

FAKTOR MODERASI PADA BERBAGAI MODEL ELEMEN BAKAR PLAT

As Natio Lasman, Hilman Ramli
Pusat Reaktor Serba Guna

ABSTRAK

FAKTOR MODERASI PADA BERBAGAI MODEL ELEMEN BAKAR PLAT. Elemen bakar plat adalah merupakan satu diantara jenis elemen bakar yang banyak digunakan di dalam reaktor-reaktor riset maupun reaktor-reaktor produksi isotop. Dibandingkan dengan jenis elemen bakar lainnya, maka elemen bakar plat mempunyai luasan kelongsong yang lebih besar, dengan demikian pemanfaatan elemen bakar ini menjadi lebih menarik karena panas yang dihasilkan oleh reaksi fisi maupun oleh panas γ dapat dipindahkan dengan lebih baik ke pendingin. Artinya bahwa dengan menggunakan elemen bakar ini dimungkinkan untuk mendapatkan fluks neutron berorde tinggi. Berdasar atas hal tersebut maka beberapa faktor, misal pengkayaan ^{235}U , kerapatan uranium, material campuran pada daerah *meat* dan kelongsong, perbandingan moderasi, harus diperhitungkan. Faktor moderasi mempunyai arti yang sangat penting, yakni di dalam aspek reaksi berantai, aspek keselamatan dan pemanfaatan yang optimal terhadap elemen bakar. Koefisien reaktivitas negatif diperlukan untuk memenuhi aspek keselamatan. Faktor moderasi sangat bergantung pada volume air yang berada di antara bahan bakar plat. Di dalam makalah ini dibahas model elemen bakar yang mempunyai 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29 dan 31 buah bahan bakar plat. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan WIMS-D4. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa elemen bakar yang mempunyai bahan bakar plat hingga 23 buah masih dapat digolongkan ke dalam kondisi *over moderated*. Sementara itu koefisien reaktivitas dari elemen-elemen bakar yang dibahas di atas masih tetap dalam kategori negatif.

ABSTRACT

MODERATION FACTOR OF SOME FUEL PLATE TYPE MODELS. Fuel plate type is one of the fuel types which is used in the research reactors and also in the isotope production reactors. The claddings area of this fuel plate type is bigger than another fuel type, so using of this fuel plate type is more interesting because the heat, which is produced by the fission process and also γ heating, will be better transferred into the coolant. It means it is possible to get an high order of neutron flux. Based on this reason some factors, i.e. the enrichment of ^{235}U , Uranium density, mixing material in the meat region and also in the cladding, moderation ratio, must be calculated. The moderation factor has important meanings, i.e. in the chain reactions, safety aspect and the optimal using of the fuel element. The negative reactivity coefficient is required to fulfill the safety aspect. The moderation factor depends on the water volume between the fuel plates. In this paper will be discussed the moderation factor/ratio of the fuel plate type which has 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29 and 31 fuel plates with the same dimension except the cooling gap. The WIMS-D4 code was used for the calculation. The calculation showed that the fuel plate types, which is build until 23 fuel plates, are still over moderated condition. The reactivity coefficient of the above fuel plate types is still negative.

PENDAHULUAN

Mengingat bahwa elemen bakar model plat mempunyai luasan pendinginan (kelongsong) lebih dari 6 kali lebih luas dibandingkan dengan model pin, maka dimungkinkan untuk mendapatkan fluks neutron berorde tinggi. Dengan demikian elemen bakar ini banyak digunakan pada berbagai reaktor riset maupun reaktor produksi isotop. Dengan adanya fluks neutron berorde tinggi tersebut, maka kriteria keselamatan merupakan hal penting yang harus diperhatikan. Setidak-tidaknya dua hal yang perlu diperhatikan, yakni faktor moderasi dan koefisien reaktivitas.

Faktor moderasi berkaitan erat dengan kemampuan moderator memperlambat neutron guna keperluan kelangsungan reaksi berantai. Kemampuan memoderasi ini berkaitan erat juga nantinya dengan kemampuan pemanfaatan elemen bakar itu

sendiri. Adalah sangat dianjurkan memilih elemen bakar yang mempunyai kemampuan moderasi pada daerah yang optimal atau yang mendekatinya, namun masih dalam kategori *over moderated*. Sementara itu besaran koefisien reaktivitas perlu diketahui untuk memastikan reaktivitas elemen bakar ataupun teras apabila terjadi perubahan suhu. Dalam makalah ini ditinjau perubahan suhu untuk pendingin.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan paket program WIMS-D4¹, yakni suatu paket program yang dimaksudkan untuk menghitung berbagai besaran fisika, misalampang lintang makroskopis untuk fisi, absorpsi, difusi, hamburan dari kelompok tenaga yang satu ke kelompok tenaga lainnya. Spektrum neutron dari masing-masing kelompok tersebut dapat diketahui, dengan demikian dapat diketahui kelakuan neutron

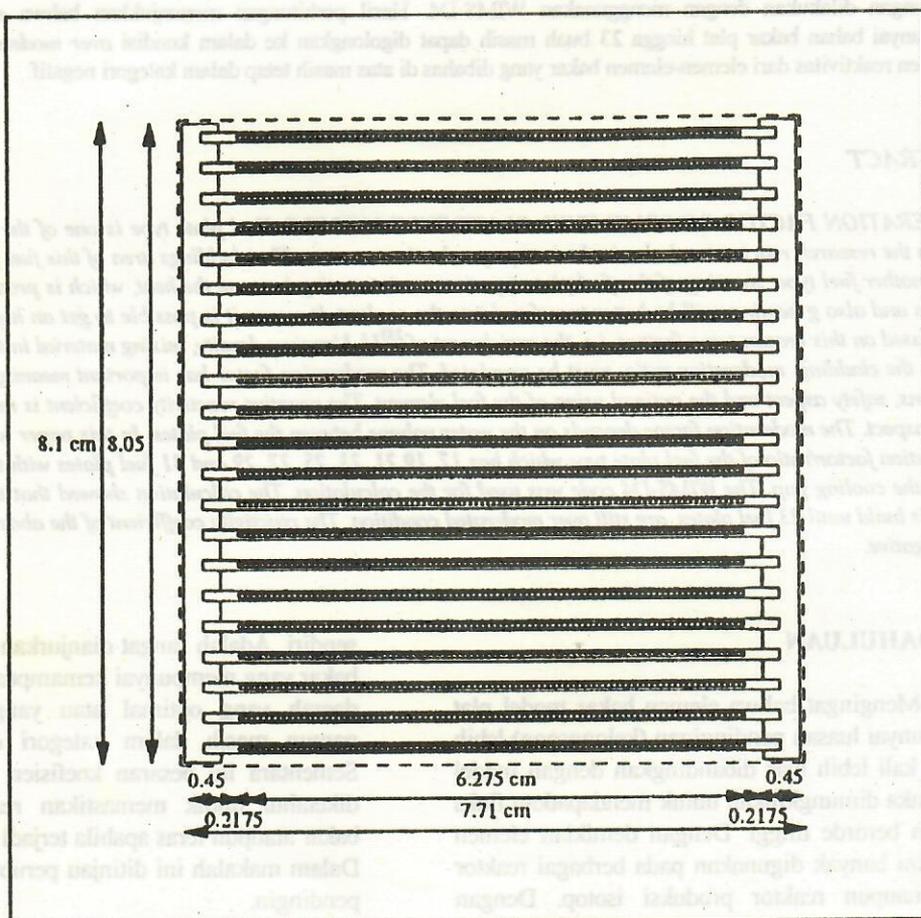
di dalam elemen bakar tersebut. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan 4 buah kelompok tenaga neutron.

MODEL ELEMEN BAKAR

Perhitungan dilakukan terhadap elemen bakar model plat sebagaimana yang digunakan pada RSG GAS². Kisi-kisi elemen bakar berukuran $8.1 \times 7.71 \text{ cm}^2$. Tebal bahan bakar plat adalah 0.13 cm , dimana tebal meat adalah 0.054 cm dan kelongsong adalah 0.038 cm . Kelongsong menggunakan AlMg_2 demikian pula untuk materi struktur yang mempunyai ketebalan 0.45 cm .

Secara umum dimensi elemen bakar tersebut disajikan pada gambar 1.

Bahan bakar yang digunakan di dalam perhitungan ini adalah matriks $\text{U}_3\text{O}_8\text{Al}$. Pengkayaan yang digunakan adalah tetap yakni $19,75\% \text{ }^{235}\text{U}$, namun muatan untuk berbagai kasus perhitungan berbeda-beda, yakni untuk tingkat muat ^{235}U sebanyak 250, 300, 350, 400 dan 450 gram untuk setiap elemen bakar. Elemen bakar pada model perhitungan disusun atas 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29 dan 31 buah bahan bakar plat. Adapun ketidakhomogenan U_3O_8 dan Al disajikan pada tabel 1 dan pada tabel 2 disajikan elemen penyusun AlMg_2 ³, yakni elemen yang digunakan sebagai kelongsong dan struktur.



Gambar 1. Elemen bakar, tipe MTR

Tabel 1. Elemen pengotor pada U_3O_8 dan Al.

	Maksimum ketidakmurnian, ppm	
	Puder U_3O_8	Puder Al
Al	100	-
B	2	10
Ba	10	-
Be	0,2	-
Ca	50	-
Ca	0,5	10
Co	3	10
Cu	20	80
Fe	-	4000
K	20	-
Li	5	10
Mg	50	150
Mn	5	-
Na	50	-
P	100	-
Si	50	3000
Ti	-	200
V	2	-
F	20	-
Zn	-	300
Cr-Ni-Fe	150	-
Pengotor :		
♦ tunggal	-	300
♦ total	-	5000

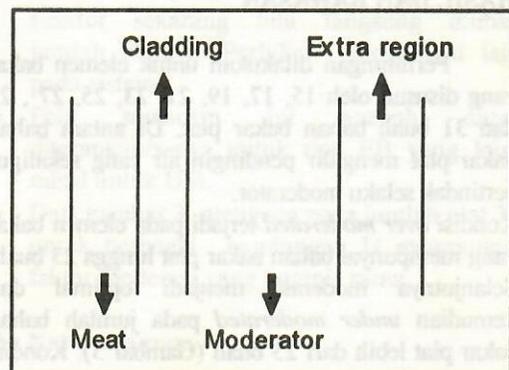
Tabel 2. Elemen AlMg₂

Elemen	%
Al	96.1
Ti	0.1
Si	0.3
Fe	0.4
Cu	0.05
Mn	0.3
Cr	0.3
Zn	0.2
Lain-lain	0.2
Mg	2.05

MODEL SEL DAN GENERASI TAMPANG LINTANG

Model sel.

Elemen bakar yang disusun dari 15 hingga 31 buah bahan bakar plat dimodelkan sebagai bentuk slab. Di sini digunakan model sebuah slab (gambar 2). Daerah *meat* berisi U_3O_8 Al, kelongsong (*cladding*) terdiri dari AlMg₂, sebagai moderator adalah air dan di daerah *extra region* berisi air dan AlMg₂. Dalam perhitungan ini ukuran *meat* dan kelongsong dianggap tetap, sementara ukuran moderator, yakni *gap* antara bahan bakar plat dan juga *extra region* senantiasa berubah sesuai dengan banyaknya bahan bakar plat yang digunakan. Dalam tabel 3 perubahan harga tersebut disajikan.



Gambar 2. Model sel

Generasi Tampanglintang

Untuk keperluan ini digunakan paket program WIMSD-4 dengan model sel sebagaimana disebutkan pada sub bab di atas. Pendekatan B_1 digunakan untuk menyelesaikan perhitungan *lattice cell* yang homogen dan memanfaatkan data hamburan dengan modus P_1 . Untuk penyederhanaan perhitungan, yang tentu saja disesuaikan dengan kemampuan komputer *main-frame* VAX-8550, maka digunakan 4 buah kelompok tenaga neutron sebagai hasil penyederhanaan dari 69 buah kelompok tenaga neutron.

Tabel 3. Ketebalan moderator dan *extra region* pada model sel

B.bakar plat,bh.	Moderator (model sel), cm	Extra region [ER] (model sel). panjang (cm) dan komposisi (%)		
		ER, cm	H ₂ O, %	AlMg ₂ , %
15	0.20500	0.06174	30,37%	69,63%
17	0.17324	0.05448	29,40%	70,60%
19	0.14816	0.04875	28,43%	71,57%
21	0.12786	0.04410	27,45%	72,55%
23	0.11109	0.04027	26,48%	73,52%
25	0.09700	0.03705	25,51%	74,49%
27	0.08500	0.03430	24,53%	75,47%
29	0.07466	0.03194	23,56%	76,44%
31	0.06565	0.02988	22,59%	77,41%

HASIL DAN BAHASAN

Perhitungan dilakukan untuk elemen bakar yang disusun oleh 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29 dan 31 buah bahan bakar plat. Di antara bahan bakar plat mengalir pendingin air yang sekaligus bertindak selaku moderator.

Kondisi *over moderated* terjadi pada elemen bakar yang mempunyai bahan bakar plat hingga 23 buah. Selanjutnya moderasi menjadi optimal dan kemudian *under moderated* pada jumlah bahan bakar plat lebih dari 25 buah (Gambar. 3). Kondisi tersebut semakin jelas terlihat pada tingkat muat 250 gram ²³⁵U, sebagaimana elemen bakar yang dimanfaatkan oleh RSG GAS saat ini. Pada tingkat muat yang lebih tinggi maka terdapat kecenderungan bahwa kondisi *under moderated* mulai terjadi pada bahan bakar plat sejumlah 23 buah untuk tingkat muat 350 gram ²³⁵U, 21 buah untuk tingkat muat 400 gram ²³⁵U dan 19 buah plat untuk tingkat muat 450 gram ²³⁵U. Dengan demikian untuk tingkat muat ²³⁵U yang tinggi, maka jumlah bahan bakar plat penyusun elemen bakar harus diperhatikan agar unjuk kerja yang optimal dapat diperoleh. Dari segi perhitungan neutronik maka semakin mendekati daerah puncak grafik, baik dari sisi *over* ataupun *under moderated* akan mengakibatkan terjadinya reaksi berantai yang lebih baik, karena kemampuan memoderasi yang cukup baik. Hal tersebut ditunjukkan oleh faktor multiplikasi yang besar. Artinya bahwa untuk perhitungan teras secara menyeluruh maka teras reaktor akan mempunyai reaktivitas terbesar bila memanfaatkan elemen bakar tersebut. Dengan demikian satu siklus teras akan mempunyai waktu yang terpanjang dibanding apabila harus menggunakan elemen bakar lainnya.

Pengaruh suhu, dalam hal ini dihitung hingga 50°C tetap dalam kategori reaktivitas negatif. Pemilihan suhu perhitungan tersebut adalah disesuaikan dengan kondisi operasi reaktor. Namun yang perlu diwaspadai adalah kenaikan suhu yang mendekati kondisi pendidihan mulai terjadi, meskipun koefisien reaktivitas tetap negatif, apabila ditinjau dari segi termohidraulik. Pada gambar 4 dan 5 masing-masing menjelaskan perihal faktor moderasi pada suhu 35 dan 50°C.

SIMPULAN

1. Pemanfaatan elemen bakar yang disusun dari bahan bakar model plat, ditinjau dari segi perpindahan panas adalah sangat menguntungkan. Berdasar hal tersebut maka tujuan memperoleh fluks neutron berorde tinggi dapat dicapai.
2. Semakin tinggi tingkat muat ²³⁵U maka semakin rendah jumlah plat penyusun elemen bakar agar diperoleh kondisi yang *over moderated*.
3. Pemanfaatan elemen bakar akan optimal apabila jumlah elemen plat yang digunakan dapat menghasilkan faktor multiplikasi tak hingga yang mendekati atau tepat di daerah puncak kurva.

REKOMENDASI

Pemanfaatan Uranium silisida adalah sangat menguntungkan ditinjau dari kemampuannya mencapai tingkat muat yang tinggi. Namun untuk menghindari kondisi *under moderated* perlu ditinjau dengan seksama jumlah bahan bakar plat penyusun elemen bakar tersebut.

REFERENSI

1. Taubman, C.J., WIMS-D4; United Kingdom Atomic Energy Authority, 1975
2. PRSG-BATAN
Safety Analysis Report MPR-30, Rev. VII
3. Handbook of International Alloy Composition and Designation, Vol.III, Aluminium; Metals and Ceramics Information (MCIC) Report, October '80.
4. Reaktortechnik, Vorlesung, 1987
Schulten, Rudolf, RWTH Aachen, Germany

TANYA JAWAB

1. Zukair :

- Dalam kesimpulan tidak dijelaskan elemen bakar dengan jumlah plat dan massa U-235 tertentu yang memiliki faktor moderasi terbaik. Apakah ini disebabkan karena perhitungan terasnya belum dilakukan ?

As Natio Lasman:

- Perhitungan teras memang tidak perlu dilakukan, karena kondisi optimalnya, sebagaimana tertera pada grafik, dapat ditentukan dengan mudah. Jadi kalau banyaknya U-235 diketahui (dengan kata lain kerapatan yang digunakan ditentukan), maka berapa jumlah plat yang sebaiknya digunakan dapat ditentukan agar tercapai kondisi under moderated dan optimal pemanfaatannya.

2. Sugiharto:

- Apakah hasil penelitian Anda juga berlaku untuk reaktor bukan MTR ?
- Apakah program WIMS-D4 (sudah) proven dan apakah sudah di pakai oleh negara-negara lain ?

As Natio Lasman:

- Tidak berlaku.
- Program WIMS-D4 sudah teruji dan banyak digunakan oleh negara-negara lain. Bahkan untuk negara-negara anggota IAEA dapat memperolehnya melalui badan internasional tsb.

3. Sardjono:

- Penelitian yang dilakukan sangat menarik. Namun mengapa masih berkuat masalah

jumlah pelat. Kapan ada penelitian tentang klading terhadap elemen bakar hasil PEBN yang sekarang. Karena kami sebagai fabrikator EB berharap tebal klading dapat diturunkan dari 0,25 m (minimal) menjadi kira-kira 0,20 (minimal).

As Natio Lasman:

- Usulan tersebut merupakan masukan bagi kami. Untuk itu usulan tsb. akan segera kami tindak lanjuti dengan mengadakan perhitungan / pemodelan.

4. Indro Yuwono :

- Dengan menambah jumlah plat dari 21 menjadi 23 ekonomi netron baik, dampak lain apakah yang terpengaruh untuk kondisi reaktor sekarang bila langsung diubah jumlah platnya. Perlukah modifikasi lain pada sistem.
- Pola semacam ini apakah dapat diterapkan/x-nya untuk tipe EB yang lain, misal untuk USi.
- Dari gambar 3, mengapa pada jumlah plat 31 untuk berbagai kandungan U mempunyai faktor moderasi yang hampir sama.

As Natio Lasman:

- Modifikasi sistem ataupun teras tidak perlu dilakukan yang penting justru mengetahui apakah absosbes masih mampu mengendalikan reaksi berantai dalam keadaan "struck-rod".
- Benar hal tersebut berlaku pula untuk Uranium Silicida.
- Hal tersebut dimaklumi, bahwa dengan semakin banyak jumlah plat-plat bakar, berarti semakin sempit lebar kanal pendingin. Akibatnya adalah faktor moderasi rendah/ jelek, sehingga mengakibatkan perubahan tingkat muat menjadi tidak terlihat jelas.

5. Amil Mardha:

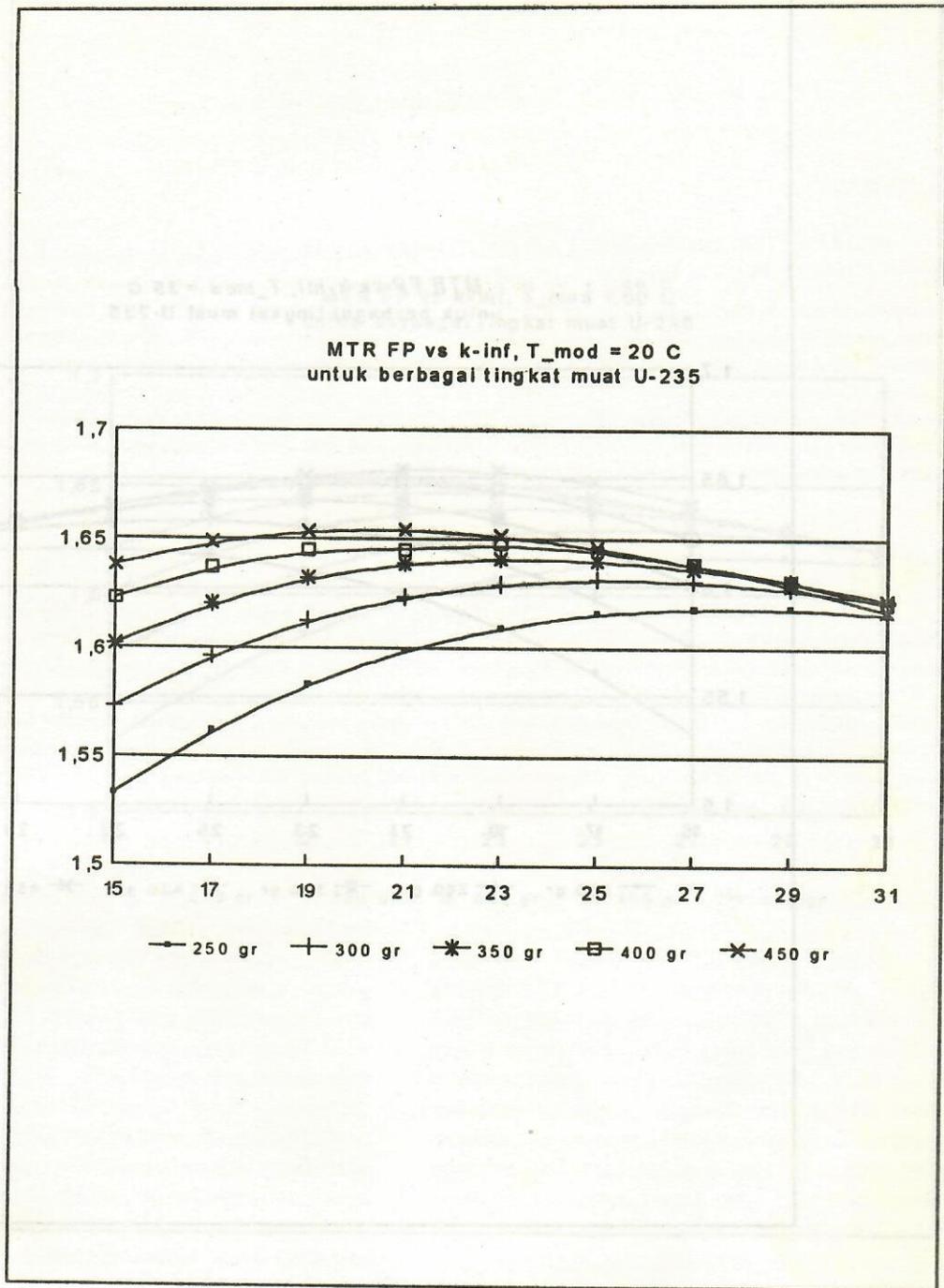
- Dalam perhitungan Bapak, apakah plat di CE diperhitungkan juga ? Kalau tidak / ya mohon penjelasan.
- Dalam kesimpulan Bapak, kalau tidak salah, memanfaatkan massa U (gr) yang lebih banyak dengan maksud agar jumlah plat sedikit dan menjadi reaktor pada kondisi Under Moderated. Hemat Saya, bila kandungan massa gr lebih banyak tentunya

membutuhkan dana besar ? Mohon penjelasan tentang faktor ekonomisnya ?

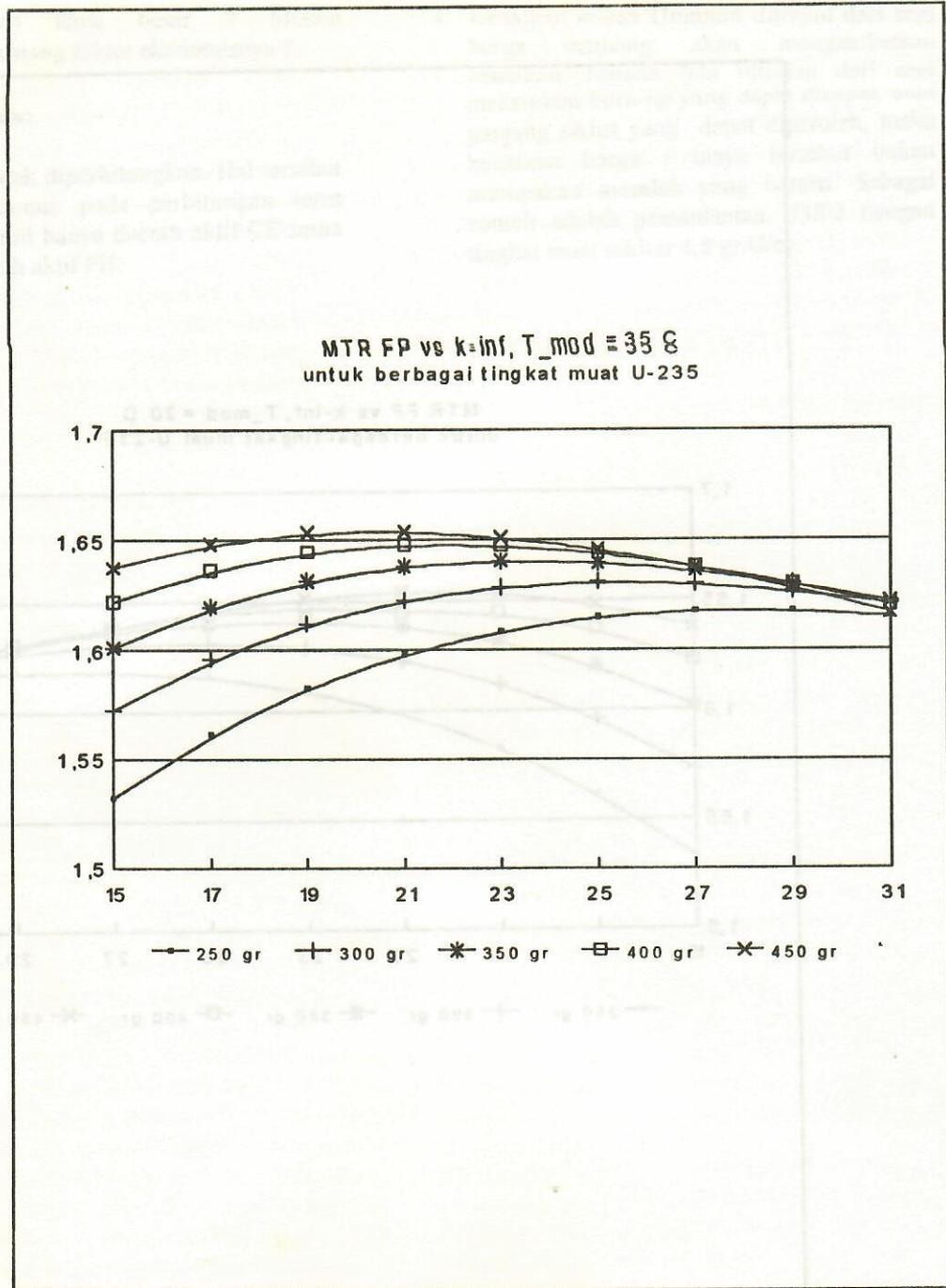
As Natio Lasman:

- Untuk CE tidak diperhitungkan. Hal tersebut ditempuh karena pada perhitungan teras reaktor diambil hanya daerah aktif CE sama dengan daerah aktif FE.

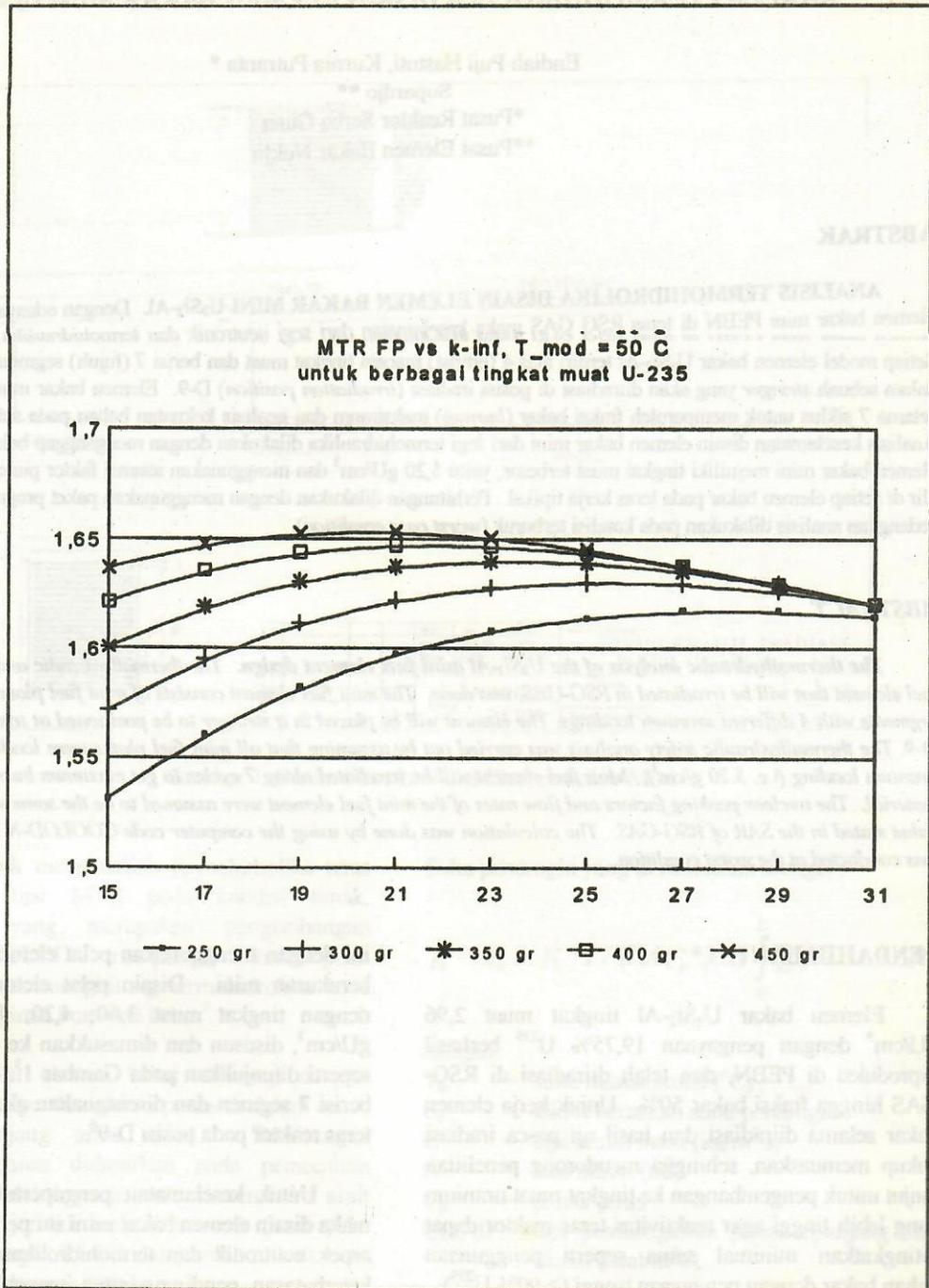
- Kenaikan massa Uranium ditinjau dari segi harga memang akan mengakibatkan kenaikan. Namun bila ditinjau dari segi maksimum burn-up yang dapat dicapai, atau panjang siklus yang dapat diperoleh, maka kenaikan harga / biaya tersebut bukan merupakan masalah yang berarti. Sebagai contoh adalah pemanfaatan U_3Si_2 dengan tingkat muat sekitar 4,8 gr.U/cc.



Gambar 3. Faktor moderasi untuk $T_{mod} = 20^{\circ}\text{C}$



Gambar 4. Faktor moderasi untuk $T_{mod} = 35^{\circ} C$



Gambar 5. Faktor moderasi untuk $T_{mod} = 50^{\circ}C$