

## PENGGUNAAN PERANGKAT LUNAK TUTSIM UNTUK MENGHITUNG PENGARUH XENON TERHADAP REAKTIVITAS PADA REAKTOR TRIGA MARK II

Sudjatni K. A., T. Alfa

Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

PENGGUNAAN PERANGKAT LUNAK TUTSIM UNTUK MENGHITUNG PENGARUH XENON TERHADAP REAKTIVITAS PADA REAKTOR TRIGA MARK II. Xenon selain merupakan hasil langsung pembelahan U-235, juga dihasilkan dari peluruhan I-135. Karena xenon mempunyai penampang serapan neutron termal yang cukup besar yaitu  $2,7 \cdot 10^6$  barn, maka pengaruhnya terhadap reaktivitas reaktor termal cukup besar. Dengan mempergunakan perangkat lunak TUTSIM dapat dibuat model yang memperlihatkan sifat pembentukan xenon terhadap daya. Pembentukan xenon pada daya konstan tergantung kerapatan neutron. Semakin besar kerapatan neutron, maka semakin tinggi konsentrasi xenon yang dihasilkan. Pada pengurangan daya reaktor dan pada saat reaktor *shutdown* konsentrasi xenon akan terus naik sampai mencapai harga maximum dan kemudian turun. Pada reaktor TRIGA MARK II, dimana diambil fluks neutron =  $7,2 \cdot 10^{12}$ , jumlah xenon maximum dicapai selama 5,555 jam setelah reaktor *shutdown*.

### ABSTRACT

THE USE OF TUTSIM TO CALCULATE THE EFFECT OF XENON TO THE REACTIVITY OF THE TRIGA MARK II REACTOR. Besides is produced directly in fission of U-235, xenon is also formed as the result of the decay of I-135. Due to the cross section of xenon is so large ( $2.7 \cdot 10^6$  barn), the effect of xenon to the thermal reactor is great. By making a model using TUTSIM software can be shown Xe building characteristic to power. xenon building at constant power depends on the neutron flux. More the neutron flux, higher Xe concentration produced. At the decreasing of reactor power and at the shutdown of reactor, the Xe concentration will continue increase to reach a maximum value, and then begin to decrease. At TRIGA MARK II reactor, where neutron flux =  $7.2 \cdot 10^{12}$ , maximum Xe is reached 5.555 hours after shutdown of reactor.

### PENDAHULUAN

Telah diketahui bahwa batang kendali, deplesi, peracunan akibat proses fisi, material dapat belah, temperatur, dsb berpengaruh pada faktor kelipatan reaktor. Pada reaktor termal, peracunan yang disebabkan oleh proses fisi memegang peranan yang cukup penting. Pada saat reaktor beroperasi, bahan-bahan hasil belah ini dibentuk di bahan bakar. Beberapa bahan hasil pembelahan langsung dihasilkan pada proses fisi, dan beberapa nuklida dihasilkan setelah terjadi proses peluruhan bahan hasil belah. Beberapa nuklida yang dihasilkan secara langsung maupun tidak langsung oleh proses pembelahan mempunyai penampang serapan neutron yang besar, sehingga mengakibatkan peracunan pada reaktor. Bila racun-racun ini dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar, maka racun-racun ini akan mempengaruhi faktor perkalian reaktor. Karena beberapa dari racun ini terus dibentuk oleh peluruhan radioaktif, maka walaupun reaktor telah *shutdown*

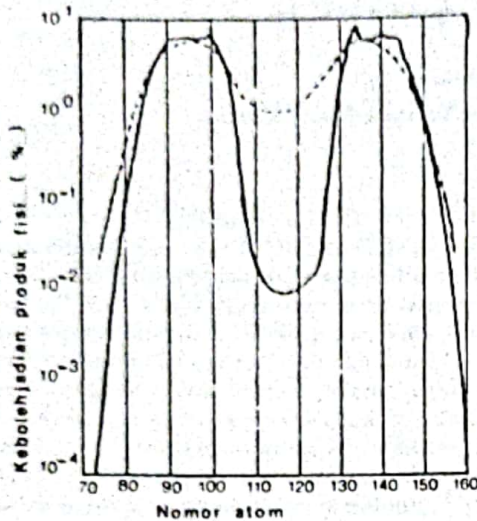
konsentrasi racun-racun ini dapat bertambah sampai mencapai nilai maksimum. Oleh sebab itu pada reaktor termal, penambahan eksese reaktivitas harus direncanakan dengan memperhatikan faktor peracunan. Karena xenon mempunyai luas penampang pengabsorpsi neutron termis yang besar, maka nuklida ini harus diperhatikan. Xenon dibentuk sebagai hasil peluruhan Tellurium-135 yang langsung dihasilkan pada saat reaksi fisi terjadi. Dua efek kinetika yang harus diperhatikan pada reaktor kontrol adalah keseimbangan peracunan xenon dan puncak peracunan xenon. Keseimbangan peracunan xenon ini terjadi pada saat reaktor sedang beroperasi dan puncak peracunan terjadi setelah reaktor *shutdown*.

### TEORI

Isotop-isotop yang dihasilkan oleh reaksi pembelahan bahan bakar Uranium mempunyai kemungkinan seperti tertera pada Gambar 1.



Isotop-isotop hasil belah ini meluruh kembali dan membentuk hasil antara yang mempunyai umur panjang atau pendek. Perubahan konsentrasi isotop dalam reaktor dapat dituliskan



Gambar 1. Distribusi massa hasil pembelahan termal U-235.

sebagai berikut:

$$dN_i(t)/dt = \int_0^\infty \sum_1 \gamma_i(E) \sigma_{f,i}(E) N_1(t) \Phi(E,t)$$

$$dE + \int_0^\infty [\sigma_{c,i-1}(E) N_{i-1}(t)] \Phi(E,t) dE +$$

$$\sum_j \lambda_j N_j(t) - \int_0^\infty [\sigma_{a,i}(E) N_i(t)] \Phi(E,t) dE -$$

$$\lambda_i N_i(t) \quad (1)$$

$N_i$  = isotop ke  $i$ ;  $\gamma_i$  = jumlah atom yang dihasilkan tiap pembelahan;  $\sigma_f$  = penampang lintang fisi;  $\sigma_a$  = penampang lintang absorpsi;  $\sigma_c$  = penampang lintang capture;  $\Phi$  = fluks neutron;  $\lambda_i$  = konstanta peluruhan.

Suku yang pertama menggambarkan timbulnya isotop melalui proses pembelahan isotop 1 dengan  $\gamma_i$ , suku ke 2 ialah timbulnya isotop melalui penangkapan neutron dalam isotop  $i-1$ , suku ke 3 menunjukkan timbulnya isotop melalui peluruhan  $\alpha$  dan  $\beta$  dari isotop 1, sedangkan kehilangan melalui absorpsi neutron ditunjukkan dalam suku ke 4 dan melalui peluruhan radiasi digambarkan pada suku ke 5. Pada kasus yang berbeda, maka tidak semua variabel dan koefisien perlu diperhatikan. Pada reaktor termal misalnya, ketergantungan terhadap

energi dapat diabaikan dan  $\sigma$  serta  $\gamma$  pada daerah termal dapat juga diabaikan. Ketergantungan fluks terhadap energi dapat diganti dengan fluks termal ( $\phi_{th}$ ).

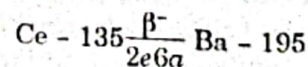
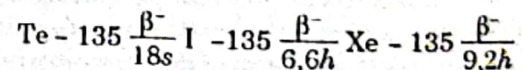
#### Pengaruh xenon terhadap reaktivitas

Reaktivitas pada reaktor diracuni oleh zat-zat hasil belah dengan jalan mengabsorpsi neutron. Pengaruh yang kuat dimiliki oleh zat-zat hasil belah yang mempunyai penampang pengabsorpsi besar. Dipandang dari sudut waktu paruhnya, orang dapat membagi pengaruh reaktivitas hasil belah menjadi 3 kategori :

- Bila waktu paruh besar dibandingkan umur bahan bakar, maka dapat diharapkan pembentukannya linier selama operasi.
- Bila waktu paruh lebih cepat dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan untuk operasi normal ( $\leq 1$  jam) maka akan terbenak suatu nilai jenuh dengan perlambatan yang lebih kecil.
- Bila waktu paruh terletak diantara (1 jam  $\leq t \leq 1$  a), maka akan terjadi penyimpangan daya yang besar. Hal ini terjadi dengan adanya hasil belah berupa Xe-135. Xe mempunyai waktu peluruhan 9,2 jam dan merupakan racun neutron yang kuat, karena penampang pengabsorpsinya yang lebih besar dibandingkan dengan hasil belah yang lain.

Xe-135 timbul dengan  $\gamma_{xe}$  yang relatif kecil yaitu 0,003 langsung pada saat terbelahnya U-235. Sebagian besar dari Xe dihasilkan dari Te-135 dan I-135 setelah mengalami peluruhan.

$$\gamma_{Te} = 0,056 \quad \gamma_I = 0,005 \quad \gamma_{Xe} = 0,003$$



Didasarkan pada waktu paruh Te-195 yang kecil, dapat dianggap bahwa I-195 langsung dihasilkan dengan  $\gamma_I = 0,061$ . Dengan skema yang dipermudah, maka konsentrasi  $I(t)$  dan  $Xe(t)$  dapat dituliskan sebagai berikut :

$$dI/dt = \gamma_I \Sigma_f \Phi - \lambda_I I(t) \quad (2)$$

$$dXe/dt = \lambda_I I(t) + \gamma_{Xe} \Sigma_f \Phi - \sigma_{a,Xe} Xe(t) \Phi - \lambda_{Xe} Xe(t) \quad (3)$$

Pada daya konstan dengan fluks neutron  $\Phi_0$ , maka kesetimbangan konsentrasi yang telah



mengalami beberapa waktu paruh, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I_{\infty} = \frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi_0}{\lambda_I} \quad (4)$$

$$Xe_{\infty} = \frac{\lambda_I I_{\infty} + \gamma_{Xe} \Sigma_f \Phi_0}{\lambda_{Xe} + \sigma_{a,Xe} \Phi_0} = \frac{(\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f \Phi_0}{\lambda_{Xe} + \sigma_{a,Xe} \Phi_0} \quad (5)$$

Peracunan ( $P$ ) pada reaktivitas didefinisikan sebagai hubungan antara neutron yang diabsorpsi oleh racun pengabsorber dengan neutron yang diabsorpsi oleh bahan bakar. Untuk peracunan xenon berlaku hubungan sebagai berikut :

$$P = \frac{\sigma_{a,Xe} Xe(t)}{\Sigma_{a,B}} = \frac{\Sigma_P}{\Sigma_{a,B}} \quad (6)$$

Dari empat faktor dalam persamaan  $k_{\infty}$  (faktor perlipatan tak berhingga) praktis hanya dipengaruhi oleh  $f$  (fraksi dari semua neutron termal yang diserap dalam bahan bakar). Bahkan (kebolehjadian tidak bocor sebagai neutron cepat) berkurang, tetapi untuk reaktor yang besar dengan kebocoran yang kecil pengaruh ini terhadap faktor  $(1 + L^2 B^2)^{-1}$  sangat kecil dan dapat diabaikan.

Perubahan reaktivitas dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\Delta \rho_P = \frac{k'_{eff} - k_{eff}}{k_{eff}} = \frac{f' - f}{f} = - \frac{P}{1 + M} \quad (7)$$

$$\text{dengan : } f' = \frac{\Sigma_{AB}}{\Sigma_{AB} + \Sigma_M + \Sigma_P} = \frac{1}{1 + M + P} \quad (8)$$

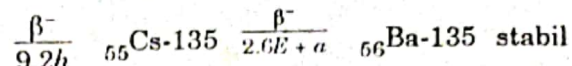
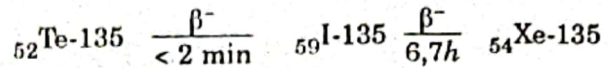
$$\text{dan : } f = \frac{\Sigma_{aB}}{\Sigma_{aB} + \Sigma_{aM}} \quad (9)$$

parasit pengabsorpsi di luar bahan bakar ditunjukkan melalui hubungan sebagai berikut :

$$M = \Sigma_{aM} / \Sigma_{aB} \quad (10)$$

**Peracunan oleh xenon pada fluks yang stasioner**

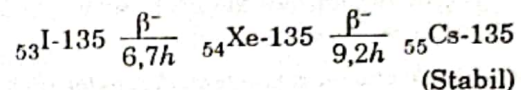
Isotop Xe-135 segera timbul setelah terjadi proses pembelahan dengan kemungkinan pembentukannya ( $\gamma$ ) 0,003. Sebagai tambahan, Xe-135 akan timbul juga dari Te-135 yang mempunyai  $\gamma$  lebih tinggi yaitu 0,0056 setelah mengalami peluruhan  $\beta^-$  sebanyak 2 tingkat.



Iodine + Tellur :  $\gamma_I + \gamma_{Xe} = 0,056$

Xenon :  $\gamma_{Xe} = 0,003$

Karena waktu paruh Te-135 kecil, maka dapat dianggap bahwa I-135 timbul langsung diakibatkan oleh  $\gamma_I + \gamma_{Te}$ . Sebaliknya karena Cs-135 mempunyai waktu paruh yang besar maka dapat dianggap stabil. Rantai peluruhan dapat disederhanakan sebagai berikut :



Dari penyederhanaan tersebut dapat diuraikan sebagai persamaan diferensial seperti persamaan 11 dan 12,

$$dN_I / dt = \gamma_I \phi \Sigma_f - \lambda_I N_I \quad (1)$$

$$dN_{Xe} / dt = \lambda_I N_I - N_{Xe} \sigma_{a,Xe} \phi - \lambda_{Xe} N_{Xe} + \gamma_{Xe} \Sigma_f \phi \quad (12)$$

Karena penampang pengabsorpsi I-135 sangat kecil ( $\sigma_{a,I} \sim 7$  barn), maka  $\sigma_{a,I} N_I \phi$  dalam persamaan 1 dapat diabaikan. Untuk xenon, penyelesaian persamaan diferensial ini dengan mempergunakan syarat awal  $t = 0, N_{Xe}(0) = N_I(0) = 0$ , dan dengan syarat bahwa fluks neutron  $\phi$  stasioner, diperoleh persamaan (13).

$$N_{Xe}(t) = \frac{(\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f \Phi}{\lambda_{Xe}} \left[ 1 + \frac{1}{\gamma_I + \gamma_{Xe}} \right.$$

$$\left. \left( \frac{N_I \lambda_I}{\lambda'_{Xe} - \lambda_I} - \gamma_{Xe} \right) \cdot \exp(-\lambda'_{Xe} \cdot t) - \frac{\gamma_I}{\gamma_I + \gamma_{Xe}} \right.$$

$$\left. \left( \frac{\lambda'_{Xe}}{\lambda'_{Xe} - \lambda_I} \right) \exp(-\lambda_I \cdot t) \right] \quad (13)$$

$$\text{dengan : } \lambda'_{Xe} = \lambda_{Xe} + \sigma_{a,Xe} \phi \quad (14)$$

Untuk  $T \rightarrow \infty$  maka konsentrasi keseimbangan untuk  ${}^{54}\text{Xe-135}$ , diperoleh persamaan (15).

$$N_{Xe}(\infty) = \frac{\gamma_I + \gamma_{Xe}}{\lambda_{Xe}} \Sigma_f \Phi \quad (15)$$

Hal ini tergantung pada fluks neutron dan setelah  $\pm 30$  jam tercapai. Untuk I-135 dapat dihitung dengan persamaan (16).



$$N_I(t) = \frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi}{\lambda_I} [1 - \exp(-\lambda_I t)] \quad (16)$$

dan konsentrasi keseimbangan untuk  $t \rightarrow \infty$ , diperoleh persamaan (17).

$$N_I \infty = \frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi}{\lambda_I} \quad (17)$$

Penampang pengabsorpsi termal Xe-135,  $\sigma_{a,Xe} = 2,7 \cdot 10^6$  b mempunyai pengaruh yang cukup berarti terhadap reaktivitas. Dalam reaktor cepat, peracunan xenon hanya memegang peranan yang kecil.

*Pembentukan xenon setelah reaktor shutdown.*

Dengan mengandaikan bahwa reaktor sebelumnya cukup lama beroperasi dengan fluks  $\phi$  neutron konstan, sehingga dapat dianggap bahwa konsentrasi xenon =  $Xe(\infty)$  dan konsentrasi Iodine =  $I(\infty)$ , dan fluks neutron tiba-tiba diturunkan menjadi 0 ( $\phi = 0$ ) dan konsentrasi I-135 dan Xe-135 kemudian dapat ditentukan. Karena I-135 dan Xe-135 tidak lagi dibentuk dan penangkapan Xe-135 tidak terjadi maka persamaan diferensial yang dipergunakan adalah persamaan (18) dan (19).

$$dN_I^* / dt = -\lambda_I N_I^* \quad (18)$$

$$dN_{Xe}^* / dt = \lambda_I N_I^* - \lambda_{Xe} N_{Xe}^* \quad (19)$$

$N_I^*(t)$  dan  $N_{Xe}^*(0)$  adalah konsentrasi  $I^{135}$  dan Xe-135 setelah reaktor shutdown, dengan syarat awal :  $t^* = 0; N_I^*(0); N_{Xe}^*(0) = N_{Xe}(\infty)$ . Sebagai penyelesaian dapat dipergunakan persamaan:

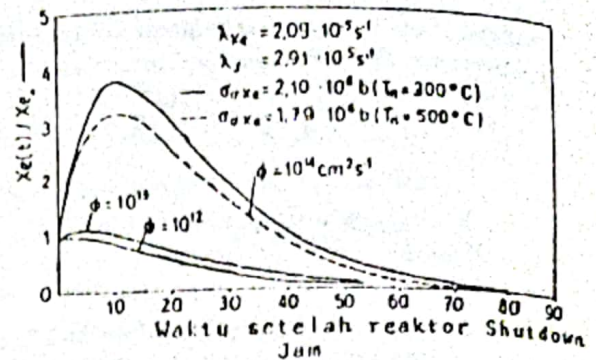
$$N_I^*(t) = N_I \infty \exp(-\lambda_I \cdot t) =$$

$$\frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi}{\lambda_I} \exp(-\lambda_I \cdot t) \quad (20)$$

$$N_{Xe}^*(t) = \exp(-\lambda_{Xe} \cdot t) \left[ \frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi}{\lambda_{Xe} - \lambda_I} \exp[(\lambda_{Xe} - \lambda_I) \cdot t] - 1 \right] + \frac{(\gamma_I + \gamma_{Xe}) \Sigma_f \Phi}{\lambda_{Xe} + \sigma_{a,Xe} \Phi} \quad (21)$$

Jalannya perubahan  $N_{Xe}^*(t)/N_{Xe}(\infty)$  dapat dilihat pada Gambar 2.

Karena  $I^{135}$  lebih cepat meluruh dari pada Xe-135, maka  $N_{Xe}^*$  maksimum dicapai setelah 10 sampai dengan 12 jam. Selain itu  $N_{Xe}^*(t)$  tidak



Gambar 2. Pembentukan Xe-135 setelah reaktor shutdown.

tergantung pada fluks neutron stasioner sebelum reaktor shutdown. Jalannya perubahan konsentrasi Xe-135 setelah reaktor shutdown mempunyai arti yang sangat besar. Bila pada suatu waktu tertentu reaktor akan dijalankan kembali, maka harus tersedia reaktivitas yang berlebihan untuk mengatasi jumlah xenon yang ada. Untuk reaktor cepat, pengaruh tersebut praktis dapat diabaikan.

**METODE PENELITIAN**

Pada percobaan ini dilakukan perhitungan dengan mempergunakan program TUTSIM.

*Bahasa Simulasi*

Pengaruh waktu terhadap sistem (secara fisika ataupun teknik) dapat dituliskan dengan persamaan diferensial linier dan/atau tidak linier serta persamaan aljabar. Pada akhir tahun '50an, persamaan-persamaan tersebut di atas secara sederhana dikerjakan dengan mempergunakan komputer analog. Karena penggunaan komputer digital lebih akurat dan ekonomis, maka pemakaian komputer analog digeser oleh komputer digital.

Persamaan diferensial dan aljabar, yang menunjukkan pengaruh waktu terhadap sistem secara teknik ataupun fisika, dapat dikombinasikan dengan mempergunakan diagram blok. Diagram blok tersebut juga dapat dipergunakan pada komputer analog, dikonversikan ke dalam Block Language seperti halnya ISL, TUTSIM dan AGO. Komputer analog, secara definitif, menyelesaikan permasalahan dengan mensubstitusikan blok analog yang merupakan rangkaian listrik ke dalam fungsi yang sebenarnya. Jadi blok diagram sistim dengan blok diagram rangkaian listrik yang dipergunakan pada komputer analog sangat mirip. Block Language merupakan bahasa yang sederhana seperti halnya komputer analog tetapi mempunyai kecepatan berhitung dan keakuratan seperti komputer



digital. Bahasa komputer tingkat tinggi ini seperti misalnya ISL, TUTSIM, dan AGO telah dikembangkan untuk dipergunakan pada mikro komputer atau personal komputer. Ini merupakan penyebab mengapa tidak mungkin untuk mensimulasikan suatu sistem teknik yang besar, misalnya : PLTN yang lengkap dengan semua katup-katupnya, pompa dan sebagainya simulasi TUTSIM dan AGO dapat mempunyai lebih dari 1000 blok, dan dapat dipergunakan untuk menghitung 100 persamaan diferensial ataupun aljabar. TUTSIM - Twente University of Technology Simulation Program - Bahasa simulasi TUTSIM yang dipergunakan untuk IBM-Compatible PCs telah dimodifikasi terutama untuk penggunaan analog/digital dan digital/analog konverter dengan *input/output* bilangan biner. Dengan mempergunakan TUTSIM adalah memungkinkan untuk mensimulasikan dan mengontrol sistem teknik secara *on-line* dengan waktu riil, tetapi *step* waktu yang dipergunakan tidak terlalu cepat.

#### Dasar pemrograman

Blok-blok dari diagram blok-atau blok TUTSIM - mewakili operasi matematik. Blok dapat dituliskan dari tiap-tiap suku persamaan, atau kadang-kadang langsung dipergunakan pada sistem.

Masalah  $\longrightarrow$  Model fisika  $\longrightarrow$  Diagram blok  $\longrightarrow$  Hasil.

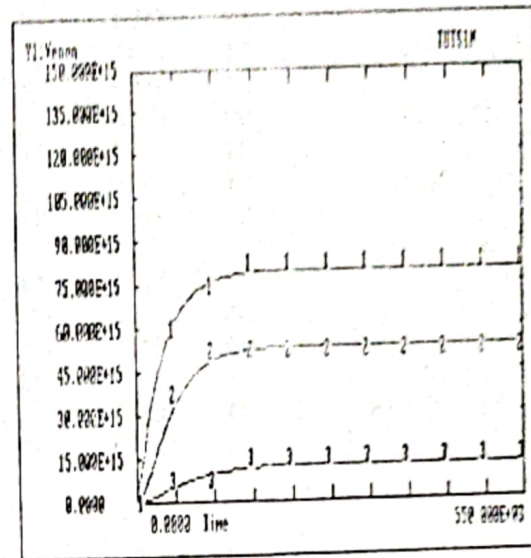
Cara yang paling mudah adalah dengan mempergunakan bahasa yang menyediakan sejumlah besar elemen operasional seperti yang dapat ditemukan pada komputer analog. Yang termasuk dalam elemen-elemen ini adalah penambahan atau fungsi *sum*, potensiometer atau *gain*, dan masih banyak lagi lainnya. Bahasa di atas membentuk program yang merupakan interkoneksi dari elemen-elemen untuk memecahkan persamaan-persamaan dan merupakan bahasa interaksi. Kompilernya terdapat di dalam memori pada setiap saat. Selama simulasi berjalan (di *run*) hasilnya terus menerus ditampilkan di layar.

#### Diagram Blok dan Program

Persamaan no 2 dan 3 disusun dalam bentuk diagram blok (Gambar 3) seperti dapat dilihat pada halaman berikut :

Diagram blok seperti di atas, juga dipergunakan bila kita memprogram dengan komputer analog. Selanjutnya diagram blok (Gambar 3) tersebut harus diubah menjadi suatu program, yang mudahnya kita sebut saja dalam bahasa TUTSIM, dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4,5 dan 6.

Block No,	Plot-MINimum,	Plot-MAXimum,	Comment
Horz : 0,	0.0000,	550.000E+03,	Time
Y1: 40,	0.0000,	150.000E+15,	Xenon
Y2: 40,	0.0000,	150.000E+15,	Xenon
Y3: 40,	0.0000,		Xenon
Y4: 40,			



Gambar 4. Pembentukan xenon pada fluks  $10^{12}$ ,  $10^{13}$ ,  $10^{14}$

Keterangan : Grafik 1 : xenon pada fluks  $10^{14}$ ,  
Grafik 2 : xenon pada fluks  $10^{13}$ ,  
Grafik 3: xenon pada fluks  $10^{12}$

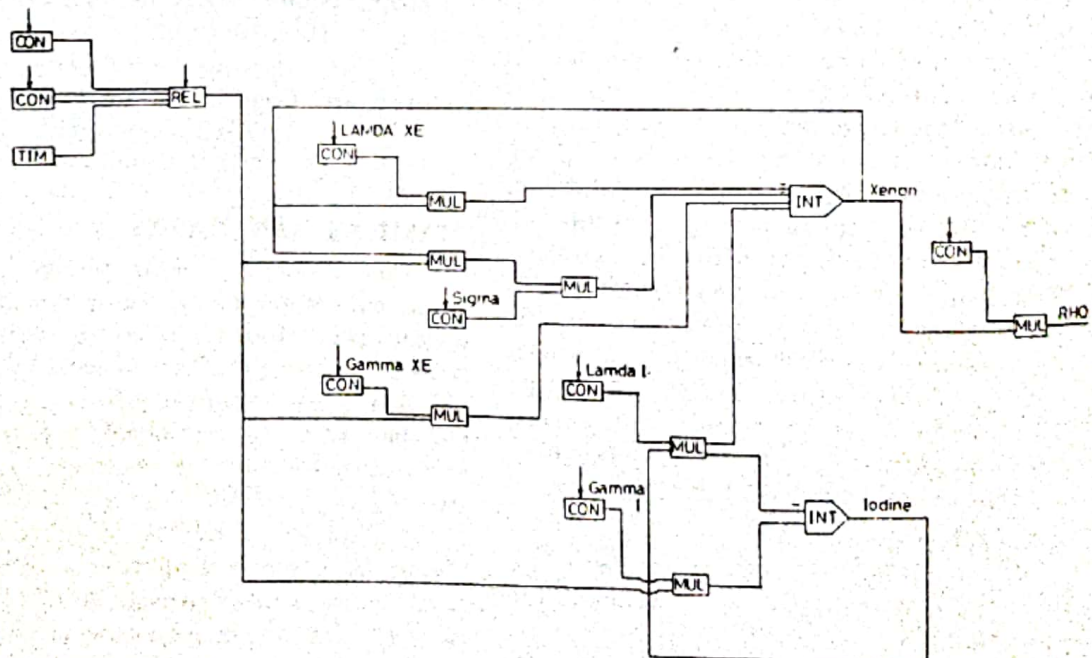
#### HASIL & PEMBAHASAN

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa selama reaktor beroperasi akan dibentuk xenon melalui peluruhan I-135 sampai pada konsentrasi keseimbangan. Banyaknya xenon yang dihasilkan juga tergantung pada rapat neutron. Gambar 4 ini menggambarkan pembentukan xenon pada fluks neutron yang berbeda-beda, yaitu  $10^{12}$ ,  $10^{13}$  dan  $10^{14}$ .

Bila reaktor dikurangi dayanya atau *shut-down*, maka xenon yang diabsorpsi berkurang, sedangkan pembentukan Xe-135 dari I-135 yang masih tersedia akan terus berjalan sampai beberapa jam sehingga keseluruhan I-135 meluruh. Akibatnya konsentrasi xenon terus naik sampai 5 - 12 jam sehingga titik maksimum dicapai dan kemudian kembali menurun. Gambar 5 menggambarkan pembentukan xenon



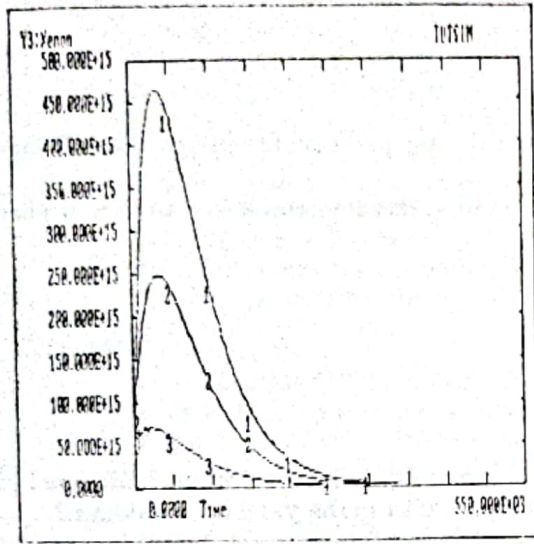
Model							
0.0000	11	CON					
7.200E+12	12	CON					
	13	TIM					
250.000E+03	14	REL	11	12	12		; Fluks neutron
			13				
							; Lambda Xenon
20.910E-06	21	CON					
	22	MUL	21	40			
	23	MUL	14	40			
							; Sigma
3.586E-18	24	CON					
	25	MUL	23	24			
							; Gamma Xe
0.0157000	26	CON					
	27	MUL	14	26			
							; Lambda Iodine
28.800E-06	31	CON					
	32	MUL	31	35			
							; Gamma Iodine
0.2880000	33	CON					
	34	MUL	14	33			
							; Iodine
0.0000	35	INT	-32	34			
0.0000	40	INT	-22	-25	27		; Xenon
			32				
-88.336E-18	41	CON					
	42	MUL	40	41			; Rho Xenon



Gambar 3. Diagram blok pengaruh xenon terhadap reaktivitas.

Block No,	Plot-MINI- mum,	Plot-Maxi- mum;	Comment
Horz: 0	0.0000,	550.000E+03;	Time
Y1: 40	0.0000,	500.000E+15;	Xenon
Y2: 40	0.0000,	500.000E+15;	Xenon
Y3: 40	0.0000,	500.000E+15;	Xenon
Y4: 40	,	;	

Block No, ,	Plot-MINI- mum,	Plot-Maxi- mum;	Comment
Horz: 0	0.0000	550.000E+03;	Time
Y1: 40	-50.000E+12;	200.000E+12	Fluks netron
Y2: 40	-250.000E+15;	1.000E+18;	Iodine
Y3: 40	-125.000E+15;	500.000E+15;	Xenon
Y4: 40	-50.0000	200.0000;	Rho xenon



Gambar 5. Pembentukan xenon setelah reaktor shutdown pada fluks  $10^{13}$ ,  $5 \cdot 10^{13}$ ,  $10^{14}$

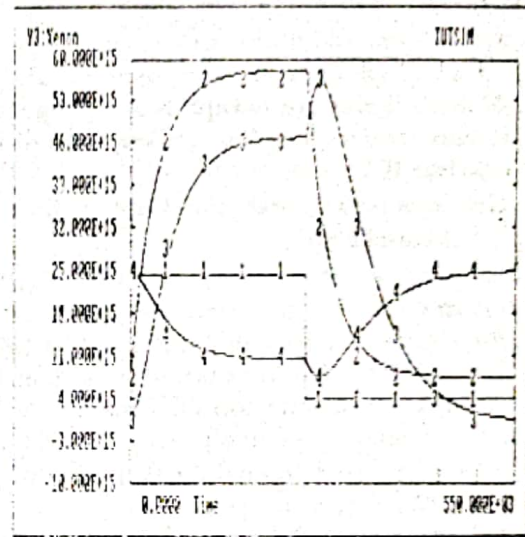
Keterangan :

- Grafik 1 : Xenon pada fluks  $10^{14}$ ,
- Grafik 2 : Xenon pada fluks  $5 \cdot 10^{13}$ ,
- Grafik 3 : Xenon pada fluks  $10^{13}$

setelah reaktor shutdown pada fluks netron  $10^{13}$ ,  $5 \cdot 10^{13}$ ,  $10^{14}$ .

Pada saat konsentrasi xenon sangat tinggi, reaktor sangat teracuni, sehingga tidak dapat mencapai kondisi kritis atau tidak dapat dipertahankan kekritisannya. Bila reaktivitas yang tersedia untuk melampaui keadaan maksimum tidak mencukupi, maka reaktor akan shut down dengan sendirinya.

Dari Gambar 6 dapat dilihat, bahwa untuk reaktor TRIGA MARK II, di mana diambil fluks netron =  $7,2E12$ , konsentrasi xenon akan mencapai keseimbangan setelah reaktor beroperasi selama > 69jam, dan konsentrasi xenon maksimum terbentuk setelah reaktor shutdown selama 5,555 jam.



Gambar 6. Pembentukan Xenon, Iodine, Rho xenon pada reaktor TRIGA MARK II sebelum dan sesudah shutdown

- Keterangan :
- Grafik 1 : Fluks netron,
  - Grafik 2 : Iodine,
  - Grafik 3 : Xenon,
  - Grafik 4 : Rho xenon

## KESIMPULAN

1. Pembentukan xenon selama reaktor beroperasi akan terjadi sampai dicapai konsentrasi keseimbangan (untuk reaktor TRIGA MARK II setelah beroperasi selama 69 jam).
2. Semakin besar fluks netron, maka semakin besar pula konsentrasi xenon yang dihasilkan.
3. Pada pengurangan daya reaktor dan pada saat reaktor shutdown, konsentrasi xenon akan terus naik sampai dicapai harga maksimum (pada reaktor TRIGA MARK II kon-



sentrasi xenon maximum dicapai setelah reaktor *shutdown* selama 5,555 jam).

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Albert Ziegler, Reaktortechnik, Springer-Verlag, Berlin (1984).
2. Dieter Smidt, Reaktortechnik, G.Braun, Karlsruhe (1976).
3. Schultz, M.A., Control of Nuclear Reactors and Power Plants, Mc. Graw-Hill Book Company Inc., New York (1961).

#### DISKUSI

##### Widarto :

1. Sesuai dengan judulnya Pengaruh Xe terhadap reaktivitas pada reaktor Triga Mark II mohon dijelaskan pengaruhnya terhadap reaktivitas
2. Mohon dijelaskan berapa besar pengaruhnya terhadap daya/netron selama operasi normal sesuai dengan yang biasa dikerjakan di PPTN

##### Sudjatmi KA :

1. Hasilnya bisa dilihat pada Gambar 6
2. Lihat Gambar 6.

##### Efrison :

1. *Input* program yang dimasukkan apa saja?
2. Bila efisiensi dimasukkan sebagai konstanta harganya diperoleh dari mana? Efisiensi juga merupakan fungsi waktu karena adanya deplesi, jadi harga mana yang dimasukkan ?
3. Dengan memasukkan  $\phi$  TRIGA MARK II akan diperoleh reaktivitas xenon, harga ini apa sudah dibandingkan dengan data eksperimen?

##### Sudjatmi KA :

1. Sebagai *input* : fluks netron,  $\lambda$  xenon,  $\sigma$ ,  $\gamma$  xenon,  $\lambda$  Iodine,  $\gamma$  Iodide.
2. Dihitung dan dianggap konstan
3. Belum

##### Uju Jujuratisbela:

1. Pada saat reaktor dimatikan tidak ada pembentukan xenon hasil fisi. Pertanyaan kenapa malah konsentrasi membesar mencapai maksimum
2. Bagaimana pengaruh Xe setelah *shutdown* terhadap pengoperasian reaktor.
3. Pada tahun 50-an analog komputer sudah digunakan. Apakah sudah digunakan untuk TRIGA MARK II atau untuk reaktor lain di luar negeri?

##### Sudjatmi KA:

1. Pada saat reaktor dimatikan xenon hanya dihasilkan dari proses peluruhan Te-I-Xe.
2. Pada pengoperasian setelah *shutdown* perlu diperhatikan berapa besar reaktivitas yang harus ditambahkan agar dapat mengkompensasi reaktifitas dari xenon
3. Sudah.