

ANALISIS NEUTRONIK DUMMY ALUMINIUM DI TERAS REAKTOR RSG-GAS

Sutrisno, Purwadi

Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN, kawasan Puspiptek Gdg 31, Serpong, Tangerang Selatan
e-mail: soe-tris@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS NEUTRONIK DUMMY ALUMINIUM DI TERAS REAKTOR RSG-GAS. Reaktor RSG-GAS adalah reaktor riset yang digunakan untuk keperluan penelitian material bahan bakar, jasa iradiasi target untuk produksi isotop dan pemanfaatan fasilitas iradiasi Beam-Tube. Untuk meningkatkan optimasi operasi reaktor RSG-GAS diperlukan jadwal operasi yang berkelanjutan hingga akhir siklus. Pada akhir siklus Teras 86 pernah terjadi energi yang terbangkitkan tidak memenuhi target energi yang direncanakan (625 MWD) sehingga menggunakan dummy aluminium untuk kompensasi batang kendali agar jadwal operasi terpenuhi. Permasalahannya adalah bagaimana pengaruh penggunaan dummy aluminium terkait dengan keselamatan operasi reaktor. Makalah ini ditulis untuk menjelaskan analisis neutronik pengaruh iradiasi target dummy aluminium di teras reaktor RSG-GAS. Lingkup makalah ini meliputi perhitungan analisis neutronik pengaruh iradiasi target dummy aluminium dengan variasi massa untuk setiap posisi Irradiation Position (IP) dan hasilnya dibandingkan dengan hasil eksperimen. Penentuan target dummy aluminium dilakukan dengan menganalisis perubahan reaktivitas dan faktor puncak daya. Perhitungan konstanta kelompok difusi dari pemodelan menggunakan program WIMSD-5B, dan perhitungan teras menggunakan paket perhitungan difusi 2 dimensi BATAN-2DIFF. Hasil perhitungan dummy aluminium mempunyai harga reaktivitas positif dan harga faktor puncak daya di bawah yang diijinkan sehingga dummy aluminium dapat dijadikan kompensasi batang kendali. Hasil dari perhitungan reaktivitas dan hasil eksperimen mempunyai perbedaan relatif kecil yaitu sebesar 0,396%.

Kata kunci: Iradiasi, dummy aluminium, reaktivitas, reaktor RSG-GAS

ABSTRACT

NEUTRONS ANALYSIS OF ALUMINIUM DUMMY IN REACTOR CORE RSG-GAS. Reactor RSG-GAS is research reactor used for research needs, material test, radio isotopes production. To improve the optimization of reactor RSG-GAS needs continuous operation schedule till the final cycle. At the final cycle of core 86, once happened that burnt-up energy did not fulfill the planned energy target (625 MWD) so the aluminum dummy was needed to compensate the element controls in fulfilling the operation schedule. For the sake of reactor safety, it needs neutrons analysis the influence of aluminum dummy as a irradiation target in reactor core RSG-GAS. On this paper, it has been conducted neutrons analysis the influence of aluminum dummy as irradiation target with the mass variations for each Irradiation Position (IP) and the result was compare to the experiment result. Determination of aluminum dummy as a target is conducted by analyzing the reactivity changes and power peak factor. Calculation of diffusion group constant of modeling uses WIMSD-5B program, and the core calculation uses diffusion 2 dimension calculation package of BATAN 2-DIFF. Based on the calculation result, aluminum dummy has a positive reactivity value meanwhile power peak factor value is under the allowed value. So, aluminum dummy can be used to compensate the element controls. The result of reactivity calculation and experiment result have a small relatively difference which is 0,396%.

Key words: irradiation, aluminum dummy, reactivity, RSG-GAS reactor

1. PENDAHULUAN

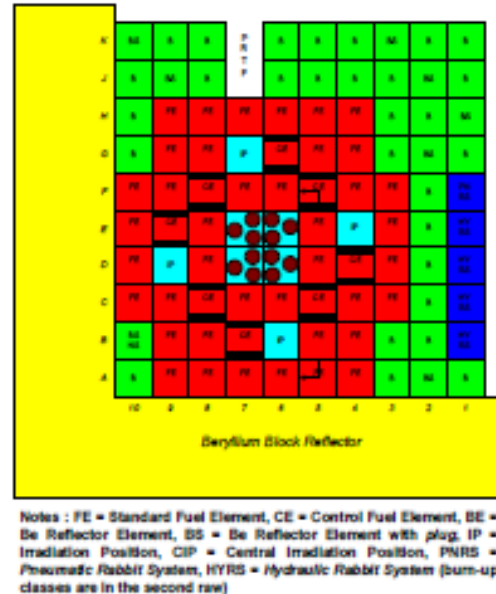
Reaktor serba Gama (RSG-GAS) merupakan reaktor tipe kolam yang digunakan untuk penelitian, pelayanan iradiasi, kegiatan pendidikan dan pelatihan. Fasilitas reaktor RSG-GAS dibangun berdasarkan konsep reaktor kolam terbuka dengan menggunakan air sebagai pendingin dan moderator serta menggunakan berilium sebagai reflector.

Jumlah reaktivitas suatu reaktor menentukan populasi neutron dan tingkat daya dalam suatu waktu tertentu. Reaktivitas dapat berubah karena beberapa faktor, misal karena berkurangnya atom bahan bakar, temperatur, tekanan, bahan dan lain-lain. Koefisien reaktivitas digunakan untuk menyatakan kuantitas suatu efek perubahan parameter (misal bertambahnya temperatur, masuknya batang kendali, masuknya bahan atau penambahan racun neutron) sehingga reaktivitas berubah. Perubahan reaktivitas yang diakibatkan penambahan bahan atau material dapat diamati dengan perubahan batang kendali, jika batang kendali mengalami penurunan maka reaktivitas tersebut adalah positif dan sebaliknya jika batang kendali mengalami kenaikan maka reaktivitas yang ditimbulkan adalah reaktivitas negatif. Efek dari perubahan reaktivitas tersebut tidak boleh melebihi $\pm 0,5\%$ untuk setiap pemasukan bahan/material [1,2].

Reaktor RSG-GAS saat ini banyak digunakan untuk memproduksi radioisotop ^{99}Mo [3,4,5], radioisotop lain seperti TeO_2 (menghasilkan ^{131}I) [6,7], Gd_2O_3 (menghasilkan ^{161}Tb), Sm_2O_3 (menghasilkan ^{153}Sm) dan mengiradiasi batu topaz [8,9], sehingga sangatlah penting untuk menepati jadwal operasi yang berkelanjutan hingga akhir siklus.

Pada teras 86 pernah kekurangan energi untuk dapat menyelesaikan operasi hingga akhir siklus (625 MWD), sehingga mengganggu jadwal operasi yang telah dijadwalkan. Maka diperlukan penambahan bahan/material yang mempunyai nilai reaktivitas positif agar reaktor dapat beroperasi hingga akhir siklus. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa batu topaz dapat memberikan perubahan reaktivitas positif [8], akan tetapi saat itu iradiasi batu topaz dihentikan karena policy BATAN. Sehingga dicari alternatif selain batu topaz, dari pengalaman bahan aluminium mempunyai harga reaktivitas positif.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan eksperimen dan perhitungan neutronik bahan aluminium untuk dijadikan bahan tambahan reaktivitas di teras reaktor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 sesuai batasan keselamatan operasi.



Gambar 1. Teras Reaktor RSG-GAS

Metodologi eksperimen yang digunakan adalah dengan mengukur reaktivitas dengan selisih tinggi batang kendali setiap penambahan aluminium pejal. Bahan aluminium yang digunakan menyesuaikan kapsul yang ada, yaitu dengan dimensi diameter 47 mm dan tebal 50 mm (massa 235 gram) sebanyak 11 buah dan dimasukkan ke setiap posisi IP (B-6, D-9, E-4 dan G-7). Sedangkan perhitungan neutronik menggunakan perhitungan konstanta kelompok difusi dari pemodelan menggunakan program WIMSD-5B [10] yang telah tervalidasi sedangkan perhitungan teras menggunakan paket perhitungan difusi 2 dimensi BATAN-2DIFF [10] dengan variasi massa di setiap posisi IP. Ruang lingkup dari penelitian ini meliputi pemantauan batasan keselamatan operasi antara lain perubahan reaktivitas, perubahan faktor puncak daya. Batasan ini dipilih untuk menjamin reaktor dalam keadaan aman dan dapat dioperasikan dengan normal.

2. TEORI [1]

Reaktivitas adalah suatu parameter yang sangat berguna untuk memprediksi perubahan populasi neutron dalam suatu reaktor dalam waktu tertentu.

A. Aplikasi Faktor Perlipatan Efektif.

Jika N_0 = jumlah neutron pada generasi ke nol, maka:
Jumlah neutron pada generasi ke satu, $N_1 = N_0 k_{eff}$
Jumlah neutron pada generasi ke dua, $N_2 = N_1 k_{eff} = N_0 k_{eff}^2$
Jumlah neutron pada generasi ke tiga, $N_3 = N_2 k_{eff} = N_0 k_{eff}^3$
Jumlah neutron pada generasi ke n, $N_n = N_0 k_{eff}^n$ (1)

B. Reaktivitas

Jika terdapat N_0 neutron pada generasi sebelumnya, kemudian ada $N_0 k_{eff}$ neutron pada generasi saat ini, maka perubahan populasi neutron adalah $(N_0 k_{eff} - N_0)$. Penambahan dan hilangnya populasi neutron $(N_0 k_{eff} - N_0)$ dinyatakan sebagai suatu fraksi generasi saat ini $(N_0 k_{eff})$, seperti ditunjukkan di bawah ini:

$$\rho = \frac{N_0 k_{eff} - N_0}{N_0 k_{eff}} \quad (2)$$

Hubungan yang menyatakan perubahan fraksi populasi neutron setiap generasi dinyatakan sebagai reaktivitas (ρ). Jika pembilang dan penyebut pada persamaan (2) dibagi dengan N_0 , maka reaktivitas dapat dinyatakan sebagai:

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \quad (3)$$

Dari persamaan (3), adapat dilihat bahwa nilai ρ dapat bernilai positif, nol, ataupun negatif bergantung pada nilai k_{eff} .

Jika $k_{eff} > 1$ maka $\rho > 0$

$k_{eff} = 1$ maka $\rho = 0$

$k_{eff} < 1$ maka $\rho < 0$

Semakin besar nilai mutlak reaktivitas reaktor, maka semakin jauh pula dari nilai kritis. Oleh karena itu sangat tepat jika reaktivitas dapat dipakai sebagai suatu ukuran untuk menunjukkan seberapa jauh kondisi reaktor dari kondisi kritis.

C. Satuan reaktivitas

Besaran reaktivitas merupakan besaran tanpa dimensi, karena tidak memiliki dimensi waktu, panjang dan massa atau kombinasinya. Akan tetapi untuk memudahkan menyatakan nilai reaktivitas maka perlu diberi satuan buatan (*artificial*).

- 1 $\frac{\Delta k}{k}$
- 2 $\% \frac{\Delta k}{k}$ ($\% \frac{\Delta k}{k} = 1.10^{-2} \frac{\Delta k}{k}$)
- 3 mk ($1 \text{ mk} = 1.10^{-3} \frac{\Delta k}{k}$)
- 4 pcm ($1 \text{ pcm} = 1.10^{-5} \frac{\Delta k}{k}$)

$$5 \text{ dollar} \quad (1 \text{ dollar} = \beta \frac{\Delta k}{k} = 0,0065 \frac{\Delta k}{k})$$

Dalam makalah ini satuan yang digunakan adalah $\% \frac{\Delta k}{k}$.

D. Definisi Koefisien Reaktivitas dan *Reaktiviy Deffect*

Jumlah reaktivitas suatu reaktor menentukan populasi neutron dan tingkat daya dalam suatu waktu tertentu. Reaktivitas dapat berubah karena beberapa faktor, misal karena berkurangnya atom bahan bakar, temperatur, tekanan, bahan dan lain-lain.

Koefisien reaktivitas digunakan untuk menyatakan kuantitas suatu efek perubahan parameter (misal bertambahnya temperatur, masuknya batang kendali, masuknya bahan atau penambahan racun neutron) sehingga reaktivitas berubah. Perubahan reaktivitas yang diakibatkan penambahan bahan atau material dapat diamati dengan perubahan batang kendali, jika batang kendali mengalami penurunan maka reaktivitas tersebut adalah positif dan sebaliknya jika batang kendali mengalami kenaikan maka reaktivitas yang ditimbulkan adalah reaktivitas negatif. Efek dari perubahan reaktivitas ($\Delta k/k$) tersebut tidak boleh melebihi $\pm 0,5 \%$ untuk setiap pemasukan bahan/material [1,2].

3. METODOLOGI

1. Eksperimen

- Menyiapkan 4 buah kapsul, masing-masing diisi target dummy aluminium 6 buah = 1410 gram (1 buah dummy aluminium = 235 gram) dengan dimensi diameter 47 mm dan tebal 50 mm.
- Mengukur reaktivitas untuk setiap posisi IP dengan cara mencatat selisih batang kendali, meliputi:
 - Memasukkan target dummy aluminium ke posisi iradiasi D-9
 - Memasukkan target dummy aluminium ke posisi iradiasi G-7
 - Memasukkan target dummy aluminium ke posisi iradiasi B-6
 - Memasukkan target dummy aluminium ke posisi iradiasi E-4

2. Perhitungan Neutronik

MENJALANKAN PROGRAM WIMSD-5B

Program WIMSD-5B hanya bisa melakukan perhitungan transport neutron satu dimensi, sehingga perlu dilakukan pemodelan sel teras. Pemodelan sel teras dilakukan untuk membuat konstanta kelompok makroskopik material teras. Nilai konstanta kelompok yang dihasilkan merupakan nilai konstanta kelompok rerata sel yang diperoleh dengan melakukan homogenisasi material sel. Perhitungan konstanta kelompok dilakukan terhadap material penyusun teras maupun material yang akan dimasukkan ke dalam teras, dalam hal ini adalah pengaruh kapsul, kapsul aluminium dan target aluminium pejal.

MENJALANKAN PROGRAM BATAN-2DIFF.

Perhitungan teras menggunakan paket program BATAN-2DIFF sehingga teras penuh RSG-GAS, termasuk target dimodelkan dalam model geometri X-Y (2-D) dengan syarat batas vacuum di tiap sisi teras [10]. Parameter teras yang dihitung adalah perubahan reaktivitas lebih teras ($\Delta\rho$), perubahan puncak daya radial maksimum. Tabel 1 menunjukkan kondisi teras yang dihitung dalam penelitian ini untuk variasi jumlah massa aluminium.

Nilai batas yang dipakai dalam analisis neutronik adalah:

- Perubahan reaktivitas akibat masuknya Aluminium maksimum = 0,5% $\Delta k/k$

- Masuknya Aluminium dteras memberikan pengaruh nilai faktor puncak daya radial maksimum sebesar 1,4

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen yang dilakukan hanya memasukkan aluminium pejal sebanyak 6 buah (1410 gram) setiap posisi. Harga reaktivitas $\Delta k/k$ dari setiap posisi terlihat mempunyai harga yang variasi dimana di posisi G-7 mempunyai harga reaktivitas $\Delta k/k$ yang paling besar yaitu 0,229% dan posisi D-9 mempunyai harga reaktivitas $\Delta k/k$ yang paling kecil. Total harga $\Delta k/k$ sebesar 0,756 % hasil ini akan dibandingkan dengan hasil perhitungan. Tabel 2 menunjukkan hasil eksperimen pada setiap posisi grid meliputi grid D-9, B-6, E-4 dan G-7.

Perhitungan dilakukan dengan variasi massa dari 1 buah aluminium dengan massa 235 gram sampai dengan penambahan 6 buah aluminium (1410 gram). Sebelum menghitung reaktivitas ($\Delta k/k$) setiap posisi grid, dihitung terlebih dahulu reaktivitas ($\Delta k/k$) pada semua posisi tanpa target aluminium. Hasil perhitungan tanpa target aluminium mempunyai reaktivitas sebesar 8,726%, sedangkan untuk setiap penambahan aluminium reaktivitas dihitung dengan selisih antara hasil perhitungan dengan target target aluminium dan hasil perhitungan reaktivitas tanpa target aluminium. Hasil perhitungan reaktivitas ($\Delta k/k$) ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Variasi jumlah target aluminium

No	Posisi CIP	Posisi Irradiation Position (IP)				Massa Aluminium (gram)
		D-9	B-6	E-4	G-7	
1	Kosong	1-6 buah aluminium	-	-	-	235 gram - 1410 gram
2	Kosong	-	1-6 buah aluminium	-	-	235 gram - 1410 gram
3	Kosong	-	-	1-6 buah aluminium	-	235 gram - 1410 gram
4	Kosong	-	-	-	1-6 buah aluminium	235 gram - 1410 gram

Tabel 2. Harga reaktivitas ($\Delta k/k$) hasil eksperimen di posisi Irradiation Position

	Posisi grid	$\Delta k/k$ (%)	Posisi grid	$\Delta k/k$ (%)	Posisi grid	$\Delta k/k$ (%)	Posisi grid	$\Delta k/k$ (%)	$\Delta k/k$ (%)

Tabel 3. Hasil Perhitungan reaktivitas ($\Delta k/k$) variasi massa

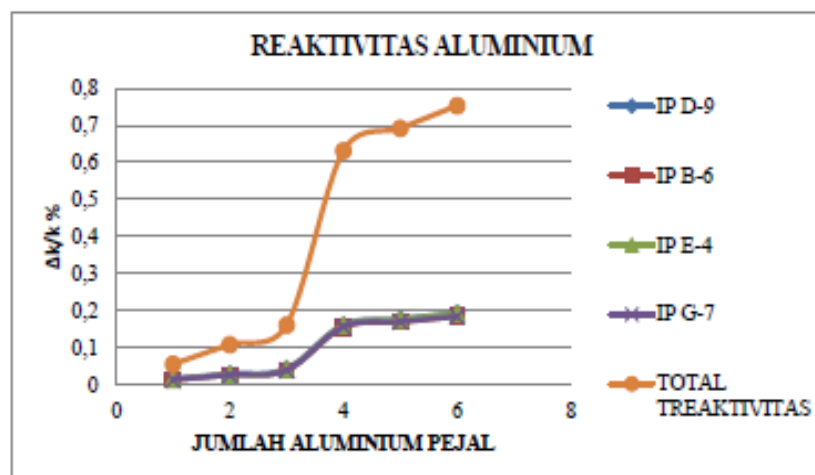
NO	VARIASI	Jumlah Al pejal	REAKTIVITAS (%)								Total $\Delta k/k$
			D-9	$\Delta k/k$	B-6	$\Delta k/k$	E-4	$\Delta k/k$	G-7	$\Delta k/k$	
	TANPA Al pejal	0	8.726E+00								
1	Dengan Al Pejal 235 gram/buah	1	8.741	0.015	8.739	0.013	8.740	0.014	8.739	0.013	0.055
		2	8.755	0.029	8.752	0.026	8.753	0.027	8.752	0.026	0.108
		3	8.769	0.043	8.765	0.039	8.766	0.040	8.765	0.039	0.161
		4	8.887	0.161	8.881	0.155	8.885	0.159	8.882	0.156	0.631
		5	8.903	0.177	8.895	0.169	8.902	0.176	8.896	0.170	0.692
		6	8.919	0.193	8.910	0.184	8.918	0.192	8.910	0.184	0.753

Dari Tabel 3 terlihat bahwa dengan penambahan target aluminium akan menambah reaktivitas $\Delta k/k$, untuk penambahan target aluminium dari 1 buah sampai dengan 3 buah kenaikan reaktivitas $\Delta k/k$ yang hampir linier berkisar 0,013% - 0,016 %. Akan tetapi setelah penambahan 4 target aluminium, kenaikan harga ($\Delta k/k$) cukup signifikan untuk seluruh posisi grid yaitu berkisar 0,142% - 0,146%, dari 4 grid tersebut kenaikan yang paling besar pada grid D-9, hasil reaktivitas aluminium variasi massa seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Dari hasil perhitungan pada penambahan 6 buah target aluminium (1410 gram) reaktivitas $\Delta k/k$ yang terbesar pada posisi grid D-9 yaitu 0,193%, hasil ini masih aman dari batasan keselamatan operasi yang

dijinkan yaitu reaktivitas $\Delta k/k = 0,5\%$ (setiap posisi iradiasi). Harga total reaktivitas $\Delta k/k$ sebesar 0,753% bila dibandingkan dengan eksperimen yang sebesar 0,756% maka selisih hasil eksperimen dengan perhitungan relatif kecil hanya sekitar 0,396%. Sehingga perhitungan dengan program yang digunakan mempunyai validitas yang tinggi.

Hasil perhitungan teras untuk faktor puncak daya tanpa target diperoleh sebesar 1,2 akan tetapi efek setiap pemasangan target aluminium pejal di posisi IP terhadap perubahan nilai faktor puncak daya ternyata tidak menunjukkan hasil yang sistematis seperti pada. Nilai faktor puncak daya pada posisi grid E-4 dan G-7 terlihat bahwa penambahan target di posisi tersebut tidak menambah nilai harga faktor



Gambar 2. Grafik Reaktivitas aluminium variasi massa

puncak daya. Untuk posisi grid D-9 dan B-6 terlihat bahwa setelah penambahan 4 buah target aluminium nilai faktor puncak daya bertambah 0,01 sampai dengan 0,03 (1,21-1,23) akan tetapi masih di bawah batas nilai faktor puncak daya yang diijinkan yaitu 1,4.

5. KESIMPULAN

Hasil perhitungan dan eksperimen masing-masing diperoleh reaktivitas sebesar 0,753% dan 0,756%, apabila hasil tersebut dibandingkan dengan batasan keselamatan operasi maka dalam kriteria aman yaitu di bawah 2%. Sehingga reaktor RSG-GAS aman dioperasikan dengan penambahan target *dummy* aluminium.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. P. R. S. G. BATAN, "Laporan Analisis Keselamatan (LAK) RSG-GAS Rev.10.1," 1 (2011).
2. Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN, "LAPORAN ANALISIS KESELAMATAN IRADIASI TARGET FPM-LEU ELEKTROPLATING," Lap. Anal. Keselam., (1993).
3. SAPTLAMA I dan SARMINI E., "AKTIVASI NEUTRON DARI MOLIBDENUM ALAM UNTUK MEMPEROLEH TEKNESIUM-99m (^{99m}Tc)," *Urania*, 22 (2) (2016) 121-132.
4. HONG L. P., NAM H., dan MALEM T., "Design optimization of a new homogeneous reactor for medical radioisotope Mo-99 / Tc-99m production," *Elsevier*, 82 (2015) 191-197,
5. PINEM S. et al., "Optimization of Radioisotope Production at Rsg-Gas Reactor Using Deterministic Method Optimization of Radioisotope Production at Rsg-Gas Reactor Using Deterministic Method," *Tekmol. Indones. LIPI, (January)* (2012) 37-45,
6. FLLAOUTI A., GHAMAD Y., ZOUBIR B., dan ABIDINE Z., "Validation of a New Design of Tellurium Dioxide-Irradiated Target," *Nucl. Eng. Technol.*, 48 (5) (2016) 1273-1279.
7. ALFATHIA D.A., HASTILAWAN I., dan SETILAWAN D., "Pembuatan Radioiodida-131 (¹³¹I) bebas pengembun berdasarkan kolom resin amberlit," *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia.*, 18 (2017) 61-72.
8. SUTRISNO, "Perhitungan Reaktivitas Batu Topaz 1,5 Kg Posisi D-9 Dengan Program Batan 2-Diff," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*, (2012) 143-149.
9. RATNAWATI E. dan ARIFHIDAYAT M., "Pengaruh Irradiasi Batu Topaz Terhadap Kualitas Air Pendingin Reaktor SG-GAS," *Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*, (2012) 34-39.
10. PINEM S., SEMBIRING T. M., dan LIEM P. H., "Neutronic and Thermal-Hydraulic Safety Analysis for the Optimization of the Uranium Foil Target in the RSG-GAS Reactor," *Atom Indones.*, 42 (3) (2016) 123-128.

Tabel 4. Harga Faktor Puncak Daya variasi target aluminium pejal di teras RSG-GAS

NO	VARIASI	Jumlah Aluminium	PPF RADIAL							
			D-9	Δ PPF	B-6	Δ PPF	E-4	Δ PPF	G-7	Δ PPF
	TANPA Al pejal	0					1.200			
1	Dengan Al Pejal 235 gram/buah	1 (235 gram)	1.200	0.000	1.200	0.000	1.200	0.000	1.200	0.000
		2 (470 gram)	1.200	0.000	1.200	0.000	1.200	0.000	1.200	0.000
		3 (705 gram)	1.200	0.000	1.200	0.000	1.200	0.000	1.200	0.000
		4 (940 gram)	1.220	0.020	1.210	0.010	1.200	0.000	1.200	0.000
		5 (1175 gram)	1.230	0.030	1.210	0.010	1.200	0.000	1.200	0.000
		6 (1410 gram)	1.230	0.030	1.210	0.010	1.200	0.000	1.200	0.000

Tanya Jawab:

Pertanyaan (Eko Priyono /PSTA) :

Mengapa dengan diberi dummy aluminium dapat menyebabkan reaktivitas positif sedangkan aluminium bukan bahan fisi?

Jawaban (Sutrisno) :

- Karena posisi iradiasi (IP) di teras RSG-GAS berada over moderated, artinya pada posisi iradiasi tersebut dikurangi jumlah moderatornya (air) maka akan menghasilkan reaktivitas positif
- Memasang dummy aluminium pada posisi IP sama dengan mengurangi jumlah moderator