

---

---

## ANALISIS REAKTIVITAS RACUN Xe DAN Sm TERAS SILISIDA KERAPATAN 4,8gU/cc RSG-GAS PADA DAYA 15 & 30 MW

**Jati Susilo, Lily Suparlina, Surian Pinem**  
**Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset - BATAN**

### ABSTRAK

**ANALISIS REAKTIVITAS RACUN Xe DAN Sm TERAS SILISIDA KERAPATAN 4,8 gU/CC RSG-GAS PADA DAYA 15 & 30 MW.** Saat ini RSG-GAS menggunakan uranium silisida kerapatan 2,96 gU/cc sebagai bahan bakar, dan beroperasi pada daya 15 MW yaitu setengah dari daya nominal-nya (30MW). Rencana penggantian bahan bakar silisida dengan kerapatan tinggi masih dalam tahap penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar tersebut dapat memperpanjang siklus operasi reaktor. Salah satu parameter neutronik teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan tinggi yang perlu diketahui adalah reaktivitas negatif yang ditimbulkan oleh atom Xenon-135 (Xe) dan Samarium-149 (Sm). Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan reaktivitas Xe dan Sm teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc, 3,55 gU/cc dan 4,80 gU/cc pada daya 15 MW dan 30 MW menggunakan paket program XenSam. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa reaktivitas negatif setimbang yang ditimbulkan oleh atom Xe dan Sm untuk masing-masing teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc, 3,55 gU/cc dan 4,8 gU/cc tidak mengalami perbedaan yang signifikan yaitu sekitar 3% dan 0,527% atau total sama dengan 3,527%. Kenaikan kerapatan uranium bahan bakar silisida teras RSG\_GAS berpengaruh terhadap harga reaktivitas puncak Xe yang semakin kecil. Teras RSG-GAS berbahan bakar uranium silisida kerapatan 4,8 gU/cc yang dioperasikan pada daya 15 MW maupun 30 MW tidak memiliki waktu mati reaktor (*dead time of reactor*). Sehingga kelebihan dari teras tersebut adalah dapat segera dioperasikannya kembali reaktor setelah *shut-down* tanpa harus menunggu peluruhan Xe.

**Kata kunci ; reaktivitas, Xenon-135, Samarium-149, XenSam**

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF Xe AND Sm POISONING REACTIVITY OF SILICIDE 4.8 gU/CC DENSITY RSG-GAS CORE AT 15 & 30 MW POWER LEVEL.** At present, RSG-GAS using silicide fuel with 2,96 gU/cc density and operating at the 15 MW power level that is half of nominal power level (30MW). The study on changing RSG-GAS fuel with higher density of uranium silicide is underway. Using those fuel can make longer cycle operation of reactor. One important neutronic parameter of RSG-GAS fuelled uranium silicide high density is negative reactivity due to the Xenon-135 (Xe) and Samarium-149 (Sm) poison. In this research, the calculation was performed for Xe and Sm reactivity of RSG-GAS fuelled silicide 2.96 gU/cc, 3.55 gU/cc and 4.80 gU/cc at the power level 15 MW and 30 MW using XenSam computer code. The calculation results showed that equilibrium negative reactivity caused by Xe and Sm for RSG-GAS fuelled silicide 2.96 gU/cc, 3.55 gU/cc and 4.80 gU/cc density have not significant different that are about 3% and 0.527% or totally equal to 3.527%. Increasing in the uranium density of silicide fuel is very influence to peak of Xe reactivity. RSG-GAS core fuelled by uranium silicide 4.80 gU/cc density that operated at the 15 MW and 30 MW power level have not dead time of reactor. Therefore, the advantage of silicide 4.8gU/cc density core would be the capability to be operated again after reactor shut down without waiting the decay of Xe.

**Key words ; reactivity, xenon-135, Samarium-149, XenSam**

---

## PENDAHULUAN

Saat ini, RSG-GAS menggunakan bahan bakar jenis uranium silisida ( $U_3Si_2-Al$ ) dengan kerapatan 2,96 gU/cc dan dioperasikan pada daya 15MW yaitu setengah dari daya nominal-nya (30MW). Sedangkan rencana penggantian bahan bakar dari silisida kerapatan 2,96 gU/cc menjadi silisida dengan kerapatan yang lebih tinggi masih dalam tahap penelitian. Beberapa perubahan parameter neutronik yang sudah diketahui antara lain panjang siklus operasi, reaktivitas lebih teras, reaktivitas batang kendali, fluks neutron termal di posisi iradiasi dll. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar uranium silisida dengan kerapatan yang lebih tinggi dapat memperpanjang siklus operasi reactor <sup>[1,2,3]</sup>.

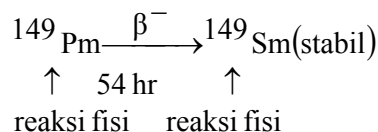
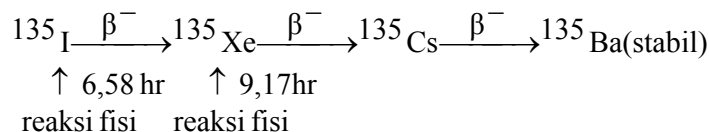
Dalam pengoperasian teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan tinggi, salah satu parameter neutronik lainnya yang perlu diketahui adalah reaktivitas negatif yang diakibatkan oleh adanya atom Xenon-135 (Xe) dan Samarium-149 (Sm). Atom Xe dan Sm merupakan inti atom hasil fisi yang mempunyai tampang lintang serapan terhadap neutron termal sangat besar ( $2,65 \times 10^6$  barns dan  $5,85 \times 10^4$  barns) bila dibanding tampang lintang fisi Uranium-235 (584,4 barns). Besarnya tampang lintang serapan atom Xe dan Sm tersebut mengakibatkan dampak negatif terhadap reaktivitas lebih teras. Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan perhitungan reaktivitas Xe setimbang, puncak Xe dan peluruhan Xe teras ke-45 yaitu teras RSG-GAS yang berbahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc pada daya 18 MW. Dari hasil perhitungan dengan paket program XenSam <sup>[4]</sup> tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan hasil eksperimen <sup>[5]</sup>. Sedangkan di dalam SAR hanya disebutkan reaktivitas Xe saja yaitu saat setimbang pada daya nominal sebesar 3,5%.

Perubahan kerapatan bahan bakar silisida teras RSG-GAS diperkirakan juga akan berpengaruh terhadap reaktivitas negatif atom Xe dan Sm. Untuk itu dalam penelitian ini dilakukan perhitungan reaktivitas Xe dan Sm teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 2,96 gU/cc, 3,55 gU/cc, 4,80 gU/cc pada daya nominal 30 MW dan 15 MW dengan menggunakan paket program XenSam. Parameter yang dianalisis meliputi reaktivitas Xe pada kondisi setimbang, setelah reaktor *shut down* dan saat peluruhan Xe serta reaktivitas Sm serta waktu mati reaktor. Dari analisa hasil perhitungan diharapkan dapat diketahui karakteristik reaktivitas Xe dan Sm teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan tinggi.

## TEORI DAN METODOLOGI

### Reaktivitas Racun Xe & Sm <sup>[6,7,8]</sup>

Proses pembentukan atom Xe dan Sm dapat ditunjukkan dalam reaksi berantai dibawah ini.



Sedangkan besarnya konsentrasi atom Xe dan atom Sm pada saat t detik dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut;

$$\begin{aligned}
 \text{Xe}(t) = & \frac{(\gamma_I + \gamma_{\text{Xe}})\Sigma_f\Phi_0}{\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_a^{\text{Xe}}\Phi_0} \left[ 1 - \exp\left(-(\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_a^{\text{Xe}}\Phi_0) \cdot t\right) \right] \\
 & + \frac{\gamma_I\Sigma_f\Phi_0}{-\lambda_I + \lambda_{\text{Xe}} + \sigma_a^{\text{Xe}}\Phi_0} \left[ \exp\left(-(\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_a^{\text{Xe}}\Phi_0) \cdot t\right) - \exp(-\lambda_I \cdot t) \right] \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sm}(t) = & \frac{(\gamma_{\text{Pm}} + \gamma_{\text{Sm}})\Sigma_f\Phi_0}{\lambda_{\text{Sm}} + \sigma_a^{\text{Sm}}\Phi_0} \left[ 1 - \exp\left(-(\lambda_{\text{Sm}} + \sigma_a^{\text{Sm}}\Phi_0) \cdot t\right) \right] \\
 & + \frac{\gamma_{\text{Pm}}\Sigma_f\Phi_0}{-\lambda_I + \lambda_{\text{Sm}} + \sigma_a^{\text{Sm}}\Phi_0} \left[ \exp\left(-(\lambda_{\text{Sm}} + \sigma_a^{\text{Sm}}\Phi_0) \cdot t\right) - \exp(-\lambda_{\text{Pm}} \cdot t) \right] \dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

Untuk konsentrasi Xe dan Sm kondisi setimbang dengan waktu  $t=\infty$ , maka diperoleh persamaan berikut ini;

$$\text{Xe}_\infty = \frac{(\gamma_I + \gamma_{\text{Xe}})\Sigma_f\Phi_0}{\lambda_{\text{Xe}} + \sigma_a^{\text{Xe}}\Phi_0} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Sm}_\infty = \frac{\gamma_{\text{Pm}}\Sigma_f}{\sigma_a^{\text{Sm}}} \dots\dots\dots(4)$$

Besarnya konsentrasi atom Xe dan atom Sm setelah reaktor padam adalah

$$\text{Xe}(t) = \text{Xe}_\infty \exp(-\lambda_{\text{Xe}} \cdot t) + \frac{\lambda_I I_\infty}{\lambda_I - \lambda_{\text{Xe}}} \left[ \exp(-\lambda_{\text{Xe}} \cdot t) + \exp(-\lambda_I \cdot t) \right] \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Sm}(t) = \text{Sm}_\infty + \text{Pm}_\infty \left[ 1 - \exp(-\lambda_{\text{Pm}} \cdot t) \right] \dots\dots\dots(6)$$

Perubahan harga reaktivitas karena adanya atom Xe atau Sm dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut

$$\Delta\rho = \rho_{Xe} \cong -\frac{\Sigma_a^{Xe}}{\Sigma_a} = -\frac{\sigma_a^{Xe}}{\Sigma_a} Xe(t) \dots\dots\dots(7)$$

$$\Delta\rho = \rho_{Sm} \cong -\frac{\Sigma_a^{Sm}}{\Sigma_a} = -\frac{\sigma_a^{Sm}}{\Sigma_a} Sm(t) \dots\dots\dots(8)$$

**Metode Perhitungan**

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan reaktivitas Xe dan Sm untuk teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc, 3,55 gU/cc dan 4,80 gU/cc pada daya 15MW dan 30MW. Perhitungan dilakukan dengan paket program XenSam. Paket program XenSam adalah suatu paket program komputer yang dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi Pm, I, Xe dan Sm, serta reaktivitas Xe dan Sm sebagai fungsi waktu. Paket program tersebut dibuat oleh R. Nabbi dari Jerman dengan menggunakan bahasa pemrograman fortran 77<sup>[4]</sup>.

Dalam perhitungan reaktivitas Xe dan Sm tersebut, sebagai inputan paket program XenSam yaitu berupa harga  $\gamma$ ,  $\Sigma_{fissi}$ ,  $\Sigma_{abs}$ ,  $\sigma_{abs}$  dan  $\phi$  untuk masing-masing bahan bakar silisida didapatkan dari keluaran hasil perhitungan teras setimbang RSG-GAS dengan menggunakan paket program SRAC-ASMBURN<sup>[9]</sup>. Harga masing-masing inputan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan harga  $\lambda$  merupakan konstanta peluruhan yang nilainya sama untuk semua teras, ditunjukkan pada Tabel 2. Kondisi perhitungan reaktivitas Xe dan Sm diasumsikan teras RSG-GAS beroperasi selama 48 jam dengan waktu padam selama 72 jam.

**Tabel 1. Data inputan untuk perhitungan reaktivitas Xe & Sm teras silisida RSG-GAS**

No	Parameter	unit	Kerapatan Teras Silisida RSG-GAS		
			2,96 gU/cc	3,55 gU/cc	4,80 gU/cc
1	$\Sigma_{abs}$	cm <sup>-1</sup>	1,0906E-2	1,1459E-2	1,1938E-2
2	$\Sigma_{fissi}$	cm <sup>-1</sup>	5,5669E-3	5,7987E-3	5,9569E-3
3	$\phi$	N/(cm <sup>2</sup> det)	4,7079E+13	4,2611E+13	3,5979E+13
4	$\gamma^{Xe}$	%	2,7663E-3	2,881E-3	3,0402E-3
5	$\gamma^I$	%	6,300E-2	6,303E-2	6,311E-2
6	$\gamma^{Sm}$	%	2,1145E-10	2,4420E-10	2,8990E-10
7	$\gamma^{Pm}$	%	1,0768E-2	1,0804E-2	1,0870E-2
8	$\sigma_a^{Xe}$	barn	3,770E+6	3,514E+6	3,127E+6
9	$\sigma_a^{Sm}$	barn	9,077E+4	8,715E+4	7,362E+4

**Tabel 2. Harga konstanta peluruhan  $\lambda$  <sup>[8]</sup>**

	$\lambda$	
	sec <sup>-1</sup>	hr <sup>-1</sup>
<sup>235</sup> I	2.87E-5	0,1035
<sup>135</sup> Xe	2,09E-5	0,0753
<sup>149</sup> Pm	3.63E-6	0,0131

## HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

### A. Reaktivitas Xe Teras RSG-GAS

Perbandingan hasil perhitungan perubahan reaktivitas Xe teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc, 3,55 gU/cc dan 4,80 gU/cc pada daya 15 MW dan 30 MW ditunjukkan dalam Gambar 1 dan 2. Sedangkan perbandingan harga reaktivitas Xe setimbang, puncak Xe, dan peluruhan Xe dapat dilihat pada Tabel 3.

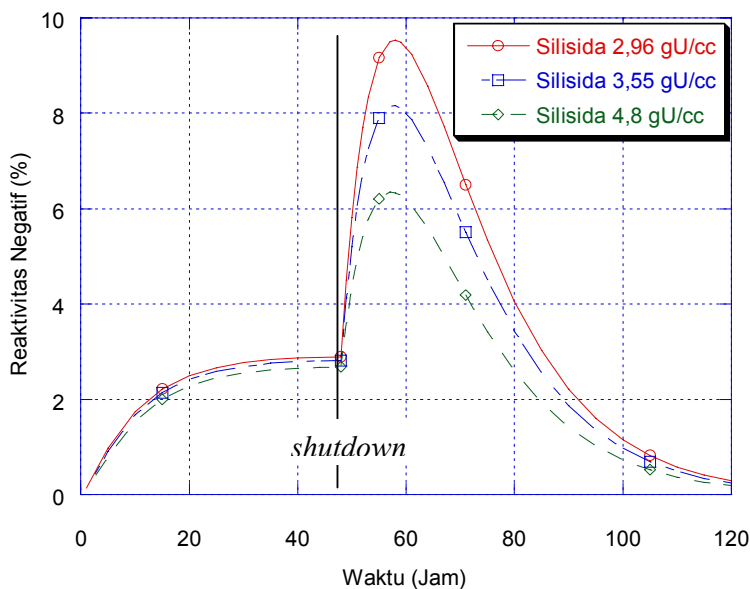
Dari Gambar 1 diketahui bahwa pada daya yang sama (15MW) kenaikan kerapatan bahan bakar silisida dari 2,96 gU/cc menjadi 3,55gU/cc dan 4,8gU/cc mengakibatkan reaktivitas Xe setimbang yang lebih kecil yaitu turun sekitar 0,075% dan 0,214%. Dari persamaan (7) di atas dapat diketahui bahwa besarnya reaktivitas Xe setimbang bergantung pada konsentrasi Xe dan tampang lintang mikroskopik serapan Xe ( $\sigma_{Xe}$ ), serta berbanding terbalik dengan besarnya tampang lintang makroskopik serapan bahan fisi ( $\Sigma_{abs}$ ). Karena kenaikan kerapatan bahan bakar silisida akan menaikkan harga  $\Sigma_{abs}$  dan berkurangnya  $\sigma_{Xe}$  disertai dengan semakin besarnya konsentrasi Xe (Tabel 1), maka dari ketiga faktor tersebut akan mengakibatkan reaktivitas Xe setimbang yang hampir sama (tidak mengalami perbedaan yang signifikan).

Perbedaan yang menyolok dan merupakan keuntungan, terjadi pada reaktivitas Xe setelah reaktor padam, terutama saat puncak Xe. Semakin besar kerapatan bahan bakar justru akan menyebabkan reaktivitas puncak Xe yang semakin kecil yaitu dari 9,533% menjadi 8,163% dan 6,345%. Hal tersebut selain disebabkan oleh naiknya harga  $\Sigma_{abs}$  dan berkurangnya  $\sigma_{Xe}$ , juga karena besarnya konsentrasi atom Xe yang lebih kecil. Selain itu besarnya puncak Xe dipengaruhi oleh besarnya atom I saat reaktor padam yang harganya semakin kecil dengan semakin besarnya kerapatan bahan bakar (Tabel 3). Sedangkan waktu untuk mencapai puncak Xe tersebut mengalami sedikit penurunan yaitu masing-masing sebesar 0,25 jam dan 0,71 jam. Setelah mencapai puncak-nya,

peluruhan atom Xe akan mencapai kondisi mendekati jenuh pada saat yang sama yaitu 72 jam setelah teras *shut-down* dengan harga reaktivitas-nya untuk masing-masing bahan bakar adalah sebesar 0,29%, 0,24% dan 0,18%.

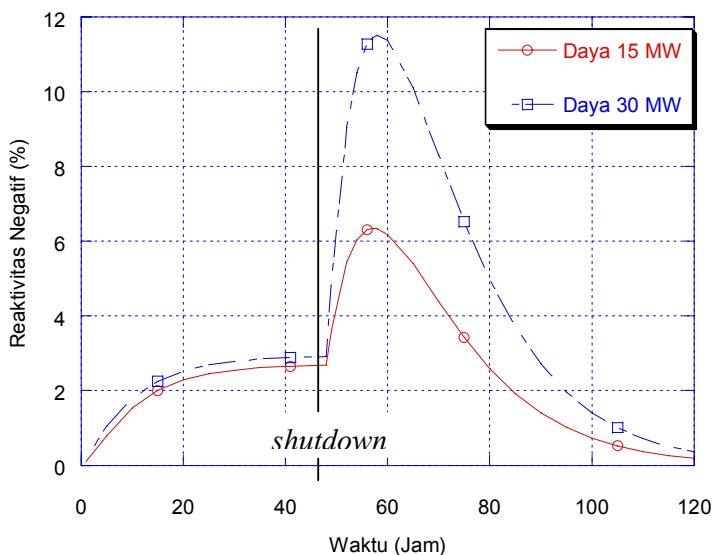
**Tabel 3. Konsentrasi dan reaktivitas Xe teras silisida RSG-GAS**

Parameter	unit	Daya 15 MW			Daya 30 MW		
		2,96	3,55	4,80	2,96	3,55	4,80
Kerapatan bahan bakar	gU/cc	2,96	3,55	4,80	2,96	3,55	4,80
Konsentrasi atom :							
Saat <i>shut-down</i> I ( $\times 10^{-10}$ )	atom /cm <sup>3</sup>	5,751	5,422	4,711	11,619	10,844	9,421
Xe ( $\times 10^{-10}$ )		0,862	0,946	1,053	0,893	1,008	1,144
Saat puncak Xe I ( $\times 10^{-10}$ )	atom /cm <sup>3</sup>	2,081	2,013	1,833	3,924	3,719	3,322
Xe ( $\times 10^{-10}$ )		2,837	2,738	2,492	5,338	5,062	4,521
Akhir peluruhan I ( $\times 10^{-10}$ )	atom /cm <sup>3</sup>	0,036	0,034	0,029	0,072	0,067	0,058
Xe ( $\times 10^{-10}$ )		0,856	0,813	0,717	0,169	0,159	0,139
Reaktivitas Negatif :							
Xe Setimbang (perubahan)	%	2,895	2,820	2,681	3,049	3,006	2,912
		-	(0,075)	(0,214)	-	(0,043)	(0,137)
Puncak Xe	%	9,533	8,1633	6,345	18,235	15,091	11,509
	(jam)	(9,91)	(9,66)	(9,20)	(10,58)	(10,43)	(10,16)
Peluruhan Xe	%	0,288	0,242	0,182	0,756	0,619	0,463



**Gambar 1. Perubahan reaktivitas Xe terhadap waktu teras silisida RSG-GAS pada daya 15 MW**

Gambar 2 menunjukkan perubahan reaktivitas Xe teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan 4,8 gU/cc akibat perbedaan daya operasi yaitu 15 MW dan 30 MW. Kenaikan daya operasi tersebut mengakibatkan kenaikan reaktivitas Xe setimbang sebesar 0,23%, puncak Xe 3,16% dan saat peluruhan Xe sebesar 0,28%. Dengan kata lain bahwa pada teras RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan kerapatan yang sama, besarnya reaktivitas Xe setimbang hanya akan bergantung pada besarnya konsentrasi Xe saja. Karena harga  $\Sigma_{abs}$  tetap maka adanya perbedaan daya operasi tidak menunjukkan perbedaan reaktivitas Xe setimbang yang signifikan. Sedangkan untuk reaktivitas puncak Xe selain dipengaruhi oleh konsentrasi Xe juga oleh atom I saat reaktor *shut-down* yang besarnya mencapai 2 kali lipat (Tabel 3). Karena fluks neutron termal-nya juga semakin besar, maka akan menyebabkan semakin besarnya reaktivitas puncak Xe dengan daya teras yang lebih tinggi. Sedangkan reaktivitas peluruhan Xe pada saat 72 jam setelah reaktor *shut-down* masing-masing adalah sebesar 0,182 % dan 0,463 %.

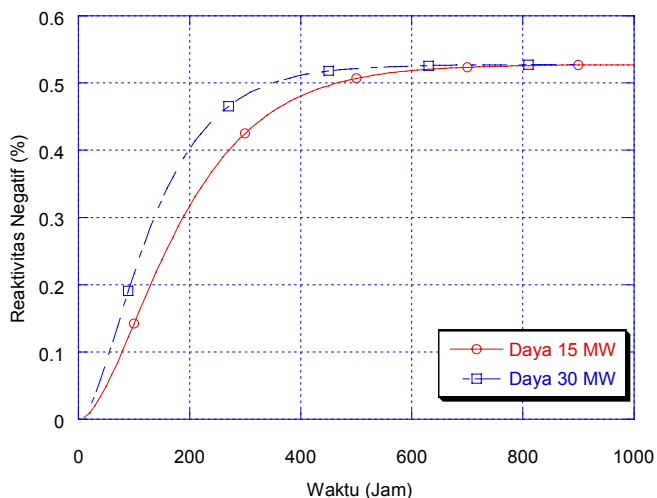


**Gambar 2. Perubahan reaktivitas Xe terhadap waktu teras silisida kerapatan 4,8 gU/cc RSG-GAS**

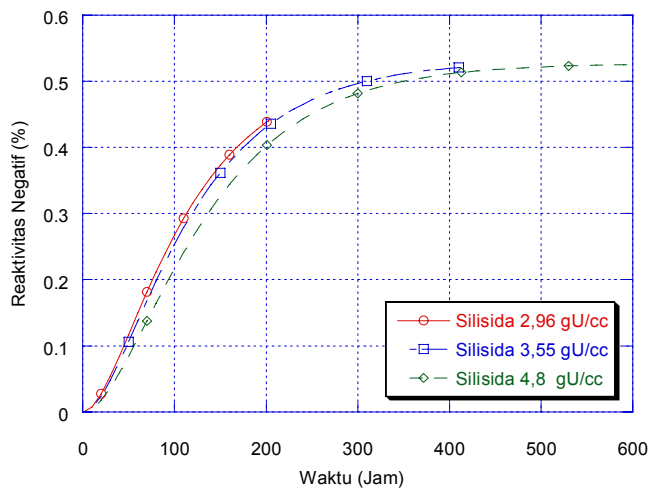
### B. Reaktivitas Sm Teras RSG-GAS

Gambar 3 menunjukkan perubahan reaktivitas Sm terhadap waktu untuk teras silisida kerapatan 4,8 gU/cc RSG-GAS pada daya 15 MW dan 30 MW. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa pada awal sampai kira-kira waktu operasi selama 400

jam, teras silisida kerapatan 4,8 gU/cc RSG-GAS yang beroperasi pada daya 30 MW mempunyai reaktivitas Sm sedikit lebih besar dibanding teras yang beroperasi pada daya 15 MW. Akan tetapi, reaktivitas Sm tersebut akan mencapai setimbang pada harga reaktivitas yang sama yaitu 0,527% pada saat operasi teras mencapai 750 jam. Atau dengan kata lain bahwa dampak reaktivitas negatif maksimum yang ditimbulkan oleh atom Sm sama untuk seluruh tingkat daya operasi yaitu sekitar 0,527%.



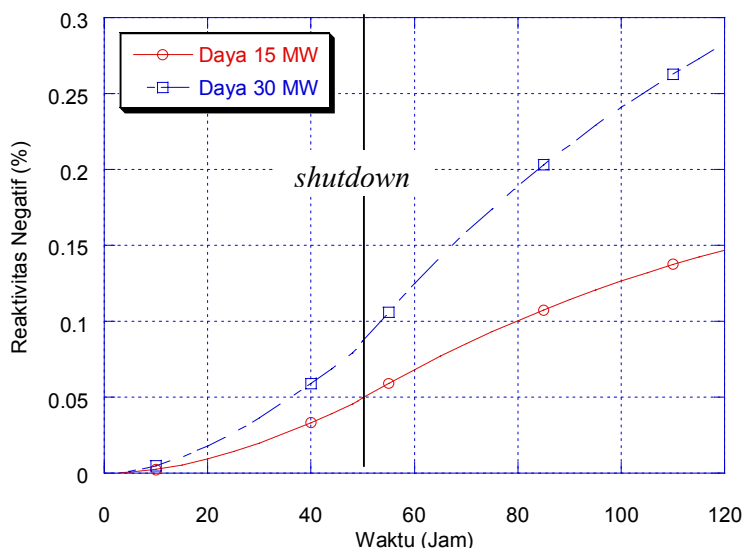
**Gambar 3. Perubahan reaktivitas Sm terhadap waktu teras silisida kerapatan 4,8 gU/cc RSG-GAS**



**Gambar 4. Perubahan reaktivitas Sm terhadap waktu teras silisida RSG-GAS pada daya 15 MW**



Gambar 4 menunjukkan perubahan reaktivitas Sm terhadap waktu untuk teras silisida RSG-GAS pada daya 15 MW. Gambar tersebut menunjukkan bahwa perubahan reaktivitas Sm mempunyai pola yang hampir sama untuk teras RSG-GAS meskipun ada perubahan kerapatan bahan bakar. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada awal operasi semakin tinggi kerapatan bahan bakar, maka reaktivitas Sm lebih kecil, tetapi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Atom Sm tersebut akan mencapai kondisi setimbang pada harga reaktivitas yang sama yaitu sekitar 0,527%. Dari Gambar 3 dan Gambar 4 tersebut dapat diketahui bahwa besarnya reaktivitas Sm setimbang yaitu sekitar 600 jam, tidak tergantung baik pada daya maupun kerapatan bahan bakar yaitu sebesar 0,527%. Hal tersebut karena Sm adalah merupakan atom yang sudah stabil.

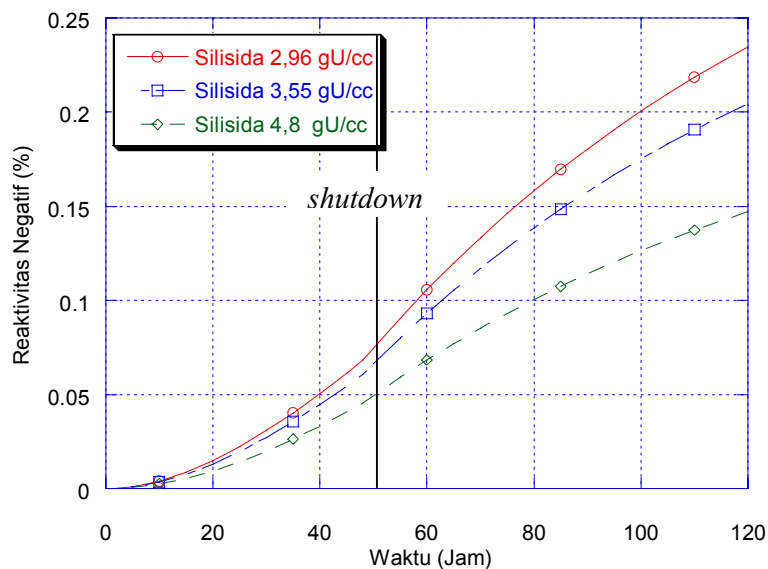


**Gambar 5. Reaktivitas Sm setelah *shutdown* teras silisida kerapatan 4,8 gU/cc RSG-GAS**

Gambar 5 menunjukkan perubahan reaktivitas Sm teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan 4,80 gU/cc pada daya 15 MW dan 30 MW. Perhitungan reaktivitas Sm tersebut dilakukan dengan kondisi teras beroperasi selama 48 jam dan waktu *shut-down* 72 jam. Selama 48 jam teras reaktor dioperasikan terlihat bahwa reaktivitas Sm belum mencapai kondisi setimbang. Besarnya daya operasi teras reaktor berpengaruh terhadap semakin besarnya reaktivitas Sm setelah reaktor *shut-down*, dimana atom Sm akan lebih cepat mencapai kondisi setimbang. Hal tersebut

dikarenakan atom Sm merupakan atom yang stabil. Sehingga setelah reaktor *shut-down* tidak akan terjadi peluruhan, melainkan reaktivitasnya akan semakin besar. Hasil analisis menunjukkan kenaikan harga reaktivitas Sm pada daya 30 MW lebih cepat dibanding teras dengan daya 15 MW.

Gambar 6 menunjukkan pengaruh perbedaan kerapatan bahan bakar terhadap perubahan reaktivitas Sm yang hampir sama. Besarnya reaktivitas Sm setelah *shut-down* menunjukkan akan semakin besar dengan semakin lamanya waktu operasi. Kenaikan kerapatan bahan bakar menunjukkan harga reaktivitas Sm yang lebih kecil.



Gambar 6. Reaktivitas Sm setelah *shut-down* teras silisida RSG-GAS 15 MW

### C. Reaktivitas Total Xe+Sm Teras RSG-GAS

Tabel 4 menunjukkan perbandingan harga total reaktivitas Sm dan Xe teras silisida RSG-GAS pada daya 15 MW dan 30 MW. Kenaikan kerapatan bahan bakar silisida dari 2,96 gU/cc menjadi 3,5 gU/cc dan 4,8 gU/cc menunjukkan harga reaktivitas total Xe dan Sm yang semakin kecil. Sedangkan kenaikan daya pada teras RSG-GAS baik berbahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc, 3,5 gU/cc maupun 4,8 gU/cc juga menunjukkan harga reaktivitas total Xe dan Sm yang semakin kecil.

**Tabel 4. Total reaktivitas Xe dan Sm teras silisida RSG-GAS**

	unit	Daya teras 15 MW			Dayas teras 30 MW		
Kerapatan bahan bakar	gU/cc	2,96	3,55	4,80	2,96	3,55	4,80
Saat Xe setimbang :	%	2,963	2,881	2,726	3,159	3,106	2,981
Saat puncak Xe	%	9,632	8,250	6,408	18,412	15,248	11,627
Saat peluruhan Xe	%	0,523	0,447	0,329	1,201	1,007	0,746
Waktu mati reaktor	jam	14,98	-	-	31,84	19,63	-

Reaktivitas puncak Xe (8,1633% dan 8,3453%) teras berbahan bakar silisida kerapatan 3,55 gU/cc dan 4,8 gU/cc pada daya 15 MW lebih kecil dari harga reaktivitas lebih teras (10,758% dan 12,226 %.)<sup>[2]</sup>. Sedangkan pada daya 30 MW hanya teras RSG-GAS berbahan bakar silisida kerapatan 4,8 gU/cc saja yang mempunyai reaktivitas puncak Xe (11,5094%) yang lebih kecil dari harga reaktivitas lebih teras. Pada kondisi tersebut maka teras reaktor dapat segera dioperasikan kembali setelah *shut-down* tanpa harus menunggu peluruhan atom Xe. Teras-teras yang mempunyai harga reaktivitas puncak Xe melebihi besarnya harga reaktivitas lebih teras adalah teras silisida kerapatan 2,96 gU/cc 15 MW, teras silisida kerapatan 3,55 gU/cc 30 MW dan teras silisida kerapatan 4,8 gU/cc 30 MW. Teras-teras tersebut jika terjadi padam saat beroperasi, maka tidak akan dapat dioperasikan kembali. Hal tersebut disebabkan karena harus menunggu atom Xe meluruh. Waktu untuk dapat dioperasikannya kembali teras reaktor disebut waktu mati reaktor yang masing-masing untuk teras tersebut adalah selama 18,63 jam, 32,54 jam dan 22,56 jam.

Di dalam SAR hanya disebutkan bahwa reaktivitas xenon teras RSG-GAS pada daya nominal adalah sebesar 3,5% tanpa disertai reaktivitas Sm<sup>[10]</sup>. Maka dalam hasil perhitungan dengan XenSam diatas, kemungkinan yang dimaksudkan reaktivitas xenon 3,5% tersebut adalah total harga reaktivitas Xe setimbang sebesar 3,049% dan reaktivitas maksimum Sm 0,527% atau sama dengan 3,576%.

Catatan : reaktor yang mengalami *shutdown* berbeda kondisi-nya dengan reaktor *scram*. Pada saat setelah reactor *scram*, teras reaktor dapat segera dioperasikan kembali sebelum besarnya reaktivitas xenon melebihi besarnya reaktivitas lebih teras reaktor (sekitar 3 jam)

---

## KESIMPULAN

Telah dilakukan perhitungan reaktivitas racun Xe dan Sm teras silisida RSG-GAS dengan paket program XenSam. Reaktivitas negatif setimbang yang ditimbulkan oleh Xe dan Sm teras silisida RSG-GAS adalah sekitar 3% dan 0,527% atau total 3,527%. Reaktivitas tersebut tidak mengalami perubahan yang signifikan pada teras RSG-GAS baik yang berbahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc, 3,55 gU/cc maupun 4,8 gU/cc. Kenaikan kerapatan bahan bakar silisida teras RSG-GAS memberikan pengaruh terhadap semakin kecilnya harga reaktivitas puncak Xe. Teras RSG-GAS berbahan bakar uranium silisida kerapatan 4,8 gU/cc yang dioperasikan pada daya 15 MW maupun 30 MW tidak memiliki waktu mati reaktor (*dead time of reactor*). Sehingga kelebihan dari teras tersebut adalah dapat segera dioperasikannya kembali reaktor setelah *shut-down* tanpa harus menunggu peluruhan Xe.

## DAFTAR PUSTAKA

1. LIEM PENG HONG, BAKRI ARBIE, T. M. SEMBIRING, "Fuel Management Strategy for The New Equilibrium Siliside Core Design of RSG GAS " , 1<sup>st</sup> International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management, Belgium February 5-7, 1997
2. JATI S. dkk, "Kajian Neutronik Teras Kompak RSG-GAS Tanpa CIP Silisida 3,55gU/cc & 4,8 gU/cc", Prosiding Seminar Hasil Penelitian P2TRR Tahun 2003, P2TRR-BATAN, Pebruari 2003, ISSN : 0854-5278.
3. LILY S. dkk., "Manajemen Teras RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida 4,5 dan 4,8 gU/cc", Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, volume IV, Edisi khusus 4, Agustus 2003
4. R.NABBI, "Experimental Reactor Physics for the Indonesian Research Reactor MPR-30", IAEA, 1989
5. Jati S. dkk., "Perhitungan Reaktivitas Racun Xenon-135 Teras RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida", Buletin Reaktor Nuklir TRI DASA MEGA, Volume 3, Nomor 2, Juni 2001, ISSN 1411-240X.
6. J. J. DUDERSTADT, L. J. HAMILTON (FUJITA, NARITA translation), "Genshiro no Riron to Kaiseki " , Gendai Kougakusha, 1976 (in Japanese)

- 
7. F.UKUTARO ISHIMORI et.all., Nihon Genshiryoku Kenkyūjyo, “Genshiro Kougaku Kouza 3 = Genshiro Butsuri”, Baifūkan, 1973 nen 7 gatsu 25 nichī (in Japanese)
  8. JOHN R.LAMARSH, “Introduction to NUCLEAR ENGINEERING 2nd Edition)”, ADDISON-WESLEY, 1983
  9. JAERI-Data/Code96-015, “SRAC95; Banyoukakukeisan Kodo Shisutemu”, Nihon Genshiryoku Kenkyujyo, 1996 nen 3 gatsu, (in Japanese)
  10. ANONIM, ”Multipurpose Research Reactor G.A. SIWABESSY – SAFETY ANALYSIS REPORT VI.1 Copy No.2”, BATAN, September 1989

---

**Lampiran 1.**

**Inputan paket program XenSam untuk menghitung reaktivitas Xe dan Sm teras  
RSG-GAS silisida 4,80 gU/cc pada daya 15 MW**

GAM2	SM	XENON
-----		
	2.90D-10	3.04D-03
XLAM2	SM	XENON
-----		
	1.0D-20	2.094D-05
GAM1	PM	JOD
-----		
	0.01087	0.0631
XLAM1	PM	JOD
-----		
	3.0D-6	2.85D-05
SIGA0	SM	XE
-----		
	7.3616D+4	3.1265D+6
FRO	SM	XE
-----		
	6.1665D+8	2.619D+10
P	FPHI	SFMAC
-----	-----	-----
15.0	0.23986D+13	0.0059569
waktu operasi(h)	waktu padam (h)	langkah waktu (s)
-----		
48	72.0	3600

---

## Lampiran 2

### Keterangan simbol

$\gamma_I$	= prosen jumlah atom I yang dihasilkan per fisi
$\gamma_{Xe}$	= prosen jumlah atom Xe yang dihasilkan per fisi
$\gamma_{Pm}$	= prosen jumlah atom Pm yang dihasilkan per fisi
$\gamma_{Sm}$	= prosen jumlah atom Sm yang dihasilkan per fisi
$\lambda_I$	= konstanta peluruhan atom I
$\lambda_{Xe}$	= konstanta peluruhan atom Xe
$\lambda_{Pm}$	= konstanta peluruhan atom Pm
$\lambda_{Sm}$	= konstanta peluruhan atom Sm
$\sigma_a^{Xe}$	= tampang lintang mikroskopis serapan atom Xe
$\sigma_a^{Sm}$	= tampang lintang mikroskopis serapan atom Sm
$\Sigma_{abs}$	= tampang lintang makroskopis serapan bahan fissi
$\phi$	= fluks neutron termal
$\Sigma_{fisi}$	= Tampang lintang makroskopis fissi
I	= konsentrasi atom Iodine-135
Xe	= konsentrasi atom Xenon-135
Sm	= konsentrasi atom Samarium-149
Pm	= konsentrasi atom Prometium-149
GAM	= Harga $\gamma$ (prosen jumlah atom yang dihasilkan per fisi)
XLAM	= Harga $\lambda$ (konstanta peluruhan)
SIGA0	= Tampang lintang mikroskopis serapan atom
FRO	= Faktor $\rho$ yaitu persen pembagian antara tampang lintang mikroskopis atom dengan tampang lintang makroskopis serapan bahan fisi
P	= Daya reaktor (MW)
FPHI	= Faktor $\phi$ yaitu fluks termal dibagi dengan daya reaktor
SFMAC	= Tampang lintang makroskopis fisi