

PENGARUH ELEMEN GRAFIT PADA FLUKS DAN REAKTIVITAS REAKTOR TRIGA

Teuku Alfa, K. Kamajaya, Dede Sofia Widjaya
Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGARUH ELEMEN GRAFIT PADA FLUKS DAN REAKTIVITAS REAKTOR TRIGA. Perhitungan distribusi fluks dengan program komputer CITATION dengan model tiga dimensi reaktor TRIGA telah dilakukan dengan membagi reaktor dalam $38 \times 360 \times 20$ titik mesh. Konstanta-konstanta kelompok untuk perhitungan difusi dihitung berdasarkan riwayat tiap elemen bakar di dalam teras, sehingga hasil perhitungan dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran. Telah diteliti pengaruh penambahan batang-batang grafit terhadap fluks dan reaktivitas lebih. Tanpa penambahan elemen grafit fluks termal di CT sebesar $1,64 \times 10^{13}$ neutron/cm² det dengan k_{eff} sebesar 1,0185. Dengan mengganti enam elemen bakar di ring B dan enam elemen bakar di ring C dengan 12 elemen grafit diperoleh fluks neutron termal di CT menjadi $2,54 \times 10^{13}$ neutron/cm² det dengan k_{eff} sebesar 1,0196 pada daya 1 MW.

ABSTRACT

THE EFFECT OF GRAPHITE ELEMENTS ON FLUX AND REACTIVITY IN TRIGA REACTOR. The flux distribution calculation by CITATION computer program with three dimensions TRIGA reactor model has been done by divided the reactor core in $38 \times 360 \times 20$ mesh points. The group constants for diffusion calculation is calculated base on every fuel elements history in the core, so the calculated result can be compared with the measurement. The influence of adding the graphite elements to the flux and the excess reactivity has been investigation. Without graphite elements, the thermal flux on the Central Thimble is 1.64×10^{13} neutron/cm² sec, and the k_{eff} is 1.0185. By replacing six fuel elements in the B ring and other six fuel elements in the C ring by 12 graphite elements is got thermal neutron flux on the CT is 2.54×10^{13} neutron/cm² sec and k_{eff} is 1.0196 for 1 MW.

PENDAHULUAN

Perhitungan fluks neutron dari suatu reaktor nuklir diperlukan oleh pemakai reaktor untuk memprediksi aktivitas radioisotop yang akan diiradiasi. Selain itu, instalasi reaktor juga menggunakan hasil perhitungan ini untuk menghitung *burn-up* dari setiap elemen bakar, yang selain berguna menentukan konfigurasi teras, juga harus tersedia bagi Badan Pengawas yang melakukan *safeguard*.

Besar fluks di posisi iradiasi sangat ditentukan oleh konfigurasi teras. Selain elemen-elemen bakar dan moderator air, teras juga berisi elemen-elemen grafit yang berfungsi sebagai reflektor.

Suatu besaran lain yang diperlukan dalam pengoperasian reaktor adalah reaktivitas lebih (*excess reactivity*) dari teras yang didefinisikan sebagai reaktivitas teras, jika seluruh batang kendali terangkat. Secara matematis, besaran ini ditulis sebagai:

$$\rho_{exc} = \frac{k - k_{eff}}{k}$$

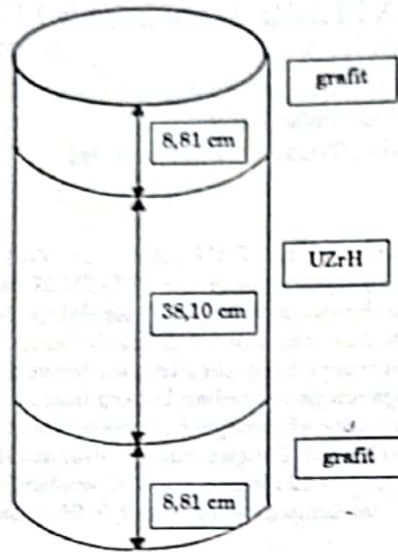
Reaktivitas lebih ini menentukan umur dari teras. Jika besaran ini kecil, reaktor tidak akan mencapai keadaan kritis. Untuk reaktor TRIGA ρ_{exc} berkisar antara 3 - 6 \$ dimana 1 \$ = 0,0065.

Reaktor TRIGA

Reaktor TRIGA adalah reaktor yang berpendingin dan bermoderator air. Bahan bakar dengan pengkayaan 20 % ²³⁵U berada dalam tabung-tabung silinder yang disusun melingkar dalam lingkaran-lingkaran konsentris yang disebut ring. Ada 7 buah ring yang akan membentuk teras reaktor ini, yaitu ring A sampai G.

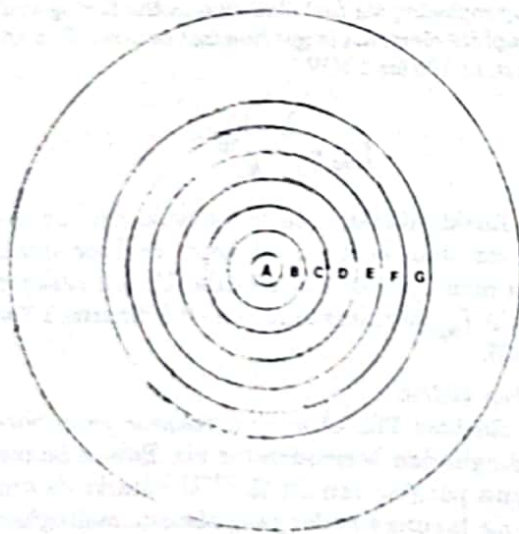
Selanjutnya teras ini yang berjari-jari 26 cm dikelilingi oleh 30 cm reflektor grafit. Tabung elemen bakar yang terbuat dari *stainless steel* berisi UZrH sepanjang 38,1 cm. Di atas dan di

bawah silinder U ini ada 8,81 cm grafit yang berfungsi sebagai reflektor (Gambar 1).



Gambar 1.

Model teras tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2.

Bahan bakar reaktor Bandung terdiri dari dua jenis yaitu jenis 104 yang mempunyai berat awal U^{235} 38 gram dan jenis 106 dengan berat awal 55 gram. *Burn-Up* dari setiap bahan bakar ini yang dihitung dengan teliti setiap bulan, terutama dipergunakan untuk menentukan

konfigurasi teras, dan dilaporkan setiap bulan kepada Badan Pengawas.

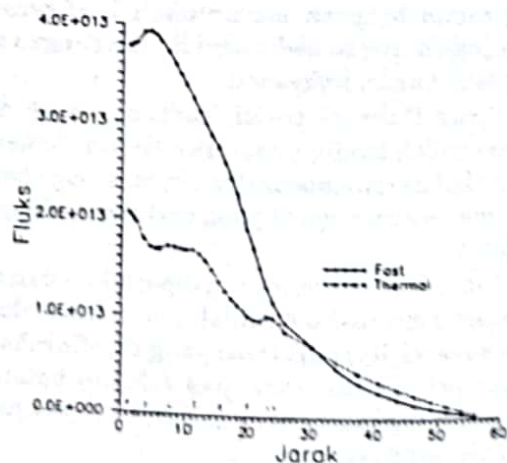
Konfigurasi yang diamati dalam makalah ini, yaitu konfigurasi 16 September 1993, seperti nampak dalam Gambar 3, terdiri dari 109 buah elemen bakar yang terbagi atas 81 buah jenis 106 dan 28 jenis 104. *Burn-Up* dari tiap elemen bakar ini dituliskan dalam Tabel 1. Seperti terlihat dalam gambar tersebut, ada beberapa posisi dalam teras yang tidak terisi elemen bakar melainkan elemen grafit, yang berfungsi sebagai reflektor.

CITATION

Perhitungan untuk model reaktor di atas dilakukan dengan program komputer CITATION yang memecahkan persamaan difusi dalam arah 3 dimensi. Untuk keperluan ini, reaktor dibagi dalam titik-titik mesh, yang terdiri dari 38 titik dalam arah radial, 360 dalam arah azimuthal dan 20 dalam arah axial.

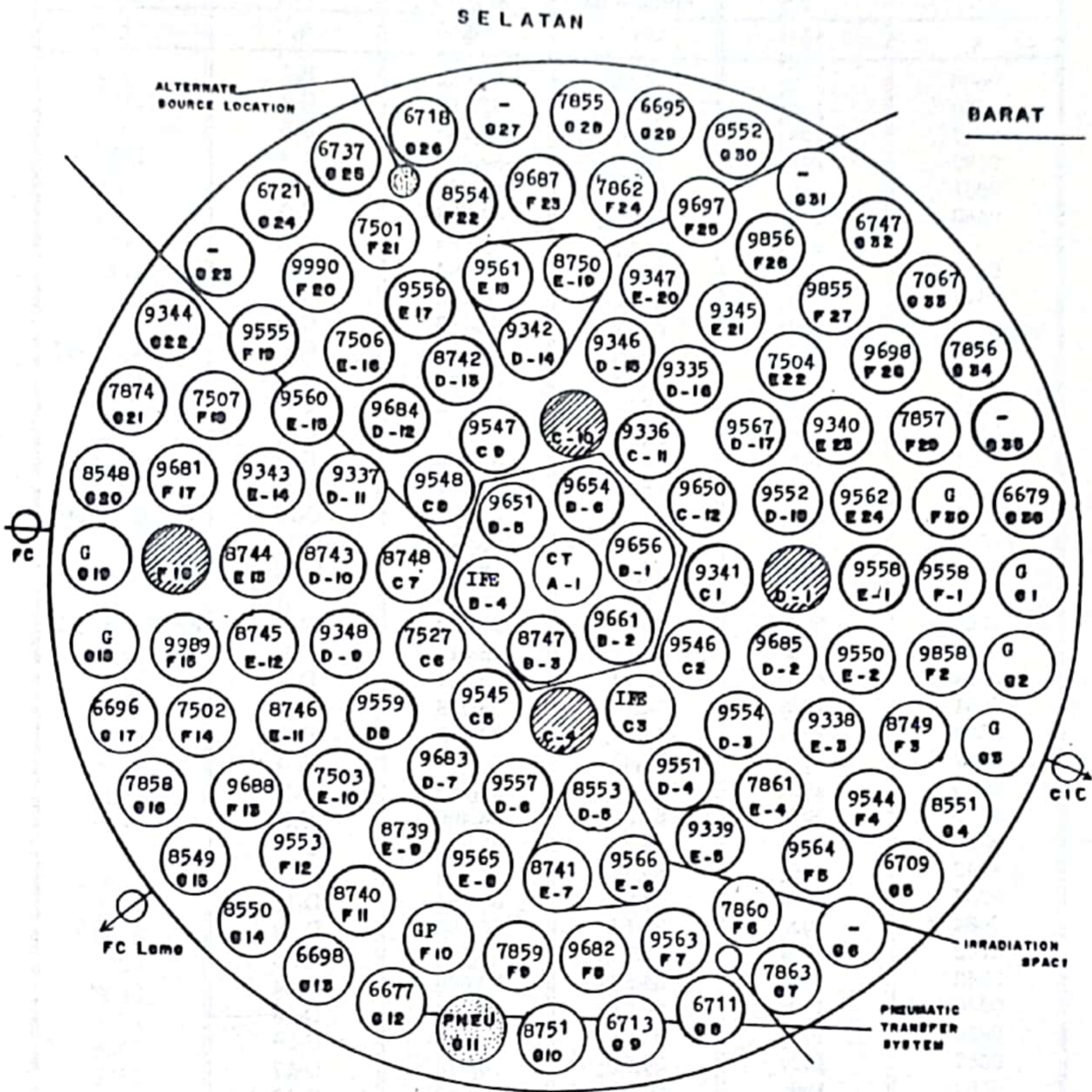
Pembagian yang besar dalam arah azimuthal terpaksa dilakukan untuk menjamin agar satu posisi elemen bakar terletak dalam zone yang mempunyai komposisi sama. Karena kebutuhan ini, program CITATION sendiri harus dimodifikasi, sehingga membutuhkan memori yang besar pada komputer pribadi. Konstanta kelompok dari sel-sel elemen bakar TRIGA yang telah mengalami deflesi ini, diambil dari *library* 2 kelompok program TRIGAC.

Keadaan pertama yang diamati adalah keadaan teras menurut konfigurasi September 1993. Distribusi fluks dalam arah radial sepanjang posisi A1, B1, C1, D1, E1, F1 dan G1 ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4.

Kondisi Konfigurasi Ternas
 Tanggal: 16 September 1993



Gambar 3.

Tabel 1.

No. Fuel	Tipe	Berat (g)		Posisi	Catatan	
		U-235 mula-mula	U-235 saat ini			
1	2	3	4	5	6	
9656	106	55,54	50,021	B-1	IFE	
9650	106	54,75	47,187	B-2		
8747	106	52,98	42,783	B-3		
9992	204	38,50	37,465	B-4		
9651	106	54,84	47,265	B-5		
9548	106	56,03	44,580	B-6		
9341	106	54,84	33,504	C-1	FFCR Shim I	
9546	106	54,22	33,709	C-2		
8749	106	53,17	34,116	C-3		
9569	306	46,30	24,188	C-4		
9545	106	55,18	33,581	C-5		
7527	106	55,00	33,568	C-6		
8748	106	52,98	33,452	C-7		
7501	106	55,00	33,404	C-8		
9547	106	55,72	34,257	C-9		
9571	306	45,55	23,807	C-10		FFCR Safety
9336	106	54,90	33,916	C-11		
9564	106	54,93	33,722	C-12		
9568	306	45,48	26,548	D-1	FFCR Shim II	
9685	104	38,17	33,519	D-2		
9554	106	55,04	33,321	D-3		
9551	106	54,74	33,439	D-4		
8553	106	51,90	33,913	D-5		
9557	106	54,33	33,540	D-6		
9683	106	38,16	33,473	D-7		
9559	106	54,90	33,400	D-8		
9348	106	54,32	33,394	D-9		
8743	106	53,59	33,394	D-10		
9337	106	54,85	33,393	D-11		
9684	104	38,14	33,493	D-12		
8742	106	53,55	33,724	D-13		
9342	106	54,83	33,536	D-14		
9346	106	54,22	33,578	D-15		
9335	106	54,91	33,580	D-16		
9567	106	54,77	33,443	D-17		
9552	106	54,80	33,529	D-18		
9558	106	54,60	34,322	E-1		
9550	106	54,74	33,819	E-2		
9338	106	54,85	33,328	E-3		
7861	106	54,00	33,757	E-4		
9339	106	54,79	34,186	E-5		

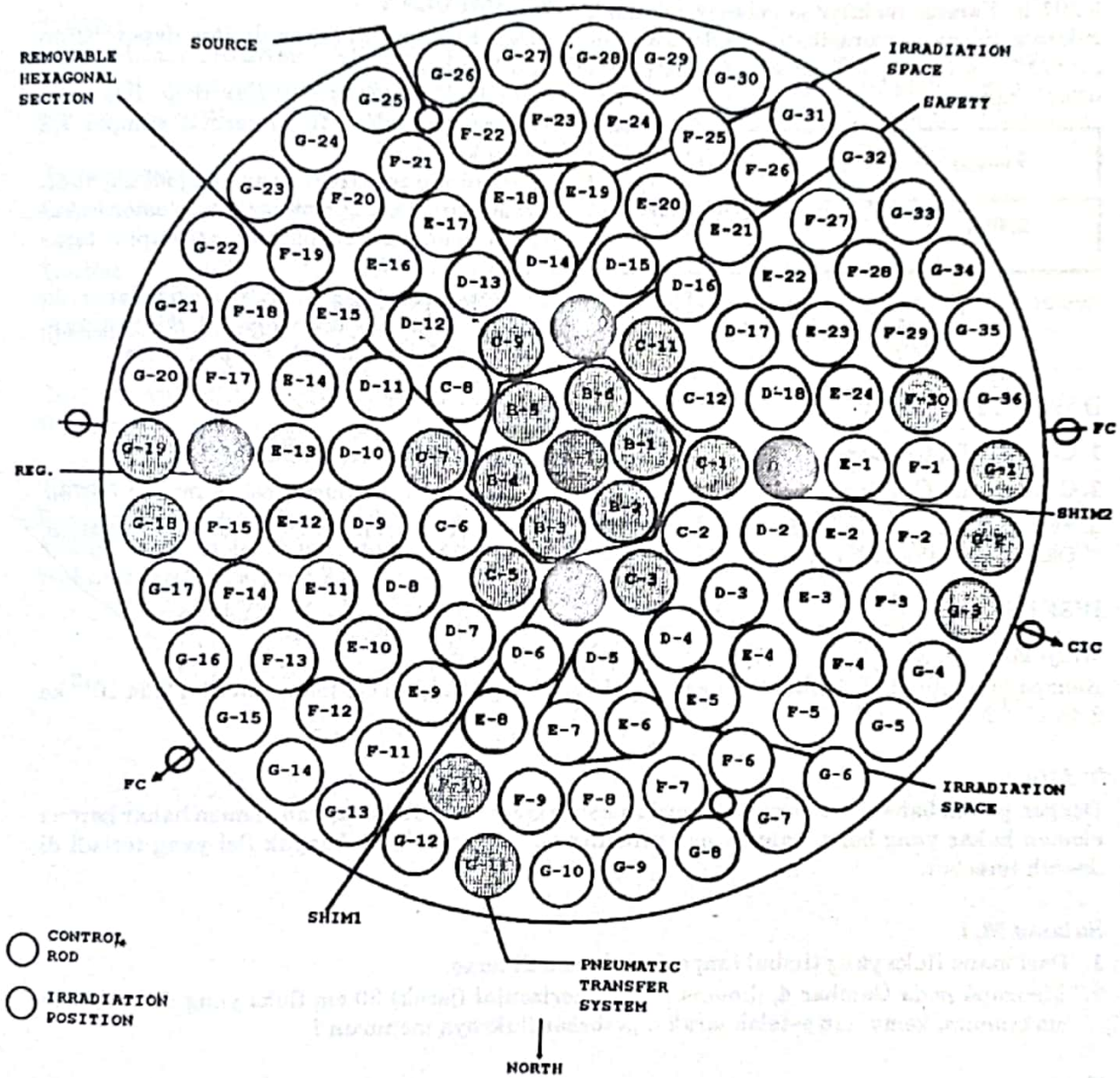
1	2	3	4	5	6
9566	106	54,41	33,889	E-6	
8741	106	53,66	33,591	E-7	
9565	106	54,50	33,735	E-8	
8739	106	53,67	34,193	E-9	
7503	106	55,00	33,840	E-10	
8746	106	53,59	33,702	E-11	
8745	106	53,63	34,299	E-12	
8744	106	53,57	34,157	E-13	
9343	106	54,94	33,905	E-14	
9560	106	55,88	34,091	E-15	
7506	106	55,00	33,918	E-16	
9556	106	55,00	33,972	E-17	
9561	106	56,16	34,299	E-18	
8750	106	53,22	34,595	E-19	
9347	106	54,30	33,052	E-20	
9345	106	54,18	33,934	E-21	
7504	106	55,00	33,880	E-22	FFCR Safety
9340	106	54,87	33,901	E-23	
9562	106	54,83	33,261	E-24	
9854	104	38,32	32,883	F-1	
9858	104	37,51	32,752	F-2	
8751	106	52,72	31,745	F-3	
9544	106	54,53	33,866	F-4	
8552	106	52,07	31,781	F-5	
7860	106	54,00	33,364	F-6	
9563	106	54,52	33,791	F-7	
9682	104	38,15	32,230	F-8	
7859	106	55,00	32,176	F-9	
				F-10	
8740	106	53,54	33,901	F-11	
9553	106	55,50	34,244	F-12	
9688	104	37,82	33,845	F-13	
7502	104	55,00	33,755	F-14	
9989	104	38,67	33,025	F-15	
9570	306	46,27	35,830	F-16	FFCR Reg
9681	104	38,13	32,179	F-17	
7507	106	55,00	33,976	F-18	
9555	106	56,06	34,085	F-19	
9990	104	37,67	32,044	F-20	
8548	106	52,79	31,386	F-21	
8554	106	51,98	32,882	F-22	
8550	106	52,15	31,857	F-23	
7862	106	54,00	33,710	F-24	
9697	104	37,39	33,460	F-25	
9856	104	37,70	32,071	F-26	
9855	104	38,36	32,759	F-27	
9698	104	37,74	33,773	F-28	
7857	106	55,00	32,198	F-29	
				F-30	

1	2	3	4	5	6
				G-1	
				G-2	
				G-3	
				G-4	
8551	106	52,38	31,300	G-5	
6709	104	38,00	29,227	G-6	
				G-7	
7863	106	54,00	31,026	G-8	
6711	104	38,00	29,227	G-9	
6713	104	38,00	29,741	G-10	
				G-11	
				G-12	
6677	104	38,00	30,249	G-13	
6698	104	38,00	29,628	G-14	
				G-15	
8549	106	52,96	31,279	G-16	
7858	106	55,00	30,720	G-17	
6696	104	38,00	29,247	G-18	
				G-19	
				G-20	
7874	106	55,06	34,686	G-21	
9344	106	54,91	33,818	G-22	
				G-23	
6721	104	38,00	29,180	G-24	
6737	104	38,00	29,810	G-25	
6718	104	38,00	29,367	G-26	
				G-27	
7855	106	54,00	30,612	G-28	
6695	104	38,00	29,230	G-29	
				G-30	
				G-31	
6747	104	39,00	32,467	G-32	
7067	104	38,00	37,096	G-33	
7856	106	55,00	31,669	G-34	
				G-35	
6679	104	38,00	31,523	G-36	

Dalam usaha untuk menaikkan fluks neutron termal di posisi iradiasi *Central Thimble* (A1), suatu teras hipotesis telah diasumsikan. Konfigurasi teras ini dibuat dengan mengganti 6 buah elemen bakar dalam ring B dan 6 buah elemen bakar dalam ring C dengan 12 batang grafit. Selanjutnya agar reaktivitas dari teras tetap terjaga, 21 batang elemen bakar yang masih segar dimasukkan dalam ring C dan D, Konfigurasi lengkap teras dengan 12 batang grafit ini (biasa disebut flux trap) terlihat pada Gambar 5.

Dua besaran yang penting, pada kedua model reaktor ini, yaitu fluks termal rata-rata pada *Central Thimble* dan k_{eff} dituliskan pada tabel di bawah ini :

	$\phi_{\text{termal C.T.}}$	k_{eff}
Tanpa flux trap	$1,64 \times 10^{13}$	1,0185
12 flux trap	$2,54 \times 10^{13}$	111,0196



Gambar 5. Konfigurasi teras reaktor dengan 12 elemen grafit.

Dari tabel tersebut terlihat bahwa 12 buah grafit elemen ini dapat menaikkan fluks neutron termis di *Center Thimble* sampai 1,5 kali. Tetapi dilain pihak reaktivitas lebih dari teras menurun tajam, yang walaupun kemudian dikompensasi dengan penambahan bahan bakar baru di ring C dan D, hanya menaikkan sampai 3,297 \$. Karena reaktivitas sebesar ini tidak cukup untuk mengoperasikan pada daya maksimum 1 MWatt, penambahan elemen bakar baru diperlukan.

$\phi_{\text{termal CT}}$	k_{eff}
$2,48 \times 10^{13}$	1,0339

Sesuai dengan jumlah elemen bakar baru yang masih dimiliki oleh PPTN, duabelas batang elemen bakar 104 disisipkan di ring E.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa :

Reaktivitas sebesar 5 \$ ini cukup untuk menghasilkan energi sebesar 105 MWd.

KESIMPULAN

- Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa :
- Pembuatan 12 batang *flux trap* di tengah teras menaikkan fluks termal sampai 1,5 kali.
- Penurunan reaktivitas yang terjadi dapat dikompensasi dengan memasang elemen bakar baru sebanyak 33 batang, walaupun teras hanya 105 MWd.
- Umur teras yang lebih panjang dapat diharapkan dari elemen bakar dengan kandungan U yang lebih besar ($\geq 20 \text{ W/o}$).

DAFTAR PUSTAKA

1. Cepraga, D., Citation code, Institute of Power Reactors, Bucharest, Rumania (1978).
2. Cepraga, D., Citation burn-up chain, Institute of Power Reactors, Bucharest, Rumania (1978).
3. Fowler, T. B., Vondy, D. R., Cunningham, G. W., Nuclear reactor core analysis code Citation, Oak Ridge National Laboratory (July 1969).

DISKUSI

Widji E. :

Kenapa bila ditambah 21 *fuel* baru ke 33 *fuel* baru harga fluks di CT menurun dari $2,54 \cdot 10^{12}$ ke $2,48 \cdot 10^{12}$?

T. Alfa :

Dengan penambahan *fuel* baru distribusi fluks bergeser dari CT ke daerah elemen bakar karena elemen bakar yang baru, banyak mengandung U. Sehingga lebih banyak fisi yang terjadi di daerah tersebut.

Salama M. :

1. Dari mana fluks yang timbul tanpa *fuel* elemen di teras.
2. Mengapa pada Gambar 4, dimana sumbu horizontal (jarak) 30 cm fluks yang ditimbulkan maksimum, kemudian setelah jarak diperbesar fluksnya menurun ?

T. Alfa :

1. Fluks neutron yang timbul di tengah teras (ring A) berasal dari neutron-neutron lain di ring-ring luar. Karena neutron-neutron ini mempunyai energi, maka ia bergerak dalam teras.
2. Dalam arah horizontal, pusat teras berada pada jarak sekitar 30 cm dari atas. Pada titik ini fluks maksimum karena ia tidak dapat lolos dari teras, neutron dipinggir teras dapat lolos dari teras, karena fluksnya rendah.

Djumhiat:

Mohon dijelaskan mengapa konfigurasi teras disusun sedemikian rupa sehingga ring B dibuat untuk 6 buah *fuel*. Barangkali penulis dapat mendesain suatu teras baru dengan susunan konfigurasi teras dimana ring B bisa memuat >6 buah (disini *fuel*nya lebih kecil dari *fuel* yang ada).

T. Alfa:

Elemen bakar TRIGA sudah tertentu besarnya. Secara teoritis mungkin saja didesain *fuel* elemen yang kecil, yang dapat disusun lebih banyak di ring B. Tapi yang jelas *fuel* elemen seperti ini tidak akan dapat kita fabrikasi, sehingga perancangan seperti itu kelihatannya tidak berguna.

Arlinah K.:

Bagaimana dengan distribusi *fuel*/daya pada teras setelah ada perubahan *flux trap*.

T. Alfa:

Penambahan *flux trap* sedikit menurunkan fluks termal di daerah teras yang lain, tapi kelihatannya perubahan ini tidak terlalu terasa (signifikan).

Suryawinata:

Bila ring yang di tengah (ring B) diganti grafit, apakah reaktor masih bisa kritis ?

T. Alfa:

Seperti terlihat pada hasil perhitungan, reaktor masih dapat kritis, jika 31 buah elemen bakar di ring C dan D diganti dengan elemen bakar baru. Dalam keadaan ini reaktor masih mempunyai reaktivitas lebih sebesar \$ 5.