

PENGUKURAN USIA NEUTRON KASIP RERATA RSG-GAS

Uju Jujuratisbela, Surian Pinem, Tukiran Surbakti
Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGUKURAN USIA NEUTRON KASIP RERATA RSG-GAS. Parameter kinetik reaktor yang merupakan bagian penting dari karakteristik Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy (RSG-GAS) perlu ditentukan dengan teliti baik secara perhitungan maupun pengukuran. Usia neutron kasip rerata sebagai salah satu parameter kinetik reaktor yang berperan penting dalam pengendalian operasi reaktor diukur pada beberapa teras transisi RSG-GAS dengan menggunakan metode batang kendali jatuh (rod drop method). Harga usia neutron kasip rerata RSG-GAS untuk teras transisi I, III, IV, V, dan VI masing-masing 13,21; 11,35; 13,21; 13,21; dan 11,35 detik.

ABSTRACT

MEASUREMENTS OF THE AVERAGE DELAYED NEUTRON LIFE TIME OF GA SIWABESSY MULTIPURPOSE REACTOR. Reactor kinetic parameter which is an important part of reactor characteristics of G.A. Siwabessy multipurpose reactor (RSG-GAS) has to be determined accurately either by calculations or measurements. Average delayed neutron life time which has an important role in controlling the reactor operation was measured by using rod drop method. Values of average delayed neutron life time of transition cores I, III, IV, V, and VI are 13.21, 11.35, 13.21, 13.21, and 11.35 second, respectively.

PENDAHULUAN

Parameter kinetik reaktor seperti fraksi neutron kasip efektif, usia neutron serempak rerata, reaktivitas, dan usia neutron kasip rerata perlu dihitung dan diukur secara teliti karena berkaitan dengan keselamatan operasi reaktor. Secara teoritis usia neutron kasip rerata dapat dihitung apabila jumlah fraksi neutron kasip dan waktu paruhnya pada suatu konfigurasi teras tertentu telah diketahui. Hingga saat ini usia neutron kasip rerata begitu pula fraksi neutron kasip dan waktu paruhnya belum pernah dihitung. Belum tersedianya data tersebut merupakan hambatan dalam verifikasi hasil eksperimen.

Secara eksperimen, usia neutron kasip rerata ditentukan dengan menggunakan metode batang kendali jatuh (rod drop method). Dalam metode Batang Kendali Jatuh (BKJ) beberapa kondisi eksperimen seperti tingkat daya bebas sumber neutron, linieritas detektor dan tingkat daya reaktor sebelum batang kendali dijatuhkan, diatur sedemikian rupa sehingga respon detektor mencapai harga maksimum tanpa melewati saturasinya. Telah dilakukan penentuan harga usia neutron kasip rerata untuk bebe-

rapa teras transisi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS). Untuk teras transisi I, III, IV, V dilakukan pengukuran pada awal siklus teras. Pada teras transisi VI pengukuran dilakukan pada akhir siklus teras.

Dari hasil pengukuran usia neutron kasip rerata masing-masing teras transisi dapat dilihat pengaruh perubahan konfigurasi teras transisi terhadap harga usia neutron kasip rerata. Juga akan disinggung beberapa koreksi yang seharusnya dilakukan.

TEORI

Pengukuran parameter kinetik reaktor pada daya rendah. Validitas besaran neutron kasip perlu dilakukan sebelum digunakan untuk evaluasi parameter kinetik reaktor. Besaran neutron kasip yang terkandung dalam persamaan perjam, dapat diketahui valid atau tidaknya melalui verifikasi persamaan perjam tersebut. Verifikasi persamaan perjam dengan cara membandingkan hubungan antara periode dan reaktivitas secara perhitungan dan eksperimen. Persamaan kinetik reaktor titik sebagai dasar untuk penurunan persamaan perjam dinyatakan dengan persamaan (1, 2, 3, 4).

$$dP/dt = [(\rho - \beta)/\Lambda] P(t) + \sum_{j=1}^6 \lambda_j C_j(t) + S_n \quad (1)$$

$$dC_j/dt = [\beta_j/\rho] P(t) - \lambda_j C_j(t) \quad (2)$$

$P(t)$ = Daya reaktor bergantung waktu, ρ = Reaktivitas, β = Fraksi efektif neutron kasip, β_j = Fraksi neutron kasip grup ke-j, C_j = Konsentrasi prekursor neutron kasip grup ke-j, λ_j = Konstanta peluruhan prekursor neutron kasip grup ke-j, Λ = Waktu generasi neutron serempak, S_n = Sumber neutron luar. Untuk perubahan reaktivitas berbentuk undak (step) sebesar ρ_0 , persamaan kinetik reaktor dapat diselesaikan secara analitik. Solusi persamaan kinetik tanpa memperhatikan sumber neutron luar ($S_n = 0$) dinyatakan sebagai:

$$P(t) = A_0 \exp(\pm \omega_0 t) + \sum_{j=1}^6 A_j \exp(-\omega_j t) \quad (3)$$

ω_0 dan ω_j diperoleh dengan menyelesaikan persamaan perjam

$$\rho_0 = \Lambda/\beta T + \sum_{j=1}^6 \frac{\beta_j/\beta}{1 + \lambda_j T} \quad (4)$$

ρ_0 = reaktivitas [\$]. Harga A_0 dan A_j diperoleh dengan menggunakan syarat syarat batas. Untuk waktu yang cukup lama setelah adanya perubahan reaktivitas undak, kontribusi suku kedua dari persamaan (3) menjadi sangat kecil sehingga hanya suku pertama saja yang dominan. Maka solusi persamaan kinetik reaktor menjadi:

$$P(t) = A_0 \exp(\pm \omega_0 t) \quad (5)$$

Eksperimen batang kendali jatuh (rod drop).

Bila suatu batang kendali bernilai ρ_0 [\$] dijatuhkan pada saat reaktor beroperasi daya rendah bebas sumber P_0 dan P_1 merupakan daya reaktor setelah batang kendali jatuh, serta $P(t)$ profil daya reaktor pada saat batang jatuh, maka dapat ditunjukkan [2] bahwa:

$$\rho_0 = \frac{P_0 - P_1}{P_1} \cdot \frac{s P(s)}{P_0 - s P(s)} \quad (6)$$

dengan

$$P(s) = \int_0^{\infty} dt' P(t') e^{-st'} \quad (7)$$

$$P(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} dt' P(t') e^{-i\omega t'} \quad (8)$$

Persamaan (7) dan (8) merupakan transformasi Laplace dan Fourier dari $P(t)$.

Usia neutron kasip rerata (Γ') yang didefinisikan sebagai

$$\Gamma' = 1/\beta \cdot \sum_{j=1}^6 \frac{\beta_j}{\lambda_j} \quad (9)$$

dapat dihitung asalkan data neutron kasip diketahui. Karena belum tersedianya data β_j dan λ_j untuk teras transisi kesatu hingga kelima untuk RSG-GAS, maka diambil data β_j dan λ_j untuk reaktor berbahan bakar U-235 dari Keepin [1]. Usia neutron kasip rerata dapat pula ditentukan melalui eksperimen BKJ. Dengan membagi persamaan (6) oleh persamaan (8) dan mengasumsikan Δ sangat kecil serta memasukkan harga $s = 0$, maka persamaan (9) menjadi:

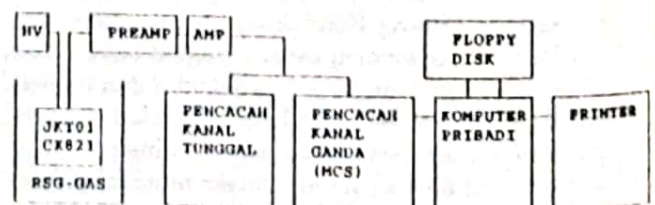
$$\Gamma' = \frac{P_0 - P_1}{P_1 P_0} \int_0^{\infty} dt P(t) \quad (10)$$

Usia neutron kasip rerata dapat ditentukan secara teoritis dengan persamaan (9) dan secara eksperimen batang kendali jatuh dengan persamaan (10).

TATA KERJA.

Instrumentasi.

Instrumentasi untuk pengukuran parameter kinetik reaktor dengan metode batang kendali jatuh ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem pencacah untuk eksperimen batang kendali jatuh (Rod drop experiment)

Metode pengukuran

Eksperimen BKJ telah dilakukan di RSG-GAS pada teras I, III,IV,V, dan VI. Kamar fisi digunakan sebagai detektor neutron untuk mencatat kelakuan daya selama eksperimen dan batang kendali yang dijatuhkan dari ketinggian sekitar 150 mm dari dasar teras reaktor.

Penentuan tingkat daya reaktor bebas sumber neutron.

Reaktor dikritisikan pada tingkat daya rendah dan batang kendali bank (bank rod) serta pengatur (Regulation rod) diatur pada posisi yang hampir sama. Laju cacah kamar fisi JKT-01 CX811 dan JKT01 CX821 dan arus dari kamar ionisasi JKT04 DX001 dicatat untuk dika-

librasi terhadap daya reaktor. Tingkat daya reaktor dinaikkan pada periode positif dengan menaikkan posisi batang kendali regulasi. Kemudian reaktor dikritisikan dan distabilkan dengan mengatur semua batang kendali pada posisi sama. Proses tersebut dilakukan terus sampai tercapai kekritisan reaktor pada tingkat daya tertentu dimana posisi batang kendali bank dan regulasi selalu tetap sama meskipun daya reaktor dinaikkan. Kondisi dimana posisi batang kendali bank dan regulasi tetap tak berubah meskipun daya reaktor dinaikkan disebut sebagai kondisi daya reaktor bebas sumber neutron. Untuk teras I, kondisi reaktor bebas sumber dicapai pada tingkat daya 500 W, meski-

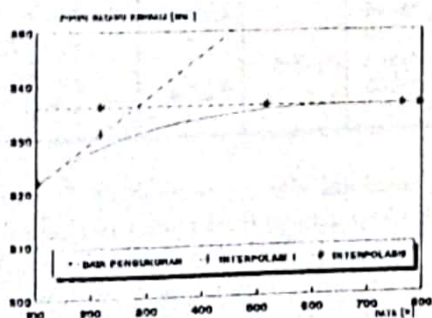
Tabel 1. Data pengukuran eksperimen batang kendali jatuh pada teras I

No.	Daya Reaktor (W)	Respon detektor/posisi						Posisi batang kendali					
		JKT 04 (A)	JKT 01				A 06 C - 8	A 01 E - 9	A 03 F - 8	A 05 C - 5	A 04 F - 5	A 07 D - 4	
			CX 811		CX 821								
			cps	mm	cps	mm							
1	0	0	57	255	71	255	0	0	0	0	0	0	
2	104	1,0E-10	2552	255	3530	255	322	295	295	295	295	295	
3	217	2,0E-10	4900	255	7050	255	331	295	295	292	295	295	
4	517	5,0E-10	10852	255	16367	255	336	295	295	295	295	295	
5	764	7,5E-10	14717	255	22423	255	336	295	295	295	295	295	
6*	795	7,5E-10	107	908	113	933	336	295	295	295	295	295	
7	5E+3	5,0E-9	630	908	720	933	336	295	295	295	295	295	
8	50E+3	5,0E-8	5988	908	7568	933	337	295	295	295	295	295	
9	105E+3	1,0E-7	11336	908	14923	933	337	295	295	295	295	295	
10	100E+3	9,5E-6	12295	908	16509	933	329	330	330	330	330	150a	

Keterangan:

* - Posisi detektor JKT 01 dinaikkan.

a - Posisi batang kendali diatur sedemikian rupa hingga batang kendali D-4 berada pada ketinggian 150 mm dan batang kendali lainnya pada ketinggian yang sama. Konfigurasi batang kendali ini merupakan kondisi sebelum dilakukan batang kendali D-4 dijatuhkan (rod drop).



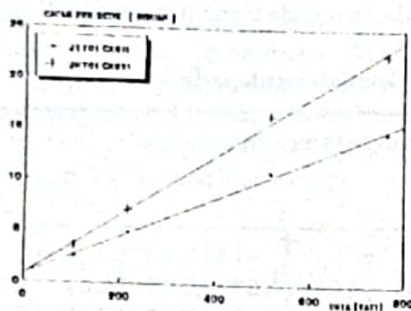
Gambar 2. Penentuan daya bebas sumber teras I.

pun secara ekstrapolasi kondisi bebas sumber mulai tercapai pada tingkat daya reaktor sekitar 300 W. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1 atau Gambar 2. Pencarian kondisi kritis bebas sumber untuk teras lainnya dilakukan dengan cara yang sama.

Penentuan daerah linieritas dari detektor kamar fisi.

Daerah linieritas detektor diperlukan agar diperoleh jumlah cacah maksimum pada tingkat daya yang dipilih selama eksperimen. Untuk maksud tersebut, daya reaktor dinaikkan

bertahap dan laju cacah dari kamar fisi dicatat (Tabel 1). Dari kurva laju cacah terhadap tingkat daya reaktor pada Gambar 3, tampak bahwa JKT01 CXS21 menunjukkan karakteristik linier hingga 16367 cacah per detik dan JKT01 CXS11 memperlihatkan linieritas hingga 10852 cacah per detik. Jumlah cacah yang besar memberikan fluktuasi statistik yang kecil dalam laju cacah. Detektor JKT01 CX 821 yang memberikan jumlah cacah besar dalam daerah linier digunakan sebagai detektor untuk pencacahan selama batang kendali dijatuhkan dan pencuplikan data.



Gambar 3. Linieritas kamar fisi teras I.

Tingkat daya reaktor saat dilakukan batang kendali jatuh.

Walaupun tingkat daya 500 W merupakan kondisi bebas sumber dan detektor memberikan jumlah cacah yang besar, batang kendali jatuh masih belum dapat dilakukan karena segera sesaat batang kendali dijatuhkan, daya reaktor akan segera masuk ke dalam daerah tidak bebas sumber neutron. Oleh karena itu, agar supaya memperoleh 2 atau 3 dekade data cacahan dalam daerah bebas sumber neutron selama dan setelah batang jatuh, diperlukan tingkat daya reaktor sekitar 500 KW. Ketinggian detektor telah diatur sedemikian rupa sehingga pada daya 800 W, laju cacah dari kedua detektor sekitar 100 cacah per detik. Dengan pengaturan posisi detektor tersebut, maka tingkat daya reaktor 100 KW memberikan jumlah maksimum cacah dari detektor tanpa melewati daerah saturasinya. Oleh karena itu, tingkat daya 100 KW dipilih sebagai daya untuk mulai batang kendali dijatuhkan pada teras I. Dengan pertimbangan serupa dipilih daya reaktor 500 KW untuk dilakukan batang jatuh bebas teras III. Pemilihan tingkat daya reaktor pada eksperimen batang kendali jatuh untuk teras lainnya dilakukan serupa seperti pada teras I dan III.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil eksperimen relasi periode dan reaktivitas untuk teras III, IV, V, dan VI dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan periode dan reaktivitas hasil eksperimen batang kendali jatuh pada teras III, IV, V dan VI.

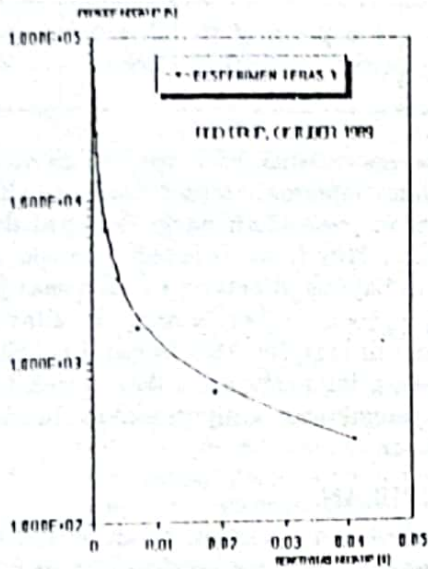
No.	Periode (s)	Reaktivitas (s)			
		Eksperimen rod drop teras transisi			
		III	IV	V	VI
		1989	1990	1990	1992
1	-76		-4,45E-1		
2	-298				-1,7E-2
3	-324	-4,1E-2			
4	-337			-2,4E-2	
5	-360		5,3E-2		
6	-593				-8,0E-3
7	-648	-1,9E-2			
8	-673			-9,0E-3	
9	-761		-2,5E-2		
10	-1484				-3,0E-3
11	-1619	-7,0E-3			
12	-1683			-5,0E-3	
13	-1902		-1,0E-2		
14	-2967				-1,0E-3
15	-3238	-4,0E-3			
16	-3366			-2,0E-3	
17	-3804		-5,0E-3		
18	-5934				-7,4E-4
19	-6477	-2,0E-3			
20	-6732			-1,0E-3	
21	-7608		-2,0E-3		
22	-11868				-3,7E-4
23	-12954	-9,1E-4			
24	-13464			-7,5E-4	
25	-15216		-1,0E-3		
26	-17766				-2,5E-4
27	-19392	-6,1E-4			
28	-20156			-5,6E-4	
29	-22778		-7,8E-4		
30	-23736				-1,8E-4
31	-25907	-4,5E-4			
32	-26928			-4,5E-4	
33	-29670				-1,5E-4
34	-30432		-5,8E-4		
35	-32384	-3,6E-4			
36	-38040		-4,7E-4		
37	-59340				-7,3E-5
38	-64768	-1,8E-4			
39	-76080		-2,3E-4		

Grafik eksperimen dari relasi periode dan reaktivitas teras transisi III, IV, V, dan VI ditunjukkan pada Gambar 4, 5, 6 dan 7. Hasil eksperimen usia neutron kasip rerata ditunjukkan pada Tabel 3.

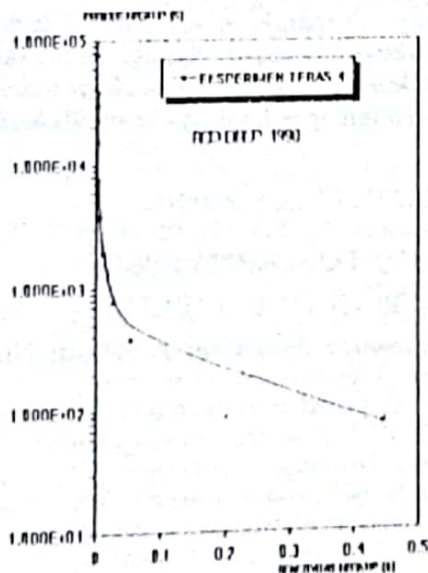
Sebagai bandingan disertakan kurva teoritis pada Gambar 8 dari Keepin [1] untuk masukan reaktivitas negatif.

Pembahasan

Dari Gambar 4,5,6, dan 7 tampak adanya kecenderungan kurva menurun dan mengarah ke harga asimtotis.

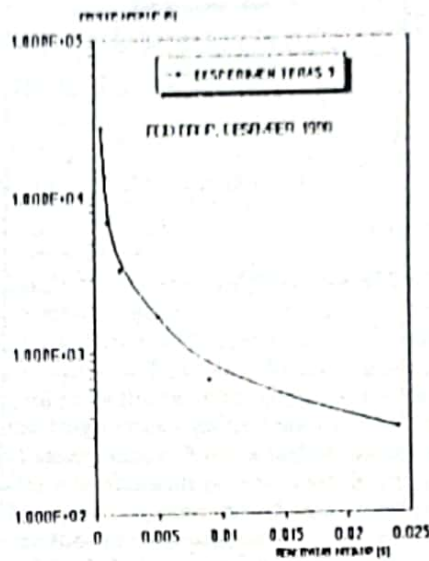


Gambar 4. Periode vs reaktivitas teras III.

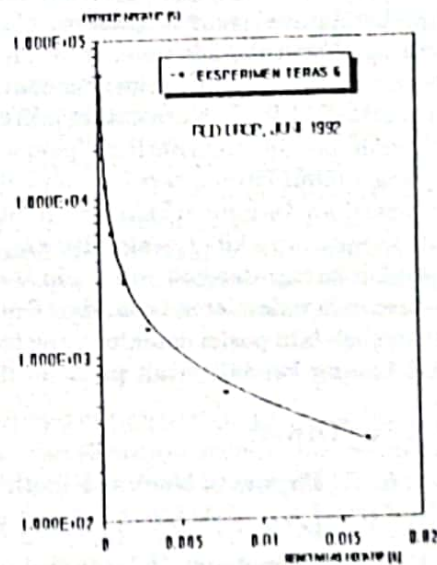


Gambar 5. Periode vs reaktivitas teras IV.

Hal tersebut sesuai dengan teori umum kecenderungan kurva hubungan periode dan reaktivitas bila diberi reaktivitas undak negatif (rod drop). Menurut Ott, K.O. [3] periode serempak asimtotis berharga sekitar $\Lambda / (\rho - \beta)$. Untuk reaktivitas negatif, periode stabilnya berharga kecil dan berharga $\approx 1/\lambda_1$ (≈ 80 s). Dari kurva-kurva eksperimen dan teoritis tampak adanya kesesuaian untuk periode negatif yang lebih besar dari 80 s. Sedangkan untuk periode negatif yang lebih kecil dari 80 s, tampak belum ada kesesuaian yang jelas, terutama untuk periode asimtotisnya. Hal tersebut disebabkan karena program untuk evaluasi data eksperimen masih belum cocok dan perlu ditinjau kembali.

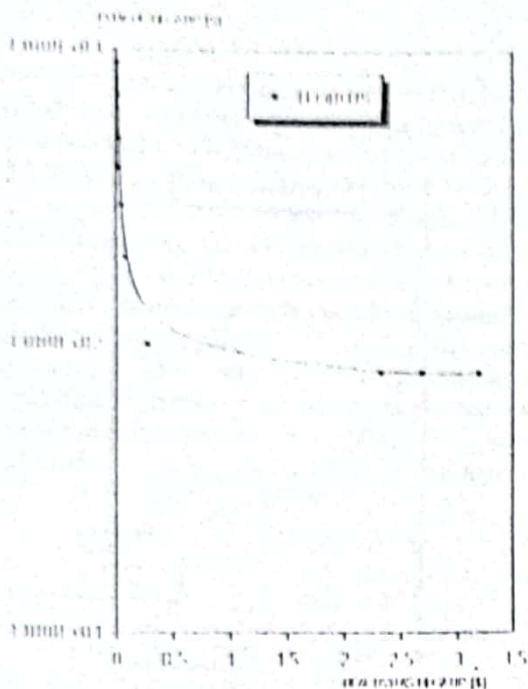


Gambar 6. Periode vs reaktivitas teras V.



Gambar 7. Periode vs reaktivitas teras VI.

Dari Tabel 3 tampak bahwa harga usia neutron kasip merata tidak terlalu menyimpang



Gambar 8. Periode vs reaktivitas teoritis.

dari harga secara teoritis (12,72 s). Akan tetapi perubahan konfigurasi teras transisi yang komposisi terasnya berubah, tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap harga usia neutron kasip merata. Hal ini disebabkan antara lain oleh karena masih belum diperhatikan pengaruh gamma yang timbul karena teras sudah cukup lama dioperasikan. Gamma ini akan menimbulkan neutron spontan akibat reaksi $Be(\gamma, n)$, sehingga jumlah parameter neutron kasip λ_1 dan β_1 harus bertambah dan lebih besar dari 6 buah fraksi. Penyebab lain posisi detektor yang tetap pada saat batang kendali jatuh pada masing-

DAFTAR PUSTAKA

1. Keepin, G. R., *Physics of Nuclear Kinetics*, Addison Wesley, Pub. Co., USA (1965).
2. Singh, O. P., *Lecture Notes on Reactor Kinetics*, IAEA/PPTN/04/018/03/1 (1987).
3. Ott, K.O. and Neuhold, R.J., *Introductory nuclear reactor dynamics*, American Nuclear Society (1985).
4. Ash, M.S., *Nuclear reactor kinetics*, Mc. Graw - Hill Inc. (1979).

Tabel 3. Usia neutron kasip merata secara eksperimen pada teras I, III, IV, V dan VI.

Eksperimen pada teras transisi				
I	III	IV	V	VI
Okt. 1988	Nop. 1989	Ag. 1990	Des. 1990	Jun. 1992

masing teras transisi, sehingga jumlah neutron yang dilihat detektor hampir tidak berubah. Hal ini akan menyebabkan harga integral dalam persamaan (10) tidak berubah banyak. Juga pengaruh bayangan batang kendali saat jatuh yang menyebabkan berubahnya densitas neutron yang dilihat detektor harus diperhitungkan. Untuk itu perlu dilakukan koreksi baik selama pengukuran maupun saat evaluasi data eksperimen.

KESIMPULAN

1. Metode batang kendali jatuh selain biasa digunakan untuk menentukan besar reaktivitas batang kendali, dapat pula digunakan untuk menentukan usia neutron kasip merata teras transisi RSG-GAS.
2. Perlu dilakukan koreksi - koreksi terhadap pengukuran baik dari segi pelaksanaan pengukuran maupun dari segi evaluasi data eksperimen agar hasilnya menjadi lebih baik.