

## ANALISIS NETRONIK TERAS KE EMPAT RSG GAS DENGAN ADANYA PENYISIPAN ELEMEN BAKAR SILISIDA

Sri Kuncoro

Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

ANALISIS NETRONIK TERAS KE EMPAT RSG GAS DENGAN ADANYA PENYISIPAN ELEMEN BAKAR SILISIDA. Pada teras ke empat RSG GAS telah dilakukan penyisipan elemen bakar silisida untuk keperluan iradiasi uji kualifikasi produksi. Iradiasi dilakukan dengan cara menggantikan elemen bakar oksida di posisi teras D-3 dengan elemen bakar silisida. Analisis neutronik dilakukan sebelum dan setelah iradiasi untuk mengetahui keselamatan operasi reaktor. Analisis dilakukan dengan menggunakan program IAFUEL. Hasil yang diperoleh sebelum dan sesudah iradiasi elemen bakar silisida adalah 1,059 dan 1,055 untuk faktor puncak daya lokal, 1,194 dan 1,195 untuk faktor puncak daya maksimum, 0,876 dan 0,877 untuk faktor puncak daya minimum. Perbedaan reaktivitas elemen bakar adalah sebesar -0,008%. Harga-harga tersebut menjamin bahwa reaktor tetap dapat dioperasikan dengan aman walaupun ada penyisipan elemen bakar silisida.

### ABSTRACT

NEUTRONIC ANALYSIS FOR THE FOURTH CORE RSG GAS WITH INSERTION OF SILICIDE FUEL ELEMENT. Irradiation of the silicide fuel element for production qualification test has been done on the fourth core of RSG GAS. This was carried out by replacing oxide fuel element in core position D-3 with silicide fuel element. Neutronic analysis was performed before and after fuel irradiation due to the reactor operation safety reason. The IAFUEL code was applied to analyze the neutronic aspect. The results found before and after irradiation of silicide fuel element were 1.059 and 1.055 for local power peaking factor (PPF), 1.194 and 1.195 for max. PPF, 0.876 and 0.877 for min. PPF. The difference of the fuel element reactivity was -0.008%. These values guaranteed that the reactor is still safe with silicide fuel element insertion in the reactor core.

### PENDAHULUAN

Reaktor GA Siwabessy adalah reaktor riset daya tinggi (30 MW) dengan bahan bakar oksida perkayaan rendah (20% U-235). Pemanfaatan reaktor secara optimal dicapai bila reaktor telah beroperasi dengan konfigurasi teras setimbang. Konfigurasi teras setimbang tersusun atas 40 elemen bakar dan 8 elemen kendali. Elemen bakar dan elemen kendali tersebut terpola dalam 6 kelompok kelas fraksi bakar dengan fraksi bakar rerata awal siklus sebesar 23,3% dan akhir siklus sebesar 31,3%. Pada setiap siklus operasi direncanakan panjang daur operasi selama 25 hari daya penuh dan pada setiap akhir siklus akan dilakukan penggantian 7 elemen bakar yang memiliki fraksi bakar sekitar 56%.

Berdasarkan rancangan tersebut maka di masa yang akan datang reaktor memerlukan banyak elemen bakar/kendali. Elemen bakar pengganti akan menggunakan produksi IPBERR/PEBN. Sejauh ini fasilitas yang tersedia di IPBERR dapat menghasilkan elemen bakar jenis oksida (U-308-Al) dan jenis silisida

(U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al). Elemen bakar tersebut diharapkan secara bertahap akan diganti dengan elemen bakar silisida. Penggantian tersebut dikarenakan U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> merupakan elemen bakar terdispersi dengan densitas uranium tinggi (hingga 4,8 gr U/cm<sup>3</sup>), memiliki volume serbuk elemen bakar yang lebih kecil dibandingkan dengan U-308, sehingga mudah untuk memproduksi U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> dengan densitas elemen bakar 2,96 gr U/cm<sup>3</sup> seperti densitas elemen bakar yang saat ini digunakan di RSG GAS.

Konfigurasi teras setimbang dicapai secara bertahap dan setiap tahap disebut periode teras transisi. Hingga medio Maret 1990, reaktor telah mencapai teras transisi ke empat dengan daya maksimum sebesar 22,13 MW. Dalam rangka kualifikasi produksi serta menunjang litbang elemen bakar di PEBN, maka dilakukan uji iradiasi elemen bakar silisida hasil produksi IPBERR/PEBN di teras ke empat RSG GAS. Pengujian dilakukan dengan cara mengganti-

kan satu elemen bakar oksida di posisi teras D-3 dengan elemen bakar silisida.

Penggantian satu elemen bakar oksida dengan elemen bakar silisida di teras reaktor akan mengakibatkan terjadinya perubahan terhadap distribusi daya, distribusi fluks neutron serta reaktivitas elemen bakar di teras reaktor tersebut. Untuk menjamin keamanan operasi reaktor, maka sebelum penggantian elemen bakar tersebut dilakukan analisis terlebih dahulu. Analisis dilakukan dari sudut netronik dan termohidraulik. Dalam makalah ini khusus dibahas analisis dari sudut netronik.

### TEORI SINGKAT

#### Asumsi perhitungan

Pada teras reaktor terjadi reaksi fisi dengan demikian terjadi suatu distribusi fluks neutron dan daya reaktor. Daya reaktor terdistribusi pada setiap elemen bakar. Distribusi terjadi dalam dimensi ruang tiga dimensi. Untuk melakukan perhitungan dengan kondisi tiga dimensi sangat rumit dan memerlukan waktu yang lama. Agar masalah dapat diselesaikan dalam waktu yang singkat tetapi tetap dapat mewakili kondisi tiga dimensi, maka dibuat beberapa asumsi. Asumsi yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Distribusi rapat daya dalam 3 dimensi PD (x,y,z) di teras reaktor ditentukan sebagai berikut;

$$PD(x,y,z) = PD_{xy}(x,y) * PD_z(z)$$

2. Perubahan distribusi daya arah aksial (PD<sub>z</sub> (z)) hanya bergantung pada pemasukan/pemarikan batang kendali. Perubahan tersebut tidak diperhitungkan pada masalah ini.
3. Penggantian elemen bakar hanya berpengaruh pada perubahan distribusi rapat daya arah bidang xy (PD<sub>xy</sub>(x,y)).

Dari asumsi di atas, maka distribusi daya bidang xy (PD<sub>xy</sub>(x,y)) dihitung untuk seluruh teras reaktor. Perhitungan dilakukan pada kondisi reaktor kritis yaitu dengan memecahkan persamaan difusi neutron dengan kondisi seluruh batang kendali posisi teratas. Perhitungan tersebut dilakukan menggunakan program IAFUEL.

#### Metode perhitungan program IAFUEL

Program IAFUEL adalah suatu program menyelesaikan persamaan difusi neutron dalam geometri dua dimensi pada empat kelompok energi neutron. Persamaan difusi yang diselesaikan adalah sebagai berikut (2):

$$-D^g \delta \varphi^g + \tau^g \varphi^g = (\lambda^g / \lambda) + \sum_R^{g-1} \varphi^{g-1} \quad (1)$$

$$g=1, 2, \dots, g-1$$

untuk

$$\tau^g = \sum_A^g + \sum_R^g + B_Z^g \quad (2)$$

dan

$$\psi = \sum_{g=0}^{G-1} \tau \sum_f \varphi^g \quad (3)$$

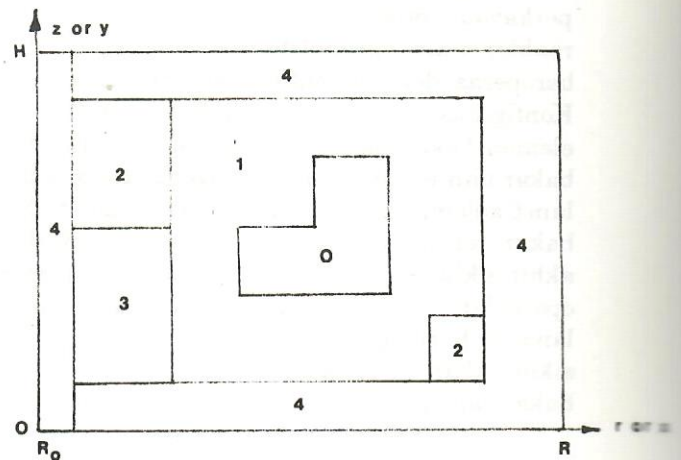
adapun setiap simbol pada persamaan-persamaan di atas adalah sebagai berikut:

D = konstanta difusi,  $\Sigma_A$  = tampang lintang makroskopik,  $\Sigma_R$  = tampang lintang removal,  $B_Z^g$  = keluk transversal,  $\lambda^2$  = fraksi neutron fisi, yaitu perbandingan neutron fisi untuk setiap kelompok energi g terhadap neutron fisi total,

secara matematis sebagai berikut:  $\int_g^{\lambda^g} = 1$ ,

$\lambda$  = harga pribadi,  $\psi$  = sumber fisi,  $\tau \Sigma_f$  = tampang lintang makroskopik untuk produksi neutron,  $\varphi$  = fluks neutron.

Persamaan di atas digunakan untuk susunan teras seperti terlihat dalam koordinat bidang sebagai berikut;



Gambar 1. Koordinat bidang untuk program IAFUEL

Dari gambar di atas dinyatakan bahwa setiap daerah yang ditunjukkan oleh nomor-nomor mempunyai material sendiri, sebagai contoh yaitu material 0,1,2,3,4 berturut-turut adalah material posisi iradiasi pusat, elemen bakar, elemen kendali, posisi iradiasi dan elemen reflektor. Setiap daerah dengan demikian memiliki data  $D$ ,  $\Sigma_a$ ,  $\Sigma_r$ ,  $\Sigma_f$  yang berbeda.

Persamaan (1) diselesaikan menggunakan metode numerik beda hingga. Selain data tersebut di atas diperlukan pula data-data lainnya seperti ukuran teras, jumlah titik tinjauan (mesh point) dan lain-lain. Hasil yang diperoleh antara lain adalah fluks neutron di setiap titik tinjauan, maupun di setiap daerah, faktor puncak daya serta  $K_{\text{eff}}$  teras.

### TATAKERJA

Untuk melakukan perhitungan dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Siapkan konfigurasi teras ke empat untuk kondisi teras seluruhnya berisi bahan bakar jenis oksida.
2. Ambil data tampang lintang material untuk seluruh material teras dari pustaka tampang lintang IAFUEL.
3. Siapkan masukan program IAFUEL yang terdiri dari geometri teras, lebar langkah setiap titik *mesh* arah sumbu  $x$  dan  $y$ , keluk geometri dan lain-lain.
4. Jalankan program IAFUEL dan akan diperoleh keluaran berupa fluks neutron tiap titik *mesh* sebagai fungsi kelompok energi neutron, distribusi daya,  $k_{\text{eff}}$  dan lain-lain.
5. Ambil tampang lintang makroskopik untuk elemen bakar silisida.
6. Gantikan posisi elemen bakar oksida pada posisi teras D3 dengan elemen bakar silisida.
7. Lakukan hal yang sama berturut-turut sesuai dengan butir 2, 3 dan 4.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan data tampang lintang makroskopik dan konstanta difusi untuk elemen bakar oksida dan silisida seperti terlihat pada Tabel 1 (Lampiran), selanjutnya dilakukan

### DAFTAR PUSTAKA

1. Interatom, Input Description of IAFUEL Program, Bensberg (1986).
2. Interatom, Concepts and Methods of MUGDI Program, for Neutronics Calculation Regarding Research Reactor, Bensberg (1986).
3. Diktat Kuliah Fuel Managemen, Serpong (1986).

perhitungan menggunakan program IAFUEL untuk masing-masing konfigurasi seperti terlihat pada Gambar 1 dan 2 (Lampiran) dan diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Distribusi faktor puncak daya untuk konfigurasi teras ke empat dengan elemen bakar oksida dan silisida dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4 (Lampiran).
2. Distribusi fluks neutron termal untuk konfigurasi teras ke empat dengan bahan bakar oksida dan silisida dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6 (Lampiran).

Dari hasil di atas terlihat bahwa terdapat perubahan-perubahan harga faktor puncak daya dan fluks neutron di teras reaktor. Perubahan-perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 (Lampiran). Faktor puncak daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya di setiap elemen bakar/kendali dengan daya rata-rata teras reaktor. Daya yang dihasilkan setiap elemen bakar/kendali sebanding dengan panas yang harus diambil oleh sistem pendingin reaktor. Dengan demikian dengan mengetahui perubahan faktor puncak daya di posisi tertentu dapat dihitung besarnya perubahan panas yang terjadi. Perubahan panas ini merupakan masukan yang penting pada analisis termohidraulik untuk menentukan mampu tidaknya sistem pendingin reaktor mengantisipasi perubahan tersebut. Selain itu juga diperoleh perbedaan besarnya reaktivitas elemen bakar oksida dan silisida. Perbedaan tersebut diperoleh dari selisih harga  $K_{\text{eff}}$  teras sebelum dan sesudah pergantian elemen bakar. Harga perbedaan reaktivitas tersebut adalah  $\Delta k/k = -0,008\%$ .

### KESIMPULAN

Dari semua pembahasan terlihat bahwa perbedaan faktor puncak daya, fluks neutron serta reaktivitas elemen bakar akibat pergantian elemen bakar oksida dengan silisida sangatlah kecil. Ini berarti bahwa reaktor tetap dapat beroperasi dengan aman dengan adanya bahan bakar silisida, selain itu proses pergantian elemen bakar oksida dengan silisida secara menyeluruh dapat dilakukan secara bertahap sesuai dengan program jangka panjang BATAN.

## DISKUSI

### AceSetiadhi :

1. Sekarang baru satu elemen bakar yang dimasukkan. Apakah sudah diformulasikan seandainya diganti sebagian besar atau seluruhnya ?
2. Apakah dari segi teknologi maupun ekonomi elemen bakar jenis ini lebih menguntungkan dari jenis oksida?

### Sri Kuntjoro:

1. Penekanan masalah pada analisis keselamatan reaktor akibat adanya satu elemen bakar silisida.
2. Ya, berdasarkan penelitian para ahli disimpulkan bahwa Uranium Silisida lebih baik dari Uranium Oksida, ditinjau dari sudut teknologi maupun ekonomi.

### T.Alfar :

Apakah terpikir melakukan perhitungan sel (cell calculation) silisida dengan *metode transport*?

### Sri Kuntjoro:

Belum terpikirkan tetapi untuk masa yang akan datang metode ini dapat dilakukan.

### Tegas Sutondo:

Tujuan /target yang ingin dicapai adalah untuk menggantikan seluruh elemen bakar di dalam teras. Mengapa dalam perhitungan hanya ditinjau untuk satu bundel elemen bakar?

### Sri Kuntjoro:

Target bukan untuk menggantikan seluruh elemen bakar jenis oksida dengan silisida tetapi untuk keselamatan reaktor khususnya akibat adanya 1 elemen bakar silisida.

### Rikhwan Muchsin:

Berapakah harga batas dari  $\Delta \rho$  (reaktivitas) dimana harga tersebut sistem dianggap tidak aman dan di bawah harga tersebut sistem masih dianggap aman ?

### Sri Kuntjoro:

Reaktivitas lebih teras untuk setiap siklus  $\pm 3\%$ , sehingga harga tersebut merupakan batas yang tidak boleh dilampaui.

LAMPIRAN 1

Tabel 1. Perbandingan harga tampang lintang makroskopik dan konstanta difusi untuk elemen bakar oksida dan silisida.

Elemen bakar	Grup	Harga tampang lintang makroskopik (atom/barn-cm)				Konstanta difusi
		NU. Fissi	Fissi	Absorbsi	Removal	
Oksida	1	0,13371E-02	0,48704E-03	0,89483E-03	0,75207E-01	0,21362E+01
	2	0,69056E-03	0,28255E-03	0,62742E-03	0,88223E-01	0,11257E+01
	3	0,11249E-01	0,46505E-02	0,13141E-04	0,94062E-01	0,83502E+00
	4	0,14887E+00	0,61547E-01	0,85508E-01	0,85508E-01	0,25156E+00
Silisida	1	0,13352E-02	0,48638E-03	0,87985E-03	0,74874E-01	0,21609E+01
	2	0,69006E-03	0,28233E-03	0,62918E-03	0,88000E-01	0,11490E+01
	3	0,11239E-01	0,46467E-02	0,13114E-04	0,93930E-01	0,8488E+00
	4	0,14873E+00	0,61490E-01	0,85569E-01	0,85569E-01	0,25285E+00

Catatan:

Grup	Energi
1	0,821 MeV <E<10,000 MeV
2	5,510 KeV<E<0,821 MeV
3	0,625 eV<E<5,510 KeV
4	E<0,625 eV

LAMPIRAN 2

Tabel 2. Hasil perhitungan sebelum dan sesudah pergantian elemen bakar oksida dengan silisida.

No.	Subjek	Pemuatan elemen bakar silisida		Beda (%)
		Sebelum	Sesudah	
1.	Faktor puncak daya lokal	1,059	1,055	- 0,38
2.	Faktor puncak daya maksimum	1,194	1,195	+ 0,08
3.	Faktor puncak daya minimum	0,876	0,877	+ 0,11
4.	Fluks neutron termal lokal	0,910E+14 (n/cm <sup>2</sup> -detik)	0,908E+14 (n/cm <sup>2</sup> -detik)	- 0,22
5.	Fluks neutron termal maksimum	0,108E+14 (n/cm <sup>2</sup> -detik)	0,109E+14 (n/cm <sup>2</sup> -detik)	+ 0,09
6.	Fluks neutron termal minimum	0,829E+14 (n/cm <sup>2</sup> -detik)	0,838E+14 (n/cm <sup>2</sup> -detik)	+ 1,08
7.	Keff teras	1,123701	1,123597	- 0,0009

LAMPIRAN 3

K J H G F E D C B A	B-30	B-29	WATER		WATER	WATER	WATER	WATER	WATER	WATER
	B-28	B-27	B-22		B-21	B-23	B-24	BS-55	B-15	WATER
	B-26	B-25	B-20	RI-36 0,01	RI-35 0,01	B-13	B-35	B-19	B-17	WATER
	B-16	RI-31 6,86	RI-32 8,42	AL-4	C-8 8,85	RI-18 13,48	RI-33 6,72	B-40	AL-8	WATER
	BS+58	RI-14 14,67	C-2 22,41	RI-20 28,48	RI-15 25,33	C-1 21,92	RI-23 20,84	B-33	B-32	PNRA
	RI-39 0,01	C-5 21,76	RI-26 27,03	AL-6	AL-3	RI-19 29,45	RI-21 24,65	B-36	B-34	RA
	AL-2	RI-22 25,85	RI-25 28,08	AL-5	AL-7	RI-12 25,83	C-6 20,02	RI-41 0,00	BS+57	HYRA
	B-18	RI-13 16,01	C-1 22,34	RI-16 25,22	RI-17 27,07	C-3 28,80	RI-24 20,43	B-38	B-37	HYRA
	BS-54 NS	RI-28 7,89	RI-27 14,92	C-7 9,36	AL-1	RI-34 8,43	RI-30 6,52	B-6	B-11	HYRA
	B-10	B-9	B-8	RI-37 0,01	RI-38 0,02	B-4	BS+56	B-3	B-2	B-1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
BERYLLIUM BLOCK REFLECTOR										

Gambar 1. Distribusi fraksi bakar untuk konfigurasi teras ke empat dengan elemen bakar oksida di posisi teras D-3

Keterangan :

B = Beryllium , BS = Beryllium stopper tanpa sumbat , BS+ = Beryllium stopper dengan sumbat , AL = Aluminium stopper tanpa sumbat  
C = Elemen kendali , NS = Sumber neutron , RI = Elemen bakar  
FS = Elemen bakar Silisida , FU = Elemen bakar produksi PEBN

LAMPIRAN 4

K	B-30	B-29	WATER		WATER	WATER	WATER	WATER	WATER	WATER
J	B-28	B-27	B-22		B-21	B-23	B-24	BS-55	B-15	WATER
H	B-26	B-25	B-20	RI-36 0,01	RI-35 0,01	B-13	B-35	B-19	B-17	WATER
G	B-16	RI-31 6,86	RI-32 8,42	AL-4	C-8 8,85	RI-18 13,48	RI-33 6,72	B-40	AL-8	WATER
F	BS+58	RI-14 14,67	C-2 22,41	RI-20 28,48	RI-15 25,33	C-4 21,92	RI-23 20,84	B-33	B-32	FNRA
E	RI-39 0,01	C-5 21,76	RI-26 27,03	AL-6	AL-3	RI-19 29,45	RI-21 24,65	B-36	B-34	RA
D	AL-2	RI-22 25,85	RI-25 28,08	AL-5	AL-7	RI-12 25,83	C-6 20,02	FS 1 0,00	BS+57	HYRA
C	B-18	RI-13 16,01	C-1 22,34	RI-16 25,22	RI-17 27,07	C-3 28,80	RI-24 20,43	B-38	B-37	HYRA
B	BS-54 NS	RI-28 7,89	RI-27 14,92	C-7 9,36	AL-1	RI-34 8,43	RI-30 6,52	B-6	B-11	HYRA
A	B-10	B-9	B-8	RI-37 0,01	RI-38 0,02	B-4	BS+56	B-3	B-2	B-1
	10	9	8	7	6	6	4	3	2	1
BERYLLIUM BLOCK REFLECTOR										

Gambar 2. Distribusi fraksi bakar untuk konfigurasi teras ke empat dengan elemen bakar silisida di posisi teras D-3

Keterangan :

B = Beryllium, BS = Beryllium stopper tanpa sumbat, BS+ = Beryllium stopper dengan sumbat, AL = Aluminium stopper tanpa sumbat  
C = Elemen kendali, NS = Sumber neutron, RI = Elemen bakar  
FS = Elemen bakar Silisida, FU = Elemen bakar produksi PEBN



LAMPIRAN 5

K	B-30	B-29	WATER		WATER	WATER	WATER	WATER	WATER	WATER
J	B-28	B-27	B-22		B-21	B-23	B-24	BS-55	B-15	WATER
H	B-26	B-25	B-20	RI-36 0,938	RI-35 0,914	B-13	B-35	B-19	B-17	WATER
G	B-16	RI-31 0,884	RI-32 1,024	AL-4	C-8 1,140	RI-18 0,969	RI-33 0,926	B-40	AL-8	WATER
F	BS+58	RI-14 0,918	C-2 0,958	RI-20 1,050	RI-15 1,054	C-1 1,028	RI-23 0,931	B-33	B-32	PNRA
E	RI-39 0,933	C-5 0,885	RI-26 0,994	AL-6	AL-3	RI-19 1,050	RI-21 0,988	B-36	B-34	RA
D	AL-2	RI-22 0,876	RI-25 0,980	AL-5	AL-7	RI-12 1,099	C-6 1,037	RI-41 1,059	BS+57	HYRA
C	B-18	RI-13 0,891	C-1 0,973	RI-16 1,066	RI-17 1,122	C-3 1,069	RI-24 0,994	B-38	B-37	HYRA
B	BS-54 NS	RI-28 0,909	RI-27 0,958	C-7 1,194	AL-1	RI-34 1,143	RI-30 1,001	B-6	B-11	HYRA
A	B-10	B-9	B-8	RI-37 1,030	RI-38 1,096	B-4	BS+56	B-3	B-2	B-1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
BERYLLIUM BLOCK REFLECTOR										

gbl/okl

Gambar 3. Distribusi faktor puncak daya untuk konfigurasi teras ke empat dengan elemen bakar oksida di posisi teras D-3

Keterangan :

B = Beryllium , BS = Beryllium stopper tanpa sumbat , BS+ = Beryllium stopper dengan sumbat , AL = Aluminium stopper tanpa sumbat  
C = Elemen kendali , NS = Sumber neutron , RI = Elemen bakar  
FS = Elemen bakar Silisida , FU = Elemen bakar produksi PERN

LAMPIRAN 6

K	B-30	B-29	WATER		WATER	WATER	WATER	WATER	WATER	WATER
J	B-28	B-27	B-22		B-21	B-23	B-24	BS-55	B-15	WATER
H	B-26	B-25	B-20	RI-36 0,938	RI-36 0,915	B-13	B-35	B-19	B-17	WATER
G	B-16	RI-31 0,884	RI-32 1,021	AL-4	C-8 1,140	RI-18 0,969	RI-33 0,926	B-40	AL-8	WATER
F	BS+58	RI-14 0,919	C-2 0,958	RI-20 1,050	RI-15 1,054	C-1 1,027	RI-23 0,931	B-33	B-32	PNRA
E	RI-39 0,933	C-5 0,885	RI-26 0,994	AL-6	AL-3	RI-19 1,050	RI-21 0,987	B-36	B-34	RA
D	AL-2	RI-22 0,877	RI-25 0,981	AL-5	AL-7	RI-12 1,098	C-6 1,035	FS 1 1,055	BS+57	HYRA
C	B-18	RI-13 0,891	C-1 0,974	RI-16 1,066	RI-17 1,122	C-3 1,009	RI-24 0,993	B-38	B-37	HYRA
B	BS-51 NS	RI-28 0,909	RI-27 0,959	C-7 1,195	AL-1	RI-34 1,143	RI-30 1,000	B-6	B-11	HYRA
A	B-10	B-9	B-8	RI-37 1,030	RI-38 1,097	B-4	BS+56	B-3	B-2	B-1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
BERYLLIUM BLOCK REFLECTOR										

Gambar 4. Distribusi faktor puncak daya untuk konfigurasi teras ke empat dengan elemen bakar silisida di posisi teras D-3

Keterangan :

B = Beryllium, BS = Beryllium stopper tanpa sumbat, BS+ = Beryllium stopper dengan sumbat, AL = Aluminium stopper tanpa sumbat  
C = Elemen kendali, NS = Sumber neutron, RI = Elemen bakar  
FS = Elemen bakar silisida, FU = Elemen bakar produksi PEBN

LAMPIRAN 7

K	B-30	B-29	WATER		WATER	WATER	WATER	WATER	WATER	WATER
J	B-28	B-27	B-22		B-21	B-23	B-24	BS-55	B-15	WATER
H	B-26	B-25	B-20	RI-36 0,815	RI-35 0,784	B-13	B-35	B-19	B-17	WATER
G	B-16	RI-31 0,889	RI-32 0,951	AL-1 1,720	C-8 1,049	RI-18 0,919	RI-33 0,846	B-40	AL-8 0,878	WATER
F	BS+58	RI-14 0,882	C-2 0,994	RI-20 1,160	RI-15 1,126	C-4 1,049	RI-23 0,956	B-33	B-32	PNRA
E	RI-39 0,812	C-5 0,906	RI-26 1,089	AL-6 2,383	AL-3 2,441	RI-19 1,169	RI-21 1,037	B-36	B-34	RA
D	AL-2 1,501	RI-22 0,934	RI-25 1,088	AL-5 2,462	AL-7 2,409	RI-12 1,181	C-6 1,043	RI-41 0,910	BS+57	HYRA
C	B-18	RI-13 0,867	C-1 1,008	RI-16 1,140	RI-17 1,227	C-3 1,091	RI-24 1,013	B-38	B-37	HYRA
B	BS-54 NS	RI-28 0,829	RI-27 0,927	C-7 1,108	AL-1 1,879	RI-34 1,062	RI-30 0,915	B-6	B-11	HYRA
A	B-10	B-9	B-8	RI-37 0,888	RI-38 0,951	B-4	BS+56	B-3	B-2	B-1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
BERYLLIUM BLOCK REFLECTOR										

Gambar 5. Distribusi fluks neutron termal untuk konfigurasi teras ke empat dengan elemen bakar oksida di posisi teras D-3 ( $\times E+14$  n/cm<sup>2</sup>-detik).

Keterangan :

B = Beryllium , BS = Beryllium stopper tanpa sumbat , BS+ = Beryllium stopper dengan sumbat , AL = Aluminium stopper tanpa sumbat  
C = Elemen kendali , NS = Sumber neutron , RI = Elemen bakar  
FS = Elemen bakar silisida , FU = Elemen bakar produksi PEBN

LAMPIRAN 8

K	B-30	B-29	WATER		WATER	WATER	WATER	WATER	WATER	WATER
J	B-28	B-27	B-22		B-21	B-23	B-24	BS-55	B-15	WATER
II	B-26	B-25	B-20	RI-36 0,815	RI-35 0,784	B-13	B-35	B-19	B-17	WATER
G	B-16	RI-31 0,810	RI-32 0,951	AL-4 1,720	C-8 1,049	RI-18 0,919	RI-33 0,846	B-40	AL-8 0,878	WATER
F	BS+58	RI-14 0,882	C-2 0,995	RI-20 1,161	RI-16 1,126	C-4 1,049	RI-23 0,955	B-33	B-32	PNRA
E	RI-39 0,812	C-5 0,906	RI-26 1,090	AL-6 2,383	AL-5 2,441	RI-19 1,168	RI-21 1,036	B-36	B-34	RA
D	AL-2 1,504	RI-22 0,935	RI-25 1,089	AL-5 2,462	AL-7 2,409	RI-12 1,181	C-6 1,041	FS 1 0,908	BS+57	HYRA
C	B-18	RI-13 0,868	C-1 1,009	RI-16 1,140	RI-17 1,227	C-3 1,038	RI-24 1,011	B-38	B-37	HYRA
II	BS-54 NS	RI-28 0,838	RI-27 0,927	C-7 1,109	AL-1 1,879	RI-34 1,062	RI-30 0,914	B-6	B-11	HYRA
A	B-10	B-9	B-8	RI-37 0,889	RI-38 0,915	B-4	BS+56	B-3	B-2	B-1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
BERYLLIUM BLOCK REFLECTOR										

Gambar 6. Distribusi fluks neutron termal untuk konfigurasi teras ke empat dengan elemen bakar silisida di posisi teras D-3 ( $\times E+14$  n/cm<sup>2</sup>-detik).

Keterangan :

B = Beryllium, BS = Beryllium stopper tanpa sumbat, BS+ = Beryllium stopper dengan sumbat, AL = Aluminium stopper tanpa sumbat  
C = Elemen kendali, NS = Sumber neutron, RI = Elemen bakar  
FS = Elemen bakar Silisida, FU = Elemen bakar produksi PEBN