

MANAJEMEN PENANGANAN TERAS REAKTOR

Pelatihan
Supervisor dan Operator Reaktor
17 s.d. 26 Februari 2025

Nailatussaadah
nail003@brin.go.id

LATAR BELAKANG

- **Kebutuhan akan layanan irradiasi yang berkesinambungan**
 - **Upaya untuk menjaga reaktivitas teras agar tetap menghasilkan fluks dan daya yang memadai**
 - **Komitmen dalam *safety* dan *safeguards* bahan nuklir**
-
- **Menjamin kehandalan dan keselamatan penggunaan bahan nuklir di reaktor, dengan memperhatikan batas-batas rancangan BN.**

Peserta Supervisor mampu:

1. Menjelaskan sistem manajemen teras reaktor
2. Melaksanakan pengawasan kegiatan yang berkaitan dengan manajemen teras dan penanganan bahan bakar nuklir serta bahan fisil lainnya.



Perka BAPETEN No. 2 2014 tentang Manajemen Teras serta Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir pada Reaktor Nondaya

Manajemen Teras adalah kegiatan yang berkaitan dengan perangkat bahan bakar, komponen teras dan kendali reaktivitas

Manajemen Teras Reaktor meliputi kegiatan sebagai berikut:

1. Perhitungan Teras
2. Pengisian ulang bahan bakar nuklir
3. Verifikasi karakteristik teras
4. Pemantauan Teras
5. Pemastian Integritas Bahan Bakar Nuklir
6. Penyediaan bahan bakar nuklir dan komponen teras

Pasal 6

- (1) Dalam melakukan perhitungan teras sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf a, PI harus:
 - a. menetapkan metode komputasi;
 - b. menetapkan petugas yang melakukan perhitungan teras; dan
 - c. melakukan analisis kondisi dan karakteristik teras.
- (2) Perhitungan teras sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus dilakukan setiap kali sebelum dilakukan pengisian ulang Bahan Bakar Nuklir untuk memastikan nilai parameter teras tidak ada yang melampaui BKO.

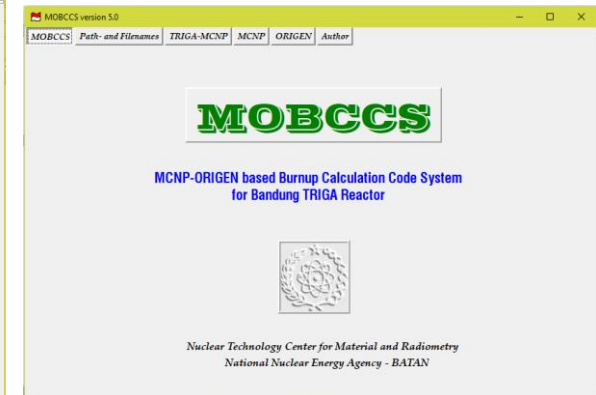
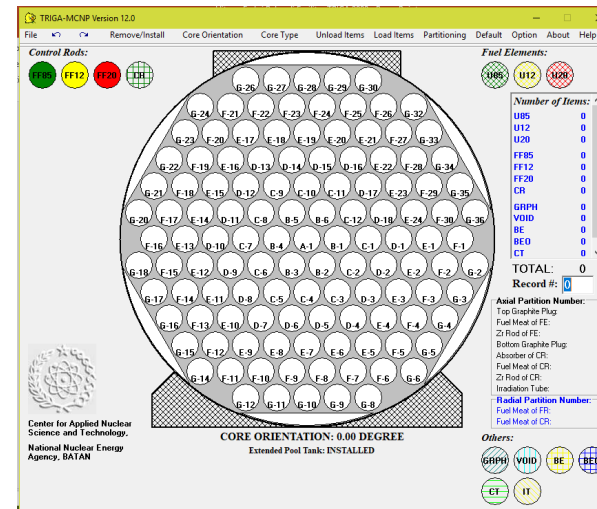
Perangkat utama yang digunakan adalah MCNP – Monte Carlo N-Particle

Perhitungan fraksi bakar

Perubahan reaktivitas teras reaktor terhadap fraksi bakar elemen bakar

Penentuan lokasi dan harga reaktivitas batang kendali
Koefisien reaktivitas terhadap suhu, daya, tekanan, dan hampa maupun terhadap pemuatan sampel

Distribusi fluks neutron dan daya di teras dan di dalam elemen bakar



Definisi Istilah

1. Reaktivitas teras lebih, reaktivitas teras pada kondisi dimana seluruh batang kendali berada pada posisi penaikan maksimum
2. Reaktivitas padam, reaktivitas teras pada kondisi dimana seluruh batang kendali berada pada posisi di dalam teras
3. *Shutdown margin*, reaktivitas teras dimana terdapat 1 buah batang kendali dengan nilai reaktivitas tertinggi tersangkut “*one stuck rod criteria*”
4. *Control rod worth*, adalah besarnya reaktivitas teras yang ditimbulkan dari penarikan setiap batang kendali relatif terhadap kondisi padamnya.

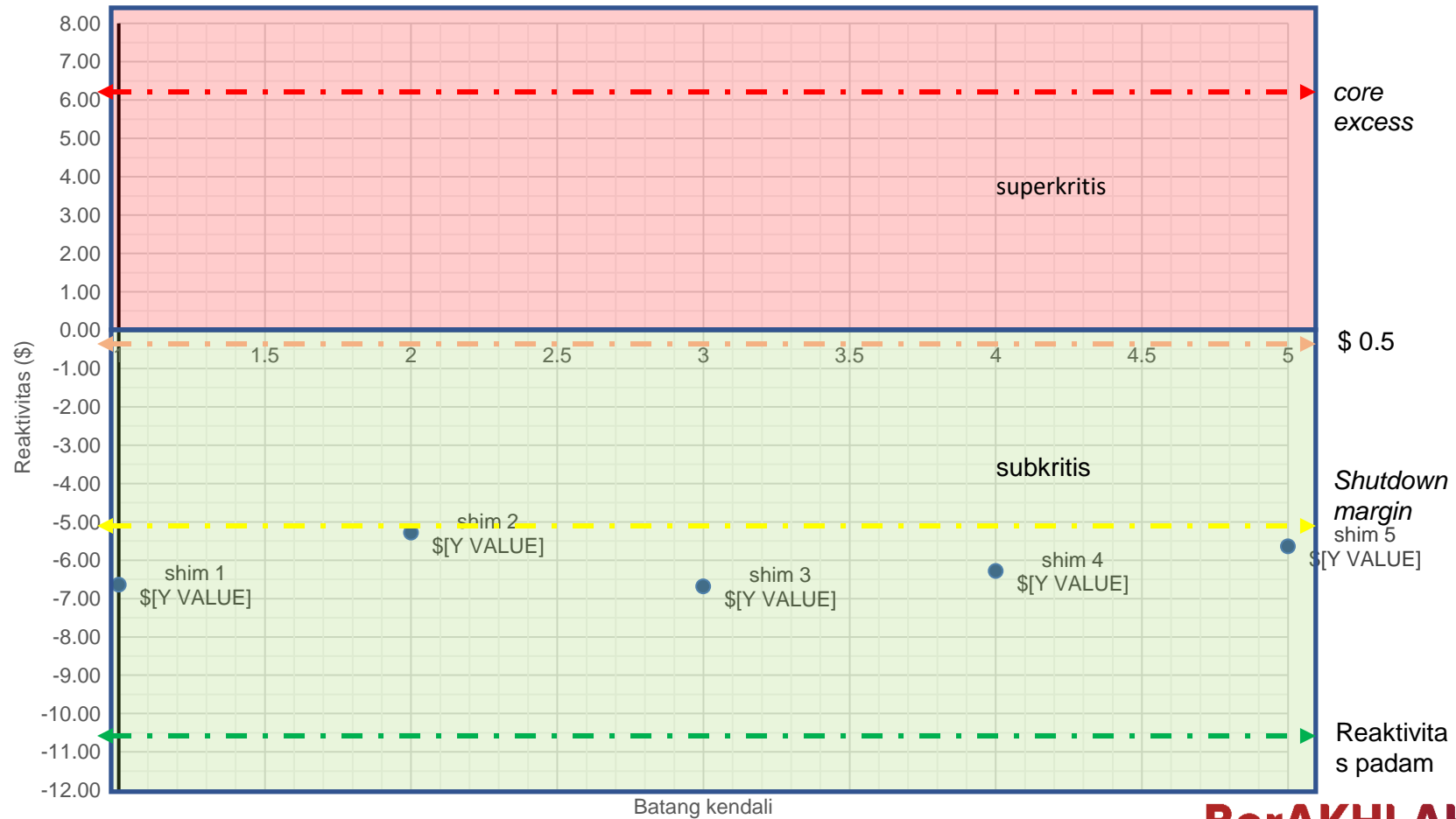
$$\rho_{ce} = \left(\frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \right) \frac{1}{\beta_{eff}}$$

$$CRW_{total} = \sum_{i=1}^5 CRW_i$$

$$\rho_{sm} = \left(\frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \right) \frac{1}{\beta_{eff}}$$

$$\rho_{tot} = \rho_{ce} - \rho_{sm}$$

Ilustrasi Kekritisitan



Pasal 7

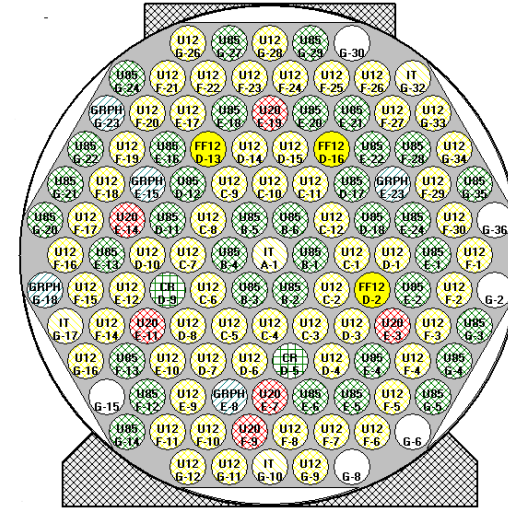
Dalam pengisian ulang Bahan Bakar Nuklir sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf b, PI harus melaksanakan:

- a. persiapan; dan
- b. pengeluaran, pemuatan, dan/atau pemindahan Bahan Bakar Nuklir dan/atau Komponen Teras di dalam teras.

- Memastikan semua parameter neutronik dan termalhidrolika yang telah dihitung sesuai dengan BKO.
- Melakukan pemberitahuan ke BAPETEN terutama ke Direktorat Perizinan
- Melakukan kajian keselamatan pelaksanaan kegiatan pengisian ulang bahan bakar

- Menyusun rencana kegiatan pemindahan dan pengisian bahan bakar
- Melakukan pengeluaran, pemuatan dan pemindahan bahan bakar nuklir di dalam teras

- Dilakukan saat reaktivitas teras mengalami penurunan (biasanya ditandai dengan tingginya penaikan batang kendali untuk daya tertentu di luar kebiasaan)
- *Reshuffling* biasanya dilakukan dengan menyusun ulang EB berdasarkan tingkat fraksi bakarnya (fraksi bakar rendah di tengah teras, yang tinggi di pinggir teras)
- EB baru dapat ditambahkan untuk meningkatkan reaktivitas teras.



Pasal 8

Dalam verifikasi karakteristik teras sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf c, PI harus melaksanakan:

- a. pengujian penarikan dan penyisipan setiap batang kendali;
 - b. pengujian waktu jatuh batang kendali;
 - c. kalibrasi batang kendali;
 - d. pengujian margin shutdown;
 - e. pemetaan fluks dalam teras; dan
 - f. kalibrasi daya.
- Persyaratan prosedural dari *pre-startup* dan uji fungsi terselesaikan serta semua dokumen, prosedur yang dibutuhkan adalah terbaharui, sebelum reaktor dijalankan
 - Pengujian kritikalitas, uji penaikan daya, uji waktu jatuh batang kendali, kalibrasi daya
 - Program surveilans untuk elemen bakar di dalam teras



Pasal 9

Dalam pemantauan teras sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf d, PI harus melakukan:

- a. pemantauan nilai parameter teras; dan
- b. evaluasi parameter teras.

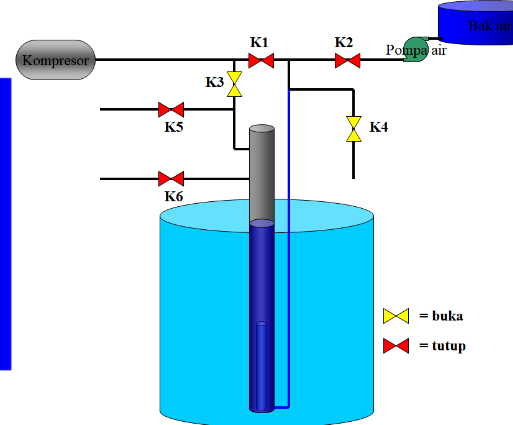
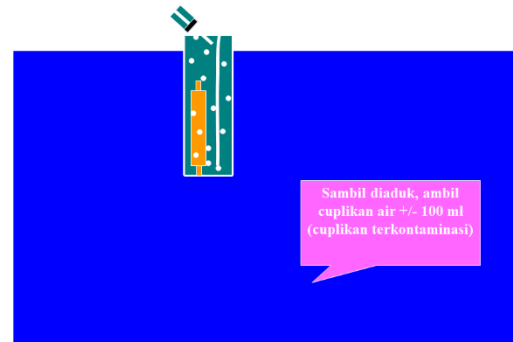
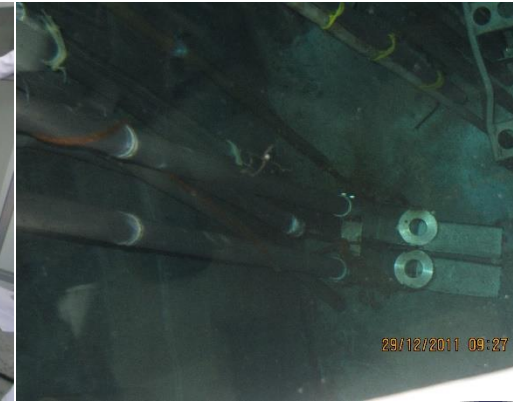
Parameter yang perlu dipantau selama operasi reaktor antara lain:

- Faktor puncak daya aksial dan radial
- Laju perubahan fluks neutron
- Posisi dan pola batang kendali
- Konsentrasi racun di pendingin dan moderator
- Ketinggian air pendingin di dalam tangki reaktor
- Kelancaran operasi dan karakteristik tanggap perangkat pengendali reaktivitas dan pengendali daya lainnya
- Reaktivitas sebagai fungsi dari posisi batang kendali dan ketinggian moderator
- Waktu jatuh batang kendali
- Tekanan, suhu, laju alir primer dan sekunder
- Kajian: daya, suhu, kalor dalam moderator

PEMASTIAN INTEGRITAS BAHAN BAKAR NUKLIR

Pasal 10

- (1) Dalam pemastian integritas Bahan Bakar Nuklir sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf e, PI harus melakukan:
- Pemeriksaan kondisi fisik dan identitas Bahan Bakar Nuklir Segar pada saat penerimaan dan pemindahan;
 - Pemeriksaan kondisi fisik dan identitas Bahan Bakar Nuklir pada saat pemuatan dan pengeluaran;
 - Pemeriksaan kondisi dan dimensi fisik Bahan Bakar Nuklir; dan
 - penanganan Bahan Bakar Nuklir yang rusak atau gagal.



PENYEDIAAN BAHAN BAKAR NUKLIR DAN KOMPONEN TERAS

Pasal 11

Dalam penyediaan Bahan Bakar Nuklir dan Komponen Teras sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf f, PI harus melakukan:

- penetapan spesifikasi Bahan Bakar Nuklir dan Komponen Teras;
- verifikasi persyaratan pemasok;
- verifikasi melalui inspeksi di fasilitas fabrikasi; dan
- verifikasi dokumen fabrikasi dan pengujian, dan gambar terkini.



TRIGA® Reactor FUEL PRICE LIST

TI-100

January-12

PRICES INCLUDE: URANIUM AND RECYCLE CONTENT.

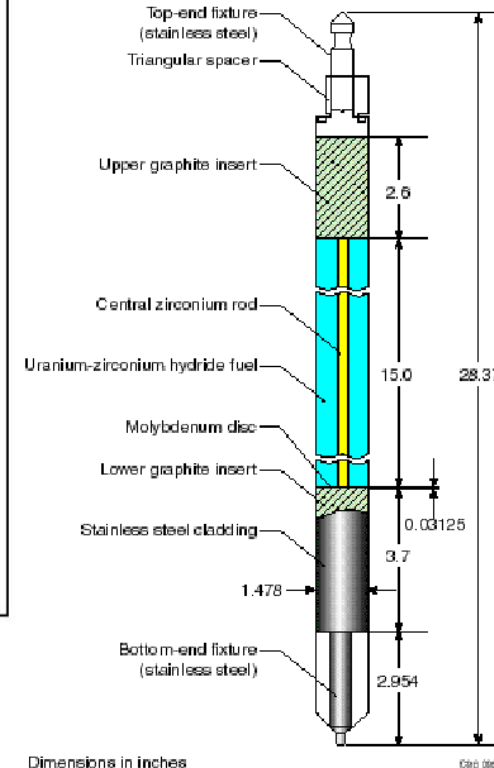
Catalog No.	Type of Fuel Element	Nominal Uranium Content (grams)	Er	Unit Price \$ (1-3)	Unit Price \$ (4-10)
USA	Worldwide				

STANDARD FUEL ELEMENTS FOR TRIGA MARK I, II, III AND ACPR REACTORS
STANDARD ELEMENTS USE 304SS CLADDING AND HAVE A 15-INCH FUEL LENGTH

SINGLE ELEMENTS

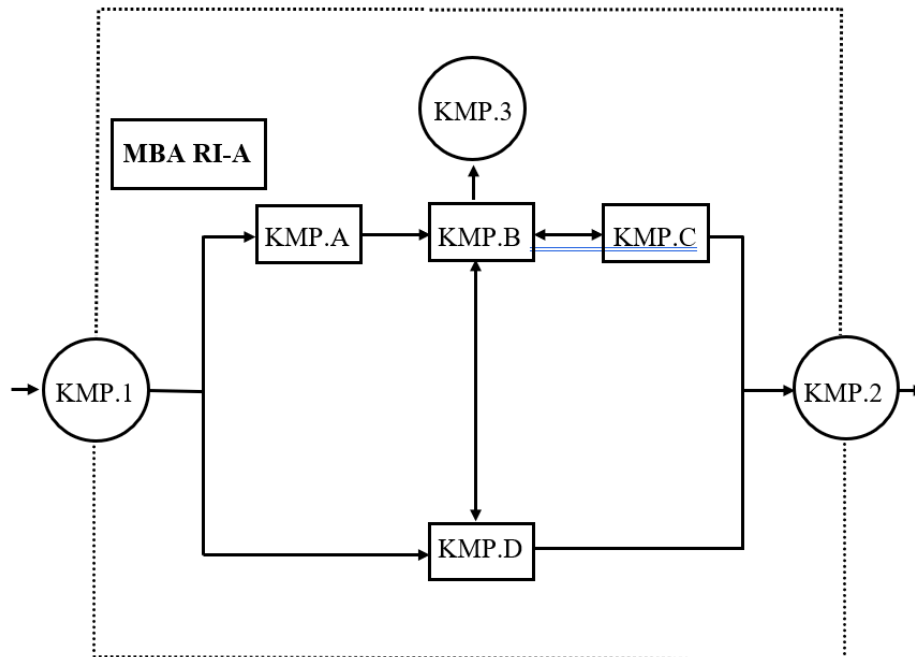
No	Weight	Enrichment	Er	Unit Price \$	Unit Price \$
103	104	8.5 wt%	195	No	60,999 / 56,016
105	106	12 wt% (smooth clad)	285	No	60,829 / 64,091
117	118	20 wt%	503	Yes	77,395 / 86,758
119	120	30 wt%	825	Yes	108,307 / 122,277

Material	Fuel Element			FFCR		
	8.5-20	12-20	20-20	8.5-20	12-20	20-20
U-235 (gram)	38	55	99	32	46	82.5
U-235/U (enrichment)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
U-238 (gram)	152	220	396	128	184	330
U (gram)	190	275	495	160	230	412.5
U/UZrH (w-%)	0.085	0.12	-	0.085	0.12	-
UZrH (gram)	2235.29412	2291.66667	-	1882.35294	1916.66667	-
U-235/UZrH	0.017	0.024	-	0.017	0.024	-
U-238/UZrH	0.068	0.096	-	0.068	0.096	-
ZrH (gram)	2045.29412	2016.66667	-	1722.35294	1686.66667	-
Zr/UZrH	0.89910	0.86471	-	0.89910	0.86471	-
H/UZrH	0.01590	0.01529	-	0.01590	0.01529	-
Zr (gram)	2009.76191	1981.63180	1934.17172	1692.43109	1657.36478	1611.80976
H (gram)	35.53220	35.03487	34.19578	29.92186	29.30189	28.49649
U/UZrHER (w-%)	-	-	0.2	-	-	0.2
UZrHER (gram)	-	-	2475	-	-	2062.5
ZrHER (gram)	-	-	1980	-	-	1650
U-235/UZrHER	-	-	0.04	-	-	0.04
U-238/UZrHER	-	-	0.16	-	-	0.16
Zr/UZrHER	-	-	0.78148	-	-	0.78148
H/UZrHER	-	-	0.01382	-	-	0.01382
Er/UZrHER	-	-	0.00470	-	-	0.00470
Er (gram)	-	-	11.63250	-	-	9.69375
Er-166 (gram)	-	-	3.85564	-	-	3.21304
Er-167 (gram)	-	-	2.66335	-	-	2.21945
ρ_{UZrH} (g/cm ³)	5.79875	5.94499	-	5.84999	5.95663	-
ρ_{UZrHER} (g/cm ³)	-	-	6.42059	-	-	6.40985
$\rho_{UZrHER-166/7}$ (g/cm ³)	-	-	6.40732	-	-	6.39660
N _{U-235} (10 ²⁴ /cm ³)	2.52568E-04	3.65559E-04	6.58006E-04	2.54800E-04	3.66274E-04	6.56905E-04
N _{U-238} (10 ²⁴ /cm ³)	9.97510E-04	1.44376E-03	2.59878E-03	1.00632E-03	1.44659E-03	2.59443E-03
N _{Zr} (10 ²⁴ /cm ³)	3.44190E-02	3.39372E-02	3.31244E-02	3.47231E-02	3.40037E-02	3.30690E-02
N _H (10 ²⁴ /cm ³)	5.50704E-02	5.42996E-02	5.29991E-02	5.55570E-02	5.44059E-02	5.29104E-02
N _{Er} (10 ²⁴ /cm ³)	-	-	1.08649E-04	-	-	1.08467E-04
N _{Er-166} (10 ²⁴ /cm ³)	-	-	3.63007E-05	-	-	3.62399E-05
N _{Er-167} (10 ²⁴ /cm ³)	-	-	2.49248E-05	-	-	2.48831E-05



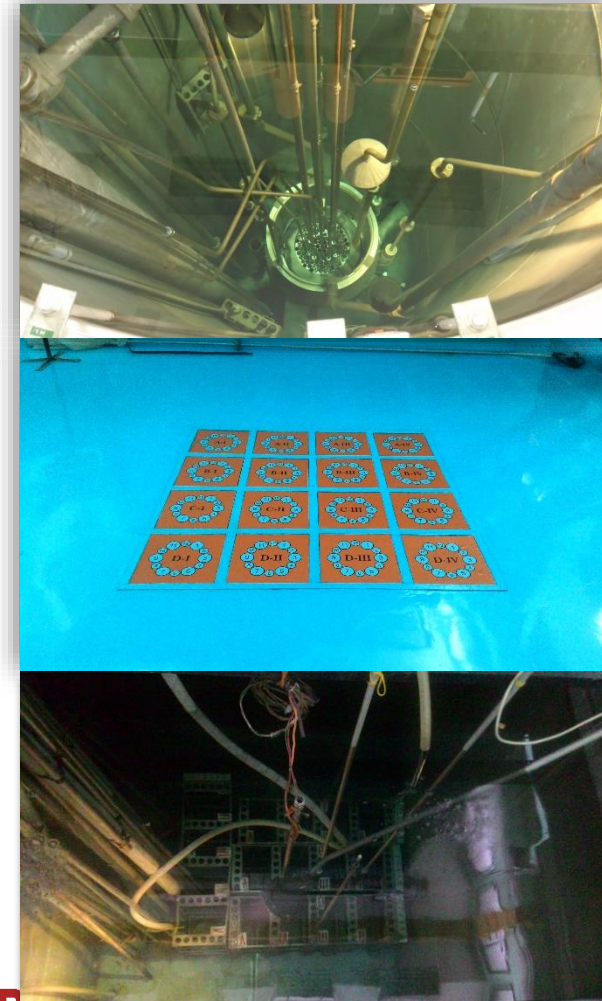
2. Aliran Transaksi EB di TRIGA 2000

- PSTNT Adalah MBA RI-A
- MBA RI-A memiliki:
 - KMP A: Fresh fuels
 - KMP B: Teras Reaktor
 - KMP C: Spent fuels storage
 - KMP D : other storage/location (for non fuel nuclear material)
e.g. Fission chamber



3. Kegiatan pengelolaan fasilitas Penyimpanan Elemen Bakar TRIGA 2000

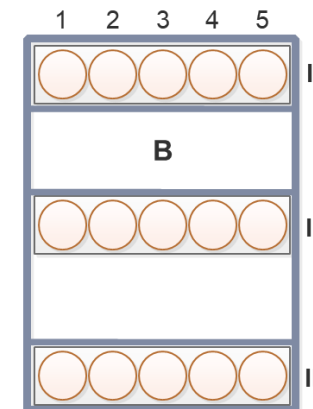
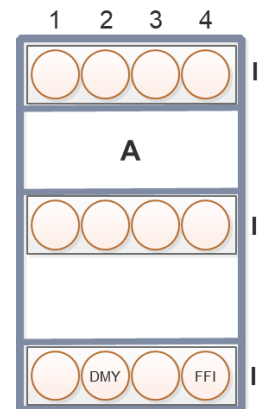
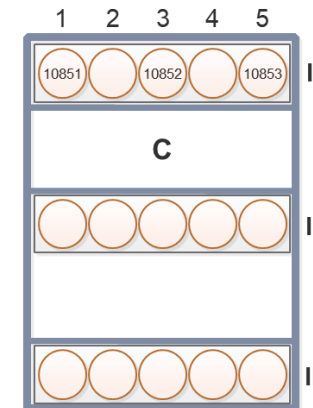
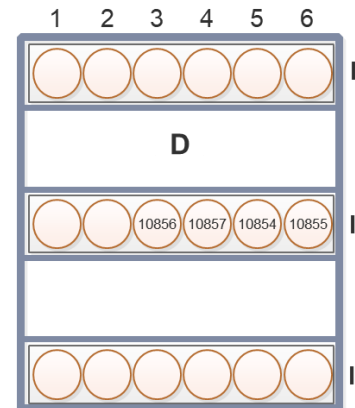
- i. Penyimpanan EB baru (fresh fuel) di fasilitas Gudang Elemen Bakar dengan menggunakan treatment rak yang disusun sedemikian rupa
- ii. Penyusunan konfigurasi teras sedemikian rupa agar EB dapat mencapai kekritisannya ketika reaktor dioperasikan
- iii. Penyimpanan EB bekas pada fasilitas bulk shielding yang terisi air Sebagai media perisai radiasi
- iv. Penyimpanan EB bekas pada fasilitas SFSP (Spent Fuel Storage Pit)



4. Desain dan denah fasilitas penyimpanan EB TRIGA 2000

Fresh Fuel

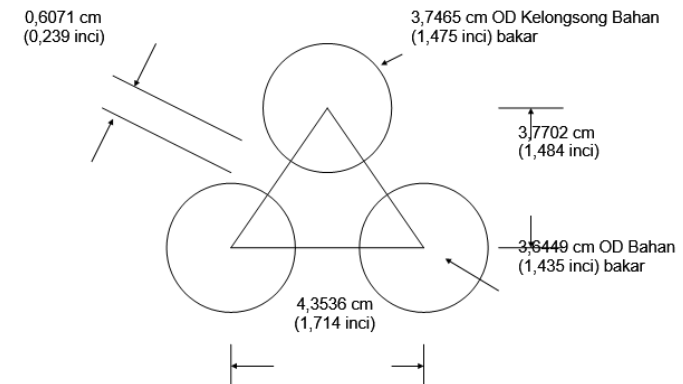
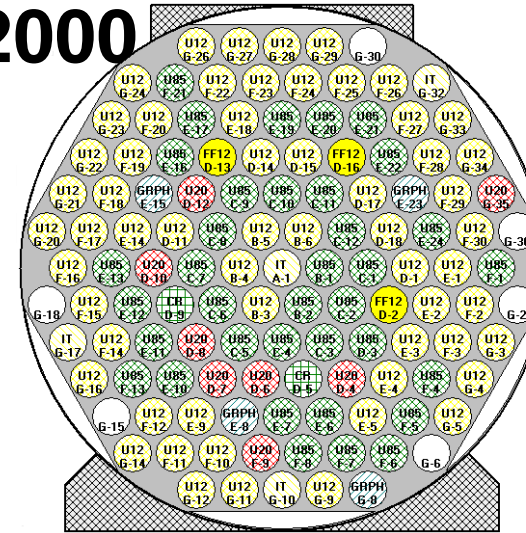
- Kapasitas simpan EB di KMP A atau Gudang *fresh fuel* adalah 60 unit
- EB disimpan dengan posisi berdiri vertikal dengan jarak antar baris ± 20 cm



4. Desain dan denah fasilitas penyimpanan EB TRIGA 2000

Teras Reaktor

- Kapasitas loading teras mencapai 121 kisi dengan bentuk heksagonal
- 5 posisi *fixed* adalah batang kendali



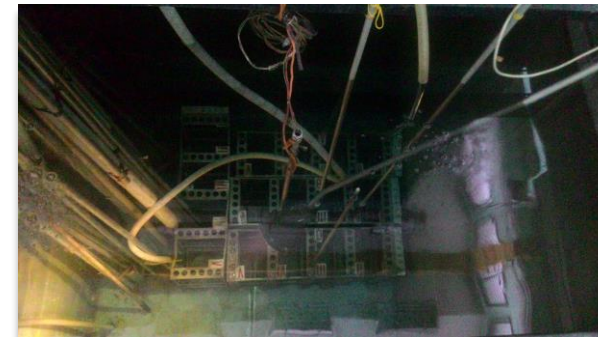
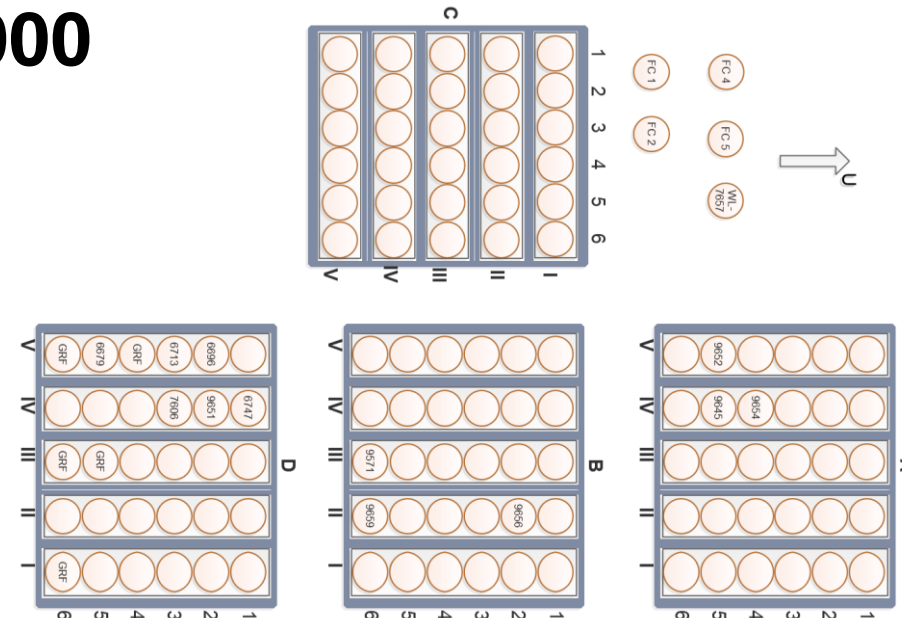
4. Desain dan denah fasilitas penyimpanan EB TRIGA 2000

Spent Fuel

a. Bulk shielding facility

Merupakan fasilitas simpan *spent fuel* dengan memanfaatkan kolam fasilitas eksperimen bagian selatan Reaktor TRIGA.

Memiliki kapasitas simpan sampai dengan 120 unit EB

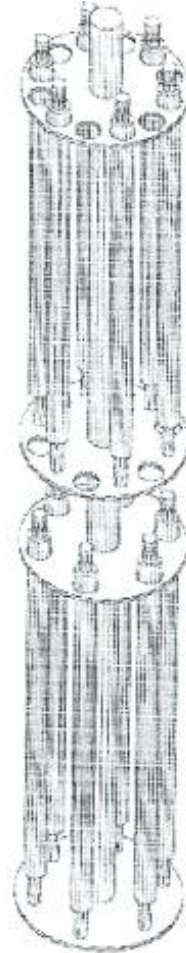


4. Desain dan denah fasilitas penyimpanan EB TRIGA 2000

Spent Fuel

b. Spent Fuel Storage Pit

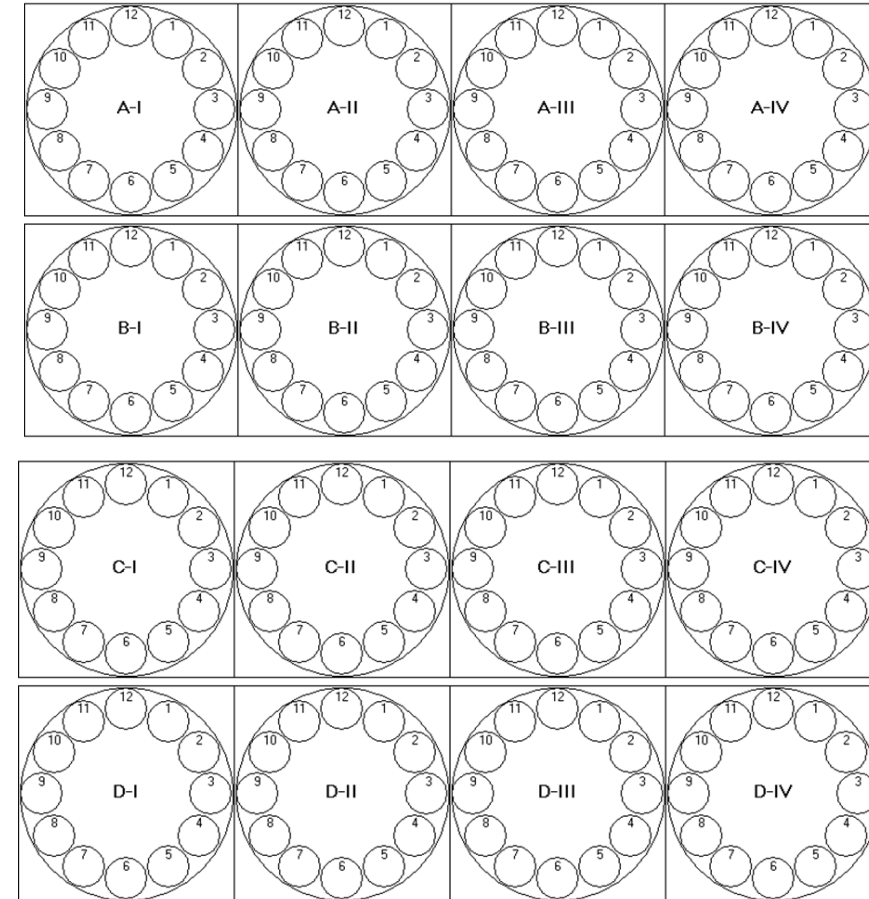
- Merupakan fasilitas simpan EB yang berupa lubang (pit) pada lantai hall di bagian selatan reaktor.
- Berupa lubang dengan susunan rak di bagian dalam
- Memiliki kapasitas simpan 192 unit



Spent Fuel Storage Pit

Date: 9
Month: April

Date: 7
Month: November
Year: 2012



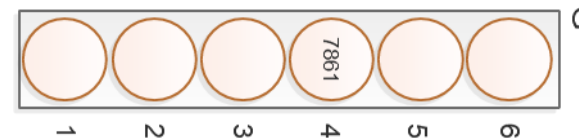
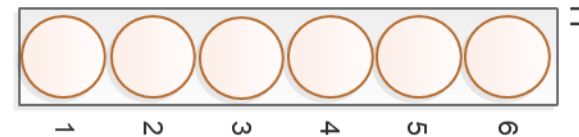
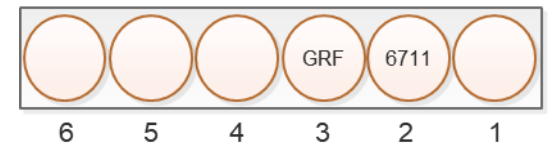
4. Desain dan denah fasilitas penyimpanan EB TRIGA 2000

Spent Fuel

- c. Fasilitas penyimpanan Rak sementara
Berada di dalam tangki reaktor.

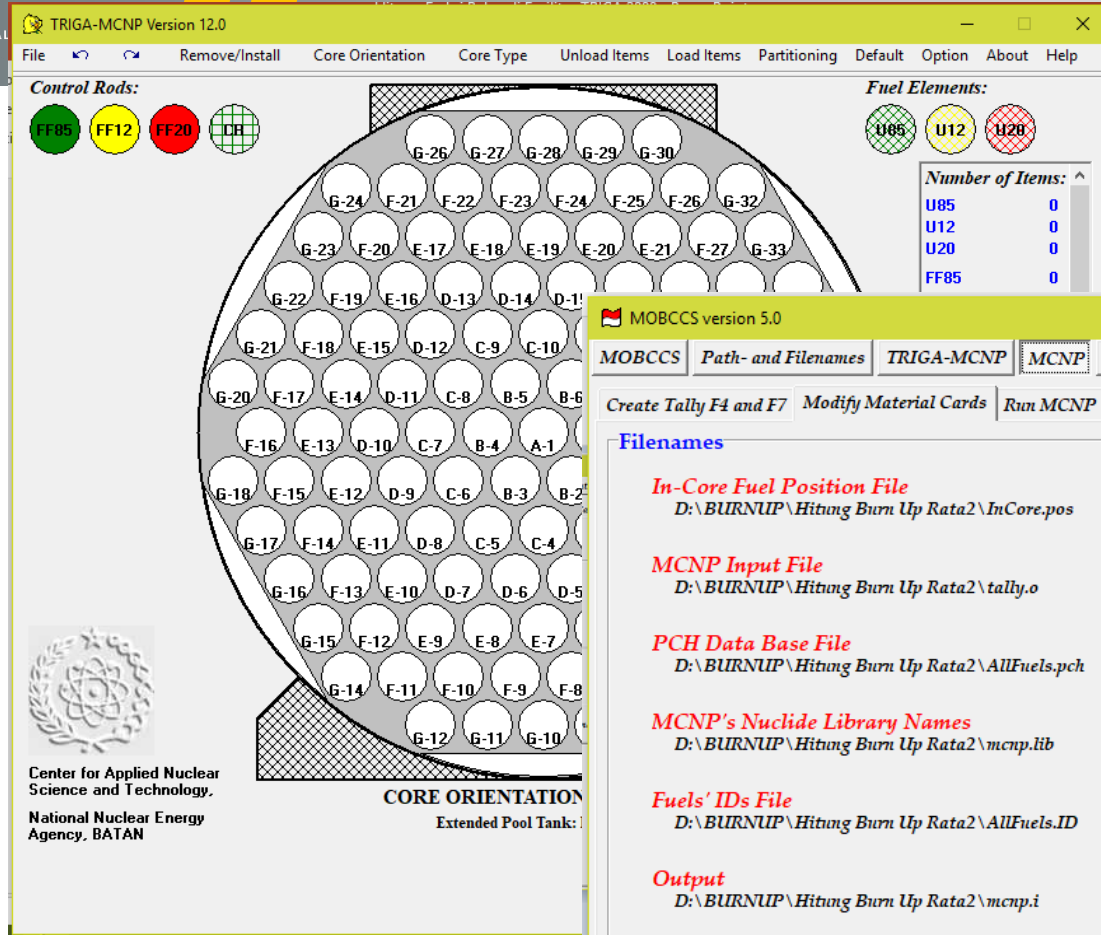
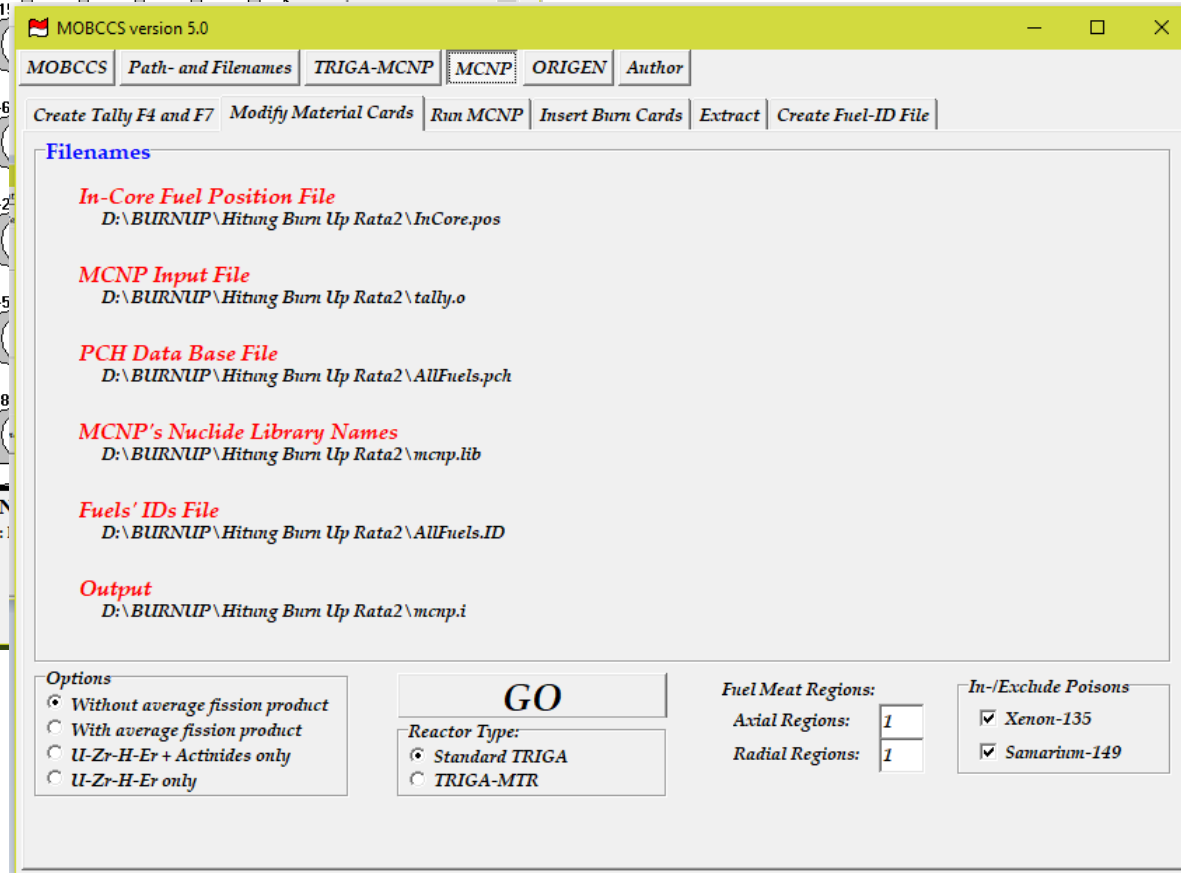
Biasanya digunakan sebagai tempat simpan sementara sebelum dipindahkan ke *bulk shielding* atau SFSP, dan atau dapat kembali ke teras.

Memiliki kapasitas simpan 18 unit.



- a. SOP Manajemen Teras Reaktor TRIGA 2000 No. A.011-P.007/II.6.5/ITRG 1.2-III/RN 00 01/2023;
- b. SOP *Reshuffling* dan *Refueling* Bahan Bakar Teras Reaktor TRIGA 2000 No. T.057-P.007/II.6.5/ITRG 1.2-IV/RN 00 01/2024;
- c. SOP PENGUKURAN WAKTU JATUH BATANG KENDALI No. T.055-P.006/II.6.5/ITRG 1.1-IV/RN 00 02/2024;
- d. SOP Kalibrasi Daya No. T.015-P.006/II.6.5/ITRG 1.1-IV/RN 00 01/2023;
- e. SOP Kalibrasi Batang Kendali Reaktor TRIGA 2000 No. T.021-P.006/II.6.5/ITRG 1.1-IV/RN 00 01/2024;
- f. SOP PENGUKURAN WAKTU JATUH BATANG KENDALI T.055-P.006/II.6.5/ITRG 1.1-IV/RN 00 02/2024.

Kegiatan Simulasi Reshuffling dan Refueling

MOBCCS version 5.0

MOBCCS Path- and Filenames TRIGA-MCNP MCNP ORIGEN Author

Create Tally F4 and F7 Modify Material Cards Run MCNP Insert Burn Cards Extract Create Fuel-ID File

FileNames

In-Core Fuel Position File
D:\BURNUP\Hiting Burn Up Rata2\InCore.pos

MCNP Input File
D:\BURNUP\Hiting Burn Up Rata2\tally.o

PCH Data Base File
D:\BURNUP\Hiting Burn Up Rata2\AllFuels.pch

MCNP's Nuclide Library Names
D:\BURNUP\Hiting Burn Up Rata2\mcnp.lib

Fuels' IDs File
D:\BURNUP\Hiting Burn Up Rata2\AllFuels.ID

Output
D:\BURNUP\Hiting Burn Up Rata2\mcnp.i

Options

Without average fission product
 With average fission product
 U-Zr-H-Er + Actinides only
 U-Zr-H-Er only

GO

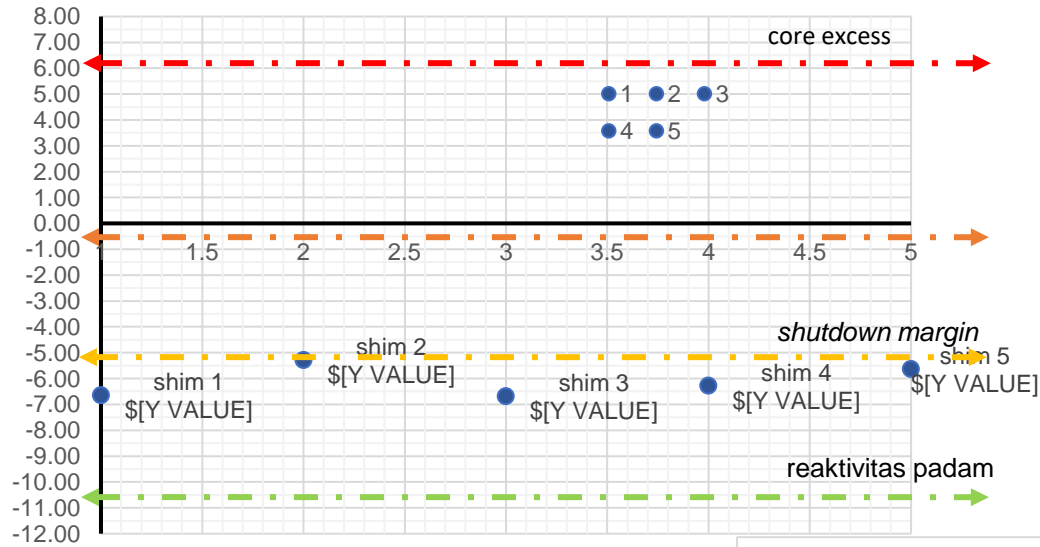
Reactor Type:
 Standard TRIGA
 TRIGA-MTR

Fuel Meat Regions:
 Axial Regions: 1
 Radial Regions: 1

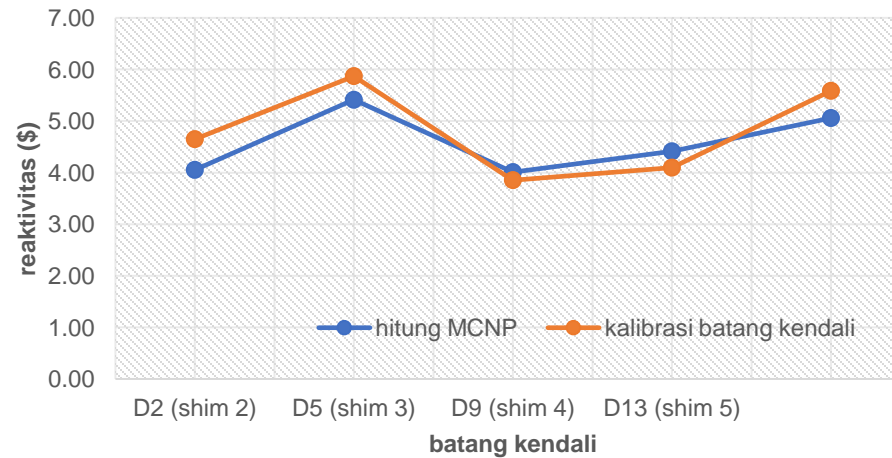
In-/Exclude Poisons
 Xenon-135
 Samarium-149

parameter	keff	reaktivitas (dk/k)	reaktivitas (\$)
shutdown margin	0.928	-0.077	-10.70
core excess	1.046	0.044	6.10
control rod worth			16.80

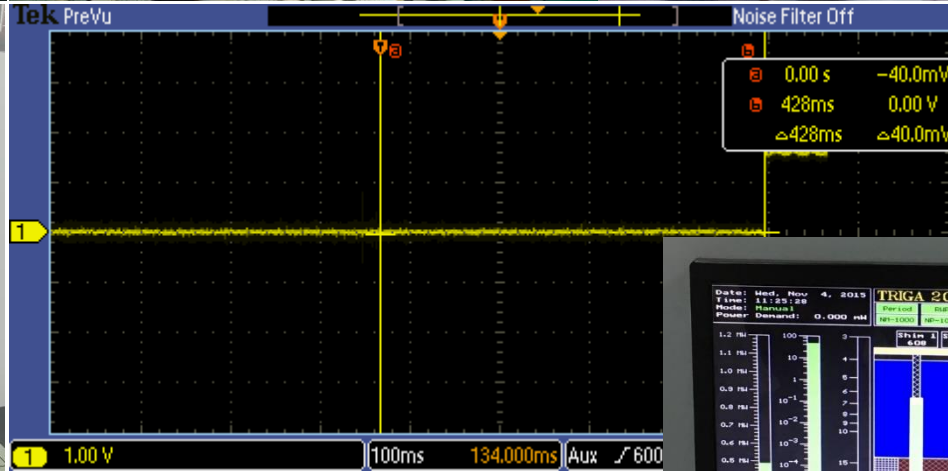
stuck rod	keff	reaktivitas (dk/k)	reaktivitas (\$)	CRW per batang kendali (simulasi)	CRW per batang kendali (kalibrasi batang kendali)
D16 (shim 1)	0.954	-0.048	-6.64	4.05	4.6512
D2 (shim 2)	0.963	-0.038	-5.28	5.41	5.8686
D5 (shim 3)	0.954	-0.048	-6.69	4.01	3.8521
D9 (shim 4)	0.957	-0.045	-6.28	4.42	4.0991
D13 (shim 5)	0.961	-0.041	-5.64	5.06	5.5839



Control Rod Worth



Eksekusi Reshuffling dan Refueling







Terima Kasih