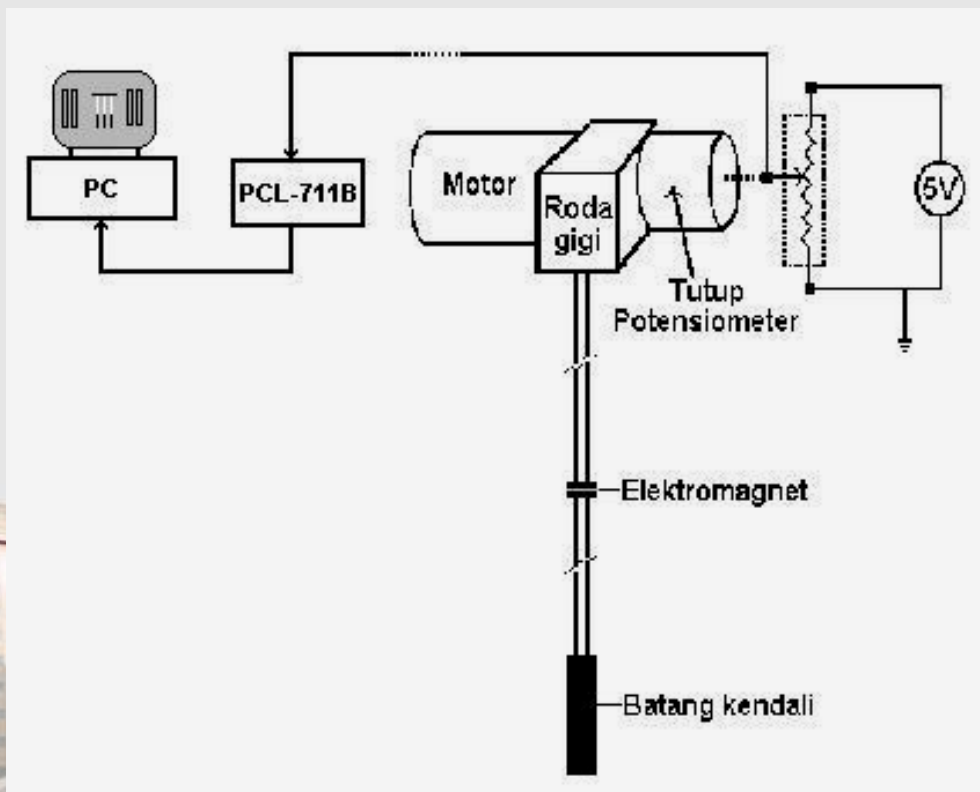
- **Efek Bocor :**

- **T teras naik**, kobocoran neutron akan meningkat
- tangkapan neutron banyak di luar elemen bahan bakar
- kelongsong *stainless steel* penyerap neutron
- penghalang bagi neutron untuk kembali ke bahan bakar
- di perhitungkan sebagai bocor.



# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## SISTEM INSTRUMENTASI KENDALI



Mekanisme penampilan posisi batang kendali

### Mekanisme penggerak batang kendali:

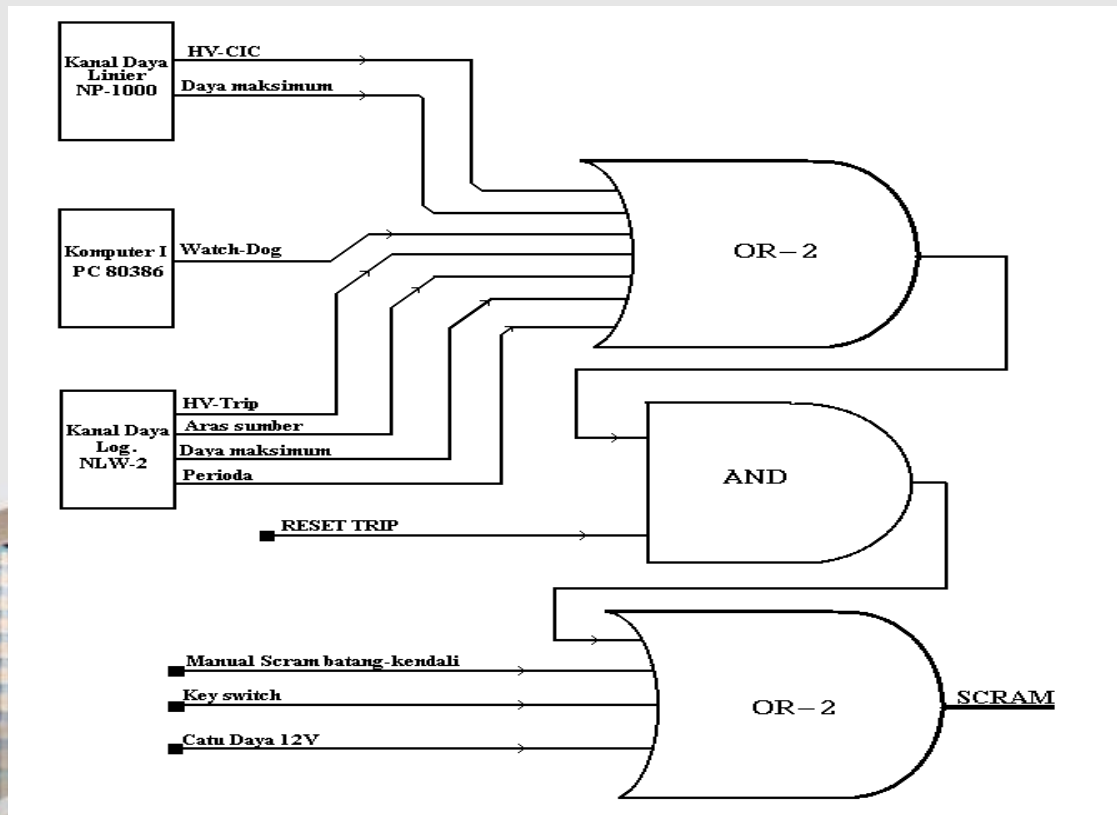
- Menyerap neutron
- Posisi di teras reaktor
- Komponen :
  - 3 jenis batang kendali (pengatur, kompensasi, keselamatan)
  - Motor, roda gigi, potensiometer, elektromagnet

### Parameter Operasi:

Waktu jatuh

# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## SISTEM INSTRUMENTASI KENDALI



logika sistem trip reaktor Kartini

### Kendali reaktivitas:

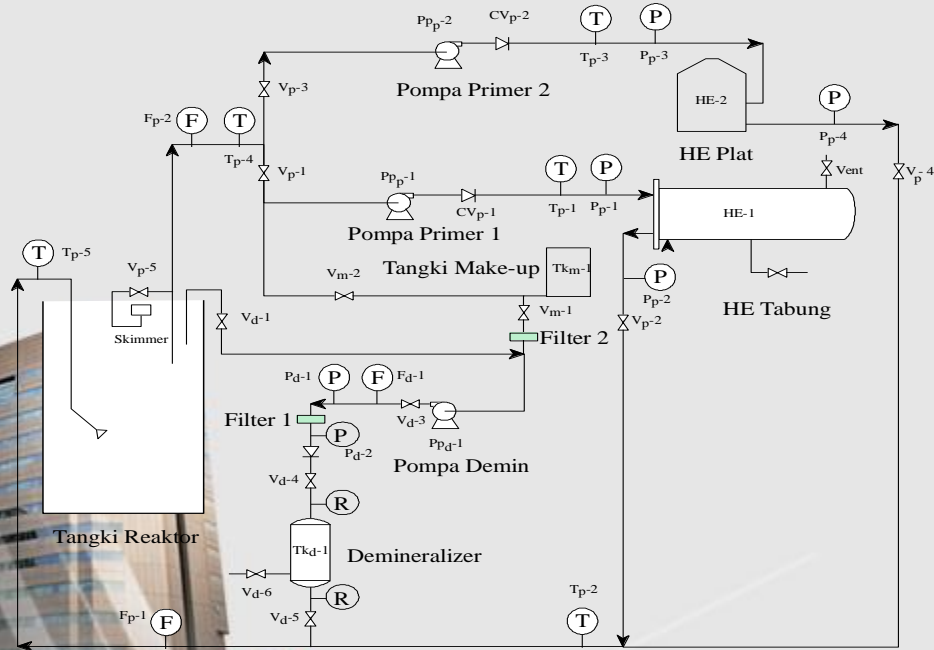
- Proteksi reaktor
- Scram/trip reaktor
- Karakteristik scram:
  - Kenaikan daya terlalu cepat

### Parameter Operasi:

- Fluk neutron
- Daya reaktor
- Periode reaktor

# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

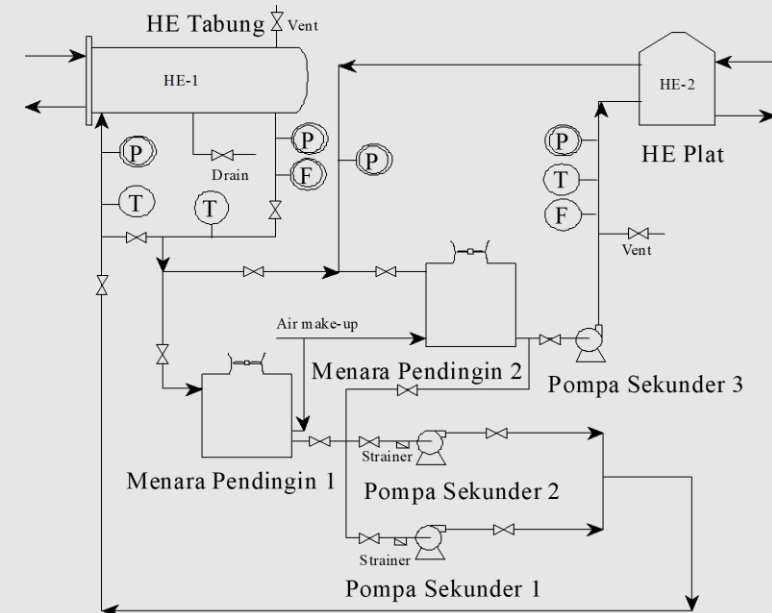
## SISTEM PENDINGIN



### Sistem pendingin :

- ❑ Mengangkut panas
- ❑ Primer → Sekunder → Lingkungan
- ❑ Karakteristik:

- Tekanan sistem sekunder lebih besar dari sistem primer



### Parameter Operasi:

Laju alir

Temperatur pendingin

Laju alir sekunder > Laju alir primer

Tekanan sekunder > Tekanan primer



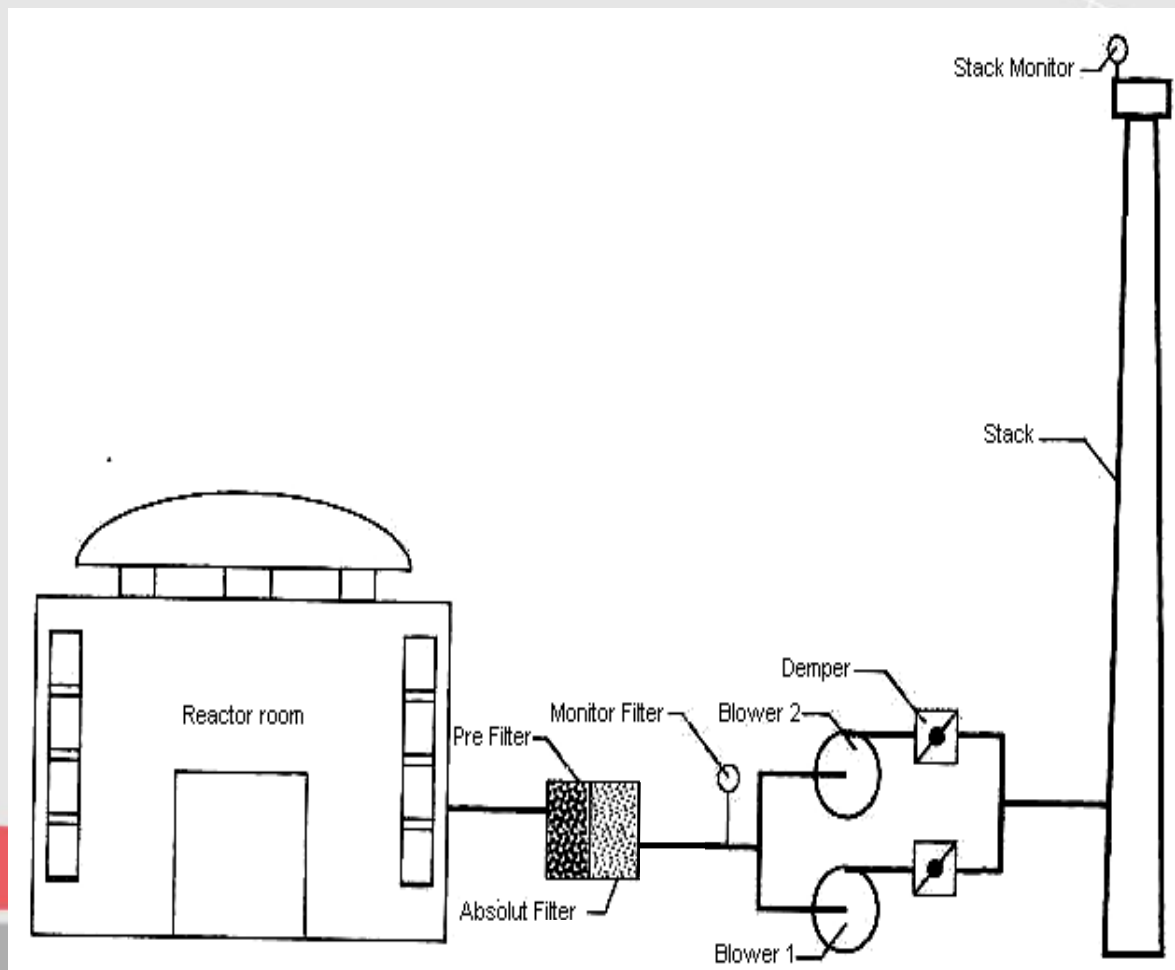
# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## SISTEM PENGUNGKUNG

### Sistem ventilasi reaktor Kartini :

- ❑ Penghalang lepasan (proteksi radiasi)
- ❑ Sirkulasi udara & tekanan negatif
- ❑ **Karakteristik:**
  - direncanakan pergantian udara terjadi 6x/jam
  - kapasitas isap 396,3 m<sup>3</sup>/menit dari ruang reaktor yang bervolume 4450 m<sup>3</sup>.
  - melalui lubang-lubang masukan udara diharapkan peghisapan merata tiap tempat
  - saluran utama keluar gedung lewat rumah filter (berisi *pre-filter* dan *absolut filter*)
  - blower menghembuskan keluar melalui cerobong setinggi 31,75m
  - *Pre-filter* dan *absolut filter* ditempatkan dalam suatu rumah filter

**Parameter Operasi:**  
beda tekanan



# FITUR KESELAMATAN TEKNIS

## SISTEM PENDINGIN TERAS DARURAT

Reaktor Kartini :

- Daya 100 kW,
- Sesaat setelah padam, 10% daya reaktor yang tersisa dalam bentuk panas gamma produk fisi.
- Air tangki reaktor (tinggi 6 m, dari teras 5 m) mampu mendinginkan panas gamma produk fisi tersebut.
- Penurunan temperatur 140 °C (saat operasi) ke temperatur saat *shut down* (sekitar 40 °C) dalam waktu 5-10 menit dan mencapai suhu air tangki reaktor (30 °C) memerlukan pendinginan dengan air tangki reaktor minimal 1 jam.
- Kecelakaan kehilangan air tangki reaktor dan dengan asumsi reaktor segera *shut down*, maka penurunan 5 m memberikan waktu yang cukup untuk pendinginan bahan bakar di teras dan temperatur bahan bakar setelah *shut down* masih jauh dari batas keselamatan bahan bakar leleh.
- Oleh karena itu sistem pendingin teras darurat tidak diperlukan dan tidak ada di fitur keselamatan reaktor Kartini.



**BRIN**  
BADAN RISET  
DAN INOVASI NASIONAL



**TERIMA KASIH**





Thank you