

PENGARUH PEMASANGAN PENGARAH TARGET IRADIASI TERHADAP OPERASI REAKTOR RSG-GAS SIKLUS 65

Slamet Wiranto

ABSTRAK

PENGARUH PEMASANGAN PENGARAH TARGET IRADIASI TERHADAP OPERASI REAKTOR SIKLUS 65. Permohonan iradiasi target di RSG-GAS semakin meningkat, maka pada awal siklus operasi 65 di teras reaktor telah dipasang 8 unit pengarah target iradiasi. Pemasangan pengarah target ini memberikan pengaruh terhadap reaktivitas teras, sehingga perlu dilakukan analisis pengaruhnya terhadap pengoperasian reaktor apakah reaktor mampu dioperasikan dengan aman hingga mencapai energi standar 660 MWD. Analisis dilakukan dengan melakukan kalibrasi batang kendali pada kondisi teras reaktor tanpa/dengan pengarah target, untuk mengetahui nilai reaktivitas padam, reaktivitas lebih dan reaktivitas stuck rod pada kedua kondisi tersebut. Dengan menganalisis ketiga parameter tersebut dapat ditentukan bahwa pemasangan 8 unit pengarah target memberikan reaktivitas negatif yang dapat menyebabkan reaktor tidak mampu dioperasikan hingga energi 660 MWD, Agar reaktor mampu dioperasikan hingga energi 660 MWD pengarah target pada posisi teras H-10 dan A-2 kembali diganti dengan elemen reflektor, dan membatasi nilai reaktivitas negatif seluruh target/eksperimen di dalam teras reaktor tidak melebihi 1,56 %.

ABSTRACT

INTFLUENCE OF IRRADIATION TARGET GUIDES TO SYCLES 65 REACTOR OPERATION. Application of targets irradiation on RSG-GAS was increase, so at beginning of 65 operation cycles have been installed 8 irradiation target guides. It give influence to the core reactivity, so that need to analysis what the reactor can be operated safely until standard energy 660 MWD. The analysis was started to calibrate of control element in core condition with/without target guides. The result of control rods calibrations was used to find the value of the shut down reactivity; excess reactivity and the shutdown margin/stuck rod reactivity. From this value can be determined that the 8 target guides caused the reactor can not be operated to energies 660 MWD. To solve this problem 2 target guides on core position H-10 and A-2 must be change again with the 2 reflector elements, and restrict the negative reactivity value of all target/experiments in the reactor core maximum 1.56 %.

PENDAHULUAN

Dewasa ini permohonan iradiasi target di Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) semakin meningkat baik untuk keperluan penelitian, pemuliaan batu topaz maupun produksi isotop. Oleh karena itu pada teras reaktor siklus operasi ke 65 telah dilakukan pengaturan/ penambahan beberapa pengarah target. Pada awal siklus operasi ke 65 di teras reaktor telah terpasang 8 unit pengarah target terdiri dari 4 buah di posisi CIP (posisi D-6, D-7, E-6 dan E-7), 2 buah di posisi IP (B-6 dan G-7) dan 2 buah di posisi elemen reflektor posisi A-2 dan H-10. (lihat Gambar 1). Perubahan konfigurasi teras ini tentu memberikan pengaruh terhadap reaktivitas teras. Untuk menghindari terjadinya gangguan pada pengoperasian reaktor, maka perlu dilakukan analisis untuk menentukan apakah konfigurasi teras ke 65 dengan 8 unit pengarah target mampu dioperasikan dengan aman pada daya nominal 15 MW hingga mencapai energi standar 660 MWD. Analisis dilakukan berdasarkan hasil eksperimen dengan cara melakukan kalibrasi batang kendali pada kondisi teras reaktor tanpa/dengan pengarah target, sehingga diketahui nilai reaktivitas padam, reaktivitas lebih dan reaktivitas stuck rod pada kedua kondisi tersebut. Dengan menganalisis ketiga parameter tersebut dan membandingkannya dengan standar operasi reaktor pada daya 15 MW, energi 660 MWD, diharapkan dapat ditentukan apakah dengan pemasangan 8 unit pengarah target tersebut reaktor tetap dapat dioperasikan dengan aman sesuai rencana, atau perlu dilakukan beberapa perubahan.

TEORI

Kemampuan reaktor untuk beroperasi dengan aman sesuai yang direncanakan dapat dilihat dari neraca reaktivitas teras yang diperoleh dari hasil kalibrasi batang kendali.

Reaktivitas adalah besaran dari suatu reaktor yang membuat reaktor mempunyai

kemampuan dapat dikritiskan dan berdaya apabila persamaan (1) berikut dipenuhi;

Reaktivitas¹⁾:

$$\rho = \frac{\Delta k_{eff}}{k_{eff}} = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

ρ = Reaktivitas

k_{eff} = Konstanta multiplikasi efektif/faktor perlipatan efektif (perbandingan jumlah neutron pada suatu generasi dengan jumlah neutron pada generasi sebelumnya)

Nilai k_{eff} sangat bergantung dengan kondisi reaktor termasuk jumlah dan jenis elemen yang dimasukkan dalam teras reaktor. Elemen-elemen tersebut diantaranya meliputi elemen penyerap/elemen kendali yang memberikan pengaruh reaktivitas negatif, elemen bakar dan elemen reflektor yang memberikan pengaruh reaktivitas positif dan juga termasuk pengarah target dan target yang diiradiasi yang dapat memberikan pengaruh reaktivitas negatif atau positif. Semakin banyak elemen-elemen tersebut dimasukkan kedalam teras reaktor maka semakin besar pula pengaruhnya terhadap reaktivitas teras. Namun pada suatu reaktor nuklir tidak diizinkan memuat reaktor dengan elemen-elemen yang memberikan reaktivitas positif (terutama elemen bakar) dalam jumlah yang besar tanpa memperhatikan kemampuan batang kendali menyerap neutron hingga melewati batas keselamatan teras. Maka dari itu sebelum pembentukan konfigurasi teras baru selalu diawali dengan perhitungan manajemen teras dengan menggunakan program komputer (RSG-GAS menggunakan program IAFUEL). Setelah teras baru terbentuk dilakukan pengukuran dengan mengkalibrasi batang kendali untuk mendapatkan neraca reaktivitas. Neraca reaktivitas ini akan membuktikan apakah perhitungan dengan menggunakan program komputer tersebut di atas benar yaitu reaktor dapat dioperasikan secara aman pada daya dan energi sesuai yang direncanakan.

JF 02	JF 15	JF 51+85	JF 14	RS 1	RS 2	RS 3	RS 4	RS 5	JF 01	1
JF 05	JF 52+84	JF 17	JF 37+73	JF 32	JF 34	JF 36	JF 37	JF 11	PT	2
JF 60+83	JF 04	JF 19	JF 40	FE RI 431	FE RI 419	FERI 408	FERI 438	JF 06	JF 03	3
JF 08	JF 24	FE RI 428	FE RI 398	FE RI 390	JD 108	JDA07 RI 402	FE RI 418	FE RI 410	FE RI 422	4
JF 13	JF 23	FE RI 406	FE RI 397	JDA04 RI 425	FE RI 400	FE RI 411	JDA05 RI 415	FE RI 386	FE RI 414	5
JF 20	JF 21	FE RI 409	JDA02 RI 393	FE RI 387	PT	PT	FE RI 403	PT	FE RI 405	6
P R T F		FE RI 407	PT	FE RI 401	PT	PT	FE RI 389	JDA08 RI 392	FE RI 412	7
JF 30	JF 32	FE RI 423	FE RI 388	JDA03 RI 416	FE RI 413	FE RI 385	JDA06 RI 426	FE RI 384	FE RI 395	8
JF 29	JF 58+72	FE RI 432	FE RI 420	FE RI 421	JDA01 RI 394	JD 102	FE RI 390	FE RI 399	FE RI 420	9
JF 59+71	JF 28	PT	JF16	FE RI 427	FE RI 417	FE RI 404	FE RI 424	JF 54+NS	JF10	10
K J H G F E D C B A										

Gambar 1. Konfigurasi Awal Teras RSG-GAS Siklus Operasi ke 65

Catatan: PT :Pengarah Target, FE :Elemen Bakar, JF : Elemen Reflektor, JD : Elemen Dummy

Dari kalibrasi batang kendali yang dilakukan diperoleh neraca reaktivitas yang terdiri dari reaktivitas total, reaktivitas lebih, reaktivitas padam dan reaktivitas stuck rod. Reaktivitas total, reaktivitas lebih, dan reaktivitas padam diperoleh dengan menjumlahkan semua batang kendali yang telah terkalibrasi sehingga seolah-olah menjadi 1 unit batang kendali dengan kapasitas besar. Sedang reaktivitas stuck rod diperoleh dari pengurangan reaktivitas padam

teras dengan reaktivitas batang kendali yang mempunyai nilai terbesar.

Agar RSG-GAS mampu dioperasikan dengan aman pada daya dan energi tertentu maka reaktor harus mempunyai reaktivitas lebih yang cukup (Lihat Tabel 1) dan mempunyai margin keselamatan *stuck rod* minimal 0,5 %²¹.

$$\text{Reaktivitas lebih } (\rho_l) = \rho_t - \rho_p \dots\dots\dots (2)$$

di mana: ρ_t = Reaktivitas total

ρ_p = Reaktivitas padam

Tabel 1. Neraca penggunaan reaktivitas lebih

Penggunaan reaktivitas lebih	30 MW, 750 MWD ^{*)}	15 MW, 660 MWD ^{**)}
Suhu (%)	0,3	0,3
Racun Xenon dll. (%)	3,5	2,6
Burn-up (%)	3	2,4
Ekperimen (%)	2	2
Beam Tube (%)	0,4	0,3
Reaktivitas lebih minimum (%)	9,2	7,6

Catatan : *) LAK RSG-GAS

**) Hasil percobaan, perhitungan dan ekstrapolasi.

Dengan cara seperti yang dikemukakan di atas maka dapat ditentukan pengaruh pemasangan pengarah target iradiasi yaitu dengan menentukan neraca reaktivitas pada kondisi teras tanpa pengarah target dan neraca reaktivitas pada kondisi teras reaktor ada pengarah target. Selanjutnya neraca reaktivitas ini dibandingkan dengan nilai standar pola operasi 15MW, 660 MWD, terutama untuk nilai reaktivitas lebih dan reaktivitas *stuck rod*.

TATA KERJA

Kegiatan ini dimulai dengan mengkalibrasi 8 unit batang kendali pada konfigurasi teras ke 65 tanpa pengarah target, dan menentukan posisi batang kendali pada kondisi kritis daya rendah bebas sumber. RSG-GAS mempunyai 8 unit batang kendali yang dikalibrasi satu persatu dengan metode kompensasi berpasangan. Setelah diperoleh harga reaktivitas masing-masing batang kendali, dengan metode regresi/ekstrapolasi dibuat kurva hasil kalibrasi konfigurasi teras 65 (Lihat Gambar 2). Kurva ini merupakan penjumlahan dari harga masing-masing batang kendali tersebut. Dengan memasukkan nilai posisi kritis bebas sumber pada absis kurva maka pada ordinat kurva dapat ditentukan nilai reaktivitas lebih dan reaktivitas padam. Sedang reaktivitas stuck

rod diperoleh dengan mengurangi nilai reaktivitas padam dengan reaktivitas satu batang kendali yang mempunyai harga terbesar. Reaktivitas lebih digunakan sebagai acuan apakah reaktor mampu dioperasikan dengan energi sesuai rencana 660 MWD. Sedang reaktivitas stuck rod digunakan sebagai acuan untuk menentukan margin keselamatan yang cukup, yaitu $\geq 0,5$ % meskipun satu batang kendali yang mempunyai reaktivitas terbesar macet/*stuck*, tidak dapat masuk ke dalam teras reaktor.

Setelah kegiatan di atas selesai dilakukan dengan cara yang sama dilakukan kalibrasi batang kendali untuk menentukan neraca reaktivitas konfigurasi teras 65 dengan 8 unit pengarah target di dalam teras.

Setelah kedua kegiatan tersebut dianalisis dengan cara membandingkan nilai reaktivitas lebih dan nilai reaktivitas stuck rod dari hasil yang diperoleh terhadap nilai standar seperti yang terlihat pada Tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kalibrasi batang kendali konfigurasi teras 65³¹ tanpa pengarah target ditunjukkan pada Tabel 2, dan hasil kalibrasi batang kendali konfigurasi teras 65 dengan pengarah target ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Batang Kendali konfigurasi Teras 65 Tanpa Pengarah Target

JDA 01		JDA 02		JDA 03		JDA 04	
Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)
0	0	0	0	0	0	0	0
54	5,5	46	5	84	11	72	12,1
137	25,75	124	25	149	31	135	32,1
191	45,75	174	45,5	193	51	180	52,3
236	65,75	215	65,5	231	71,5	213	69,3
280	86,25	255	85,5	265	92	250	89,3
325	106,25	294	106	299	112,5	286	109,3
371	126,25	334	126	332	133	325	129,8
420	146	377	146	366	153,25	365	150,3
476	165,5	423	166	402	174,25	409	170,8
555	185	475	185,5	445	194,25	459	191,2
600	192,5	543	205	485	215,25	522	211,6
		600	215,5	537	235,25	600	162,2
				600	250,25		

JDA 05		JDA 06		JDA 07		JDA 08	
Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)
0	0	0	0	0	0	0	0
94	15,5	94	13	56	5	48	4,2
153	36	156	32,5	131	25	136	24,2
196	55,5	204	52,5	177	46	195	44,3
232	75	246	72,5	213	66,5	246	64,4
268	94,75	288	93	246	87,5	298	84,6
302	114,5	332	113	277	108	354	105,1
339	134,5	380	133,25	308	128	415	124,3
378	154,5	433	153,5	340	149	488	145
421	175	504	174,5	371	169	600	162,2
468	195	600	189	406	190		
527	215,25			443	210		
600	230,75			486	230,25		
				537	250		
				600	263,25		

Catatan:

1. JDA 01, JDA 02JDA 08 : Kode nomor urut batang kendali dari nomor 1 hingga nomor 8
2. Posisi batang kendali saat kritis pada daya rendah bebas sumber : 274 mm.
3. Reaktivitas batang kendali total (ρ_i) tanpa pengarah target adalah penjumlahan dari 8 batang kendali = 1729,05 sen \$.

Tabel 3. Hasil Kalibrasi Batang Kendali konfigurasi Teras 65 dengan 8 Pengarah Target di dalam teras reaktor.

JDA 01		JDA 02		JDA 03		JDA 04	
Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)
0	0	0	0	0	0	0	0
51	5	49	5	84	9,25	60	8,1
137	25	128	24,5	152	29	125	25,9
190	45	178	44	196	48,75	173	45,9
233	64,5	218	63,5	233	68,5	212	65,6
273	84	258	83	266	88	249	85,3
314	103,75	294	102,5	299	107,75	286	105,3
357	123,25	333	122	332	127,75	322	124,8
405	143,25	374	141,2	366	148	361	144,8
456	162,25	417	160,2	402	168,5	404	164,8
521	181,5	468	179,2	441	188,5	454	184,8
600	194,75	532	197,2	484	208,75	516	204,8
		600	210,2	536	228,5	600	219,8
				600	243,5		

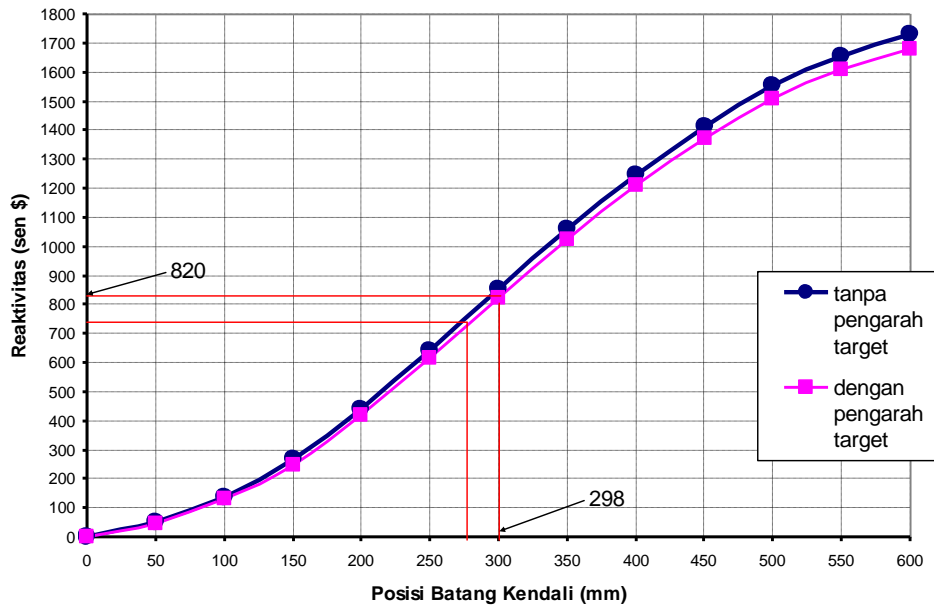
JDA 05		JDA 06		JDA 07		JDA 08	
Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)	Posisi (mm)	Reaktivitas (sen \$)
0	0	0	0	0	0	0	0
67	9,5	89	11,5	60	5	56	5
144	30,5	156	30,5	136	34,75	143	24,5
189	50	204	49,5	182	45	204	44
227	69,75	247	69,5	220	65,5	257	63,5
262	89	287	89,5	253	86,25	310	83
299	109	331	109,5	284	106,25	368	102,5
336	129	378	129,5	316	126,5	434	121,8
375	149	431	149,5	348	146,25	523	141,5
417	169	500	169	381	166	600	151
465	189	600	184	416	185,5		
525	209			456	205,5		
600	224			505	225,25		
				562	243		
				600	250		

Catatan:

1. JDA 01, JDA 02JDA 08 : Kode nomor urut batang kendali dari nomor 1 hingga nomor 8
2. Posisi batang kendali saat kritis pada daya rendah bebas sumber : 298 mm.
3. Reaktivitas batang kendali total (ρ_c) dengan pengarah target adalah penjumlahan dari 8 batang kendali = 1677,25 sen \$ = 16,7725 \$.

Dari data hasil kalibrasi batang kendali konfigurasi teras 65 di atas, dengan menggunakan program regresi/ekstrapolasi dapat dibuat kurva hasil kalibrasi batang kendali total seperti yang terlihat pada

Gambar 2. Kurva ini merupakan penjumlahan nilai reaktivitas 8 unit batang kendali yang dimiliki teras RSG-GAS, baik pada kondisi teras reaktor tanpa pengarah target maupun dengan 8 buah pengarah target.



Gambar 1. Hasil Kalibrasi Batang Kendali Konfigurasi Teras 65 dengan/tanpa Pengarah Target

Dari kurva hasil kalibrasi ini dan posisi batang kendali pada saat reaktor kritis daya rendah bebas sumber dapat ditentukan nilai reaktivitas padam, reaktivitas lebih dan reaktivitas stuck rod sebagai berikut⁴¹ :

Dari kurva hasil kalibrasi batang kendali konfigurasi teras 65 dengan 8 unit pengarah target berada di dalam teras reaktor, dimasukkan pada absis nilai posisi batang kendali saat reaktor kritis daya rendah bebas sumber 298 mm, sehingga di peroleh harga reaktivitas padam pada ordinat kurva sebesar 820 sen\$ = 8,20 \$.

Dengan memasukkan harga reaktivitas total (ρ_t) dan reaktivitas padam (ρ_p) pada persamaan (2) diperoleh reaktivitas lebih:

$$\rho_l = 16,7725 \$ - 8,20 \$ = 8,5725 \$$$

Karena RSG-GAS mempunyai nilai fraksi neutron kasip $\beta = 0.765\%^{11}$ maka diperoleh :

- Reaktivitas Lebih ρ_l : $(8,5725 \times 0,765) \% = 6,56 \%$
- Reaktivitas Padam ρ_p : $(8,20 \times 0,765) \% = 6,27 \%$
- Reaktivitas Stuck Rod ρ_{SR} : Reaktivitas padam – Reaktivitas batang kendali terbesar (JDA 07 = 250 sen\$ = 2,5 \$) = $6,273 \% - (2,5 \times 0,765) \% = 4,36 \%$

Dengan cara yang sama pada kondisi teras reaktor tanpa pengarah target dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai reaktivitas padam, reaktivitas lebih dan reaktivitas stuck rod. Dengan memasukkan nilai posisi kritis batang kendali saat reaktor beroperasi daya rendah bebas sumber 274 mm pada absis kurva hasil kalibrasi batang kendali tanpa pengarah target, maka diperoleh :

- Reaktivitas Lebih ρ_l = 7,56 %
- Reaktivitas Padam ρ_p = 5,66 %

- Reaktivitas Stuck Rod $\rho_{SR} = 3,65 \%$

Dua parameter yang digunakan RSG-GAS untuk mengoperasikan reaktor pada daya 15 MW dengan aman hingga mampu mencapai energi 660 MWD, adalah nilai reaktivitas stuck rod harus lebih besar dari 0,5 % dan mempunyai reaktivitas lebih minimum 7,60 %.(lihat Tabel 1).

Untuk kondisi teras reaktor tanpa pengaruh target tidak ada masalah berarti yang perlu dibahas karena pada kondisi ini teras reaktor mempunyai reaktivitas lebih teras hampir sama dengan reaktivitas lebih standar (7,60 %) yaitu 7,56 %, dan reaktivitas stuck rod jauh lebih besar dari 0,5 %. Namun untuk kondisi 8 pengaruh target ada di dalam teras, meskipun teras mempunyai reaktivitas stuck rod cukup besar tetapi hanya mempunyai reaktivitas lebih teras dengan nilai jauh lebih kecil dari 7,60 %, yaitu 6,56 %. Ini berarti pada kondisi ini reaktor tidak mampu dioperasikan hingga mencapai energi 660 MWD meskipun semua batang kendali sudah mencapai posisi 600 mm. Pada kondisi ini dengan asumsi seluruh target/eksperimen yang ada didalam teras mempunyai nilai reaktivitas negatif maksimum (2 %), reaktor hanya mampu dioperasikan hingga energi $\frac{2,4 - (7,6 - 6,58)}{2,4} \times 660 = 374 \text{ MWD}$.

Agar reaktor dapat dioperasikan hingga energi 660 MWD ada cara pemecahannya yaitu :

1. Batas akumulasi reaktivitas negatif yang diizinkan untuk iradiasi seluruh target/eksperimen di dalam teras reaktor diturunkan dari maksimum 2 % menjadi $2\% - (7,60 - 6,56)\% = 0,96 \%$.
2. Mengeluarkan beberapa pengaruh target yang tidak/belum digunakan terutama pada posisi elemen reflektor yaitu posisi H-10 dan A-2, kemudian mengembalikan elemen reflektor ke posisi tersebut. Cara ini telah dilakukan pada siklus operasi 65, dari pengukuran diperoleh posisi kritis batang kendali daya rendah bebas sumber

adalah 285 mm. Dengan cara seperti tersebut di atas diperoleh :

- Reaktivitas Lebih $\rho_l = 7,18 \%$
- Reaktivitas Padam $\rho_p = 6,05 \%$
- Reaktivitas Stuck Rod $\rho_{SR} = 4,03 \%$

Dengan hasil perolehan seperti tersebut di atas diharapkan reaktor dapat dioperasikan dengan aman hingga mencapai energi 660 MWD dengan menurunkan batas nilai reaktivitas negatif seluruh target/eksperimen di dalam teras reaktor sebesar $2\% - (7,600 - 7,18)\% = 1,58 \%$, dari nilai batas sebelumnya sebesar 2 %.

KESIMPULAN

Dengan uraian yang dikemukakan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemasangan 8 unit pengaruh target pada awal siklus operasi ke 65 memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap reaktivitas teras, dengan asumsi seluruh target/eksperimen mempunyai reaktivitas negatif maksimum (2%), reaktor hanya mampu dioperasikan pada daya nominal 15 MW hingga energi 374 MWD.
2. Agar reaktor mampu dioperasikan hingga energi 660 MWD pengaruh target pada posisi teras H-10 dan A-2 kembali diganti dengan elemen reflektor, dan membatasi nilai reaktivitas negatif seluruh target/eksperimen di dalam teras reaktor tidak melebihi 1,56 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. KUN SUTIASO ONTOWIRYO, "Kalibrasi Batang Kendali", Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor RSG-GAS. Jakarta 1992.
2. Anonim, "RSG-GAS Safety Analysis Report", revisi 8. Jakarta Th.1999.
3. Anonim, "Buku Induk Operasi RSG-GAS No.240 -242". Jakarta Th.2008.
4. IMAN KUNTORO, Diktat Fisika Reaktor "Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor RSG-GAS". Jakarta Th.1989.