

## EVALUASI OPERASI REAKTOR G.A SIWABESSY KONFIGURASI TERAS LXIII

Slamet Wiranto

### ABSTRAK

**EVALUASI OPERASI REAKTOR GA. SIWABESSY KONFIGURASI TERAS LXIII.** Telah dilaksanakan operasi reaktor GA Siwabessy teras LXIII yang berlangsung mulai tanggal 21 Desember 2007 s/d 26 Maret 2008. Sebagai bahan masukan untuk kelancaran dan keselamatan operasi reaktor berikutnya perlu dilakukan evaluasi terhadap operasi reaktor yang telah lalu. Evaluasi dilakukan melalui pengamatan, pembahasan dan analisis terhadap jalannya operasi reaktor, mulai dari pembentukan konfigurasi teras awal, operasi daya rendah, operasi daya tinggi dan penggunaan reaktor serta gangguan-gangguan yang timbul pada saat pengoperasian reaktor. Reaktor dengan konfigurasi teras LXIII telah dioperasikan dengan energi sebesar 657,9217 MWD, digunakan untuk melayani iradiasi target sebanyak 45 permohonan, penyediaan neutron tabung berkas PTBIN dan uji panas absorber baru AgInCd No.10. Gangguan scram/penurunan daya terjadi 8 kali dan gangguan yang terjadi pada sistem bantu reaktor sebanyak 66 kali, namun hampir semua gangguan tersebut dapat kembali dinormalkan. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa meskipun terjadi beberapa gangguan, operasi reaktor dengan konfigurasi teras LXIII dapat berlangsung dengan baik dan selamat sesuai dengan target yang diberikan.

### ABSTRACT

*THE EVALUATION OF RSG-GAS OPERATION OF LXIII CORE CONFIGURATION. The RSG-GAS operation cycles of number LXIII have been operated at December 21<sup>st</sup> 2007 to March 26<sup>th</sup> 2008. This evaluation is used to support the next operation cycles, so that the next operation cycles can be held safely and successfully. The evaluation was carried out through surveillances and analysis about the process of reactor operation, which were begun from establishment the beginning working core, low power operations, high power operations, reactor utility and the reactor disturbances. The LXIII core configuration has reach energy 657,921 MWD. It was used to 43 targets irradiations, supplied neutrons to PTBIN beam tubes facility, and to hot test of the new No.10 AgInCd absorber. The disturbances of reactor operation are 8 time and the disturbances of auxiliary system are 66 time. The most of them have been successful normalized. In general have been concluded although there found several disturbances, the LXIII core configuration operation has been operated safely and fit to schedule operation.*

### PENDAHULUAN

Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) mempunyai tugas mengoperasikan reaktor serba guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) sesuai target yang diberikan oleh pimpinan badan tenaga nuklir nasional (BATAN) dengan aman dan selamat. Kunci sukses tugas ini bergantung pada kualitas sumber daya manusia yaitu personil operasi reaktor apakah cukup cakap, terlatih, berdisiplin dan berdedikasi tinggi dalam pengoperasian reaktor. Di samping itu mempelajari pengalaman operasi yang telah lalu juga merupakan penunjang yang sangat penting sebagai umpan balik untuk meningkatkan unjuk kerja pengoperasian reaktor. Maka dari itu perlu dilakukan evaluasi terhadap kinerja operasi reaktor beserta sistem bantunya dari setiap siklus operasi yang telah dilakukan secara berkesinambungan.

### TEORI

Dalam satu siklus operasi misalnya siklus operasi dengan konfigurasi teras teras LXIII diperlukan beberapa kegiatan agar reaktor dapat dioperasikan dengan aman sesuai target yang ditentukan. Kegiatan tersebut meliputi :

#### **Pembentukan konfigurasi teras awal**

Secara umum sebelum pelaksanaan pembentukan teras terlebih dahulu dilakukan perhitungan konfigurasi teras menggunakan *Code Computer* program IAFUEL. Perhitungan meliputi kalkulasi awal pemuatan elemen-elemen bakar sampai mencapai kondisi kritis dan memperoleh reaktivitas lebih yang cukup untuk satu siklus operasi reaktor teras tertentu dengan benar dan aman. Penggantian konfigurasi teras dilakukan apabila reaktivitas lebih dari suatu konfigurasi teras telah habis atau 5 elemen bakar dan 1 elemen kontrol telah mencapai burn-up maksimum (56%).<sup>1)</sup> Untuk memperoleh distribusi fluks neutron yang relatif

merata selain dilakukan penggantian elemen bakar dan elemen kontrol diperlukan pula reshuffling elemen bakar/elemen kontrol yaitu menempatkan elemen bakar dengan burn-up besar pada posisi teras bagian dalam dan bahan bakar baru berada di tepi teras reaktor. Sebelum melakukan penggantian elemen kontrol terlebih dahulu dikeluarkan beberapa elemen bakar untuk menghindari terjadinya kekritisan pada saat 1 s/d 2 elemen kendali diangkat keluar teras. Pelaksanaan kegiatan ini dilakukan sesuai perintah tertulis berupa Surat Perintah Pemindahan Elemen Teras (PPET) dan selalu diawasi oleh personil dari Subid Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS.

#### **Pengukuran waktu jatuh batang kendali**

Pengukuran waktu jatuh batang kendali harus dilakukan setelah selesai kegiatan perakitan unit batang kendali, pada setiap selesai terbentuk teras operasi baru (awal siklus teras baru). Apabila ditemukan waktu jatuh lebih lama dari harga yang ditentukan (untuk 80% tinggi batang secara individual tidak boleh melebihi 0,47 detik dan secara rerata seluruh batang kendali tidak boleh melebihi 0,4 detik<sup>1)</sup>), maka dilakukan pengecekan ulang pada unit batang kendali tersebut, sehingga penyebabnya dapat diketahui dan dilakukan perbaikan seperlunya. Pada akhir perbaikan dilakukan pengukuran waktu jatuh terhadap batang kendali tersebut. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa batang kendali mampu memadamkan reaktor dengan cepat dan aman, dan untuk mengetahui apakah batang kendali yang berbentuk garpu masih dalam kondisi baik tidak terjadi pembengkokan maupun penggembungan.

#### **Percobaan kekritisan**

Percobaan kekritisan dilakukan untuk memperoleh masa kritis teras. Dengan percobaan ini pula dapat diketahui jumlah elemen bakar yang diperlukan secara empiris untuk mencapai kritis pertama pada teras tertentu. Masa kritis ini digunakan pula sebagai pedoman saat penggantian/perbaikan elemen kendali yaitu elemen kendali hanya boleh dikeluarkan dari teras reaktor apabila elemen bakar di dalam teras reaktor tinggal sebesar masa kritisnya dikurangi 2 buah elemen bakar<sup>2)</sup>

#### **Pemuatan reaktivitas lebih**

Tujuannya adalah untuk mendapatkan reaktivitas lebih yang cukup untuk satu siklus operasi pada teras tertentu dengan tetap mengindahkan harga batas pemadaman (*shutdown margin*). Pemuatan dilakukan dengan mengisi penuh seluruh posisi elemen bakar di dalam teras reaktor, setelah melakukan pengukuran *stuck rod margin* yaitu dengan menaikkan 1 buah kontrol *rod* yang mempunyai nilai reaktivitas terbesar, untuk meyakinkan bahwa reaktor tetap dalam kondisi subkritis meskipun terdapat 1 buah kontrol *rod* dengan

nilai reaktivitas terbesar gagal masuk ke dalam teras reaktor.

#### **Kalibrasi batang kendali**

Setelah teras baru terbentuk kegiatan percobaan pertama yang dilakukan adalah kalibrasi batang kendali untuk mengetahui harga reaktivitas setiap batang kendali. Dari hasil kalibrasi batang kendali dapat ditentukan neraca reaktivitas teras yang meliputi : Reaktivitas masing-masing batang kendali Reaktivitas total batang kendali, Reaktivitas padam teras, Reaktivitas lebih teras, dan Reaktivitas pada kondisi *stuck Rod*, Dari hasil kalibrasi batang kendali ini dapat disimpulkan apakah reaktor dapat dioperasikan dengan aman sesuai target, atau perlu ditinjau ulang apabila hasil pengukuran ini berbeda jauh dengan hasil perhitungan dengan program komputer.

#### **Operasi daya tinggi**

Dalam siklus operasi satu konfigurasi teras dilakukan 6 s/d 8 kali kegiatan operasi reaktor daya tinggi yang jadualnya telah diatur dan disampaikan ke pengguna reaktor jauh sebelum pelaksanaan operasi reaktor dilaksanakan. Total energi yang dibangkitkan  $\pm 660$  MWD dengan durasi waktu  $\pm 3,5$  bulan, digunakan untuk iradiasi target, pelayanan penyediaan neutron PTBIN, pewarnaan batu topaz, iradiasi sampel untuk NAA dan keperluan lain untuk penelitian.

#### **Kalibrasi daya reaktor**

Sebelum dilakukan operasi reaktor pada daya tinggi terlebih dahulu dilakukan kalibrasi daya reaktor untuk menentukan faktor konversi pada meter-meter ukur daya reaktor pada panel. Kalibrasi daya di dilakukan sesuai dengan kondisi lingkungan teras yang sangat dipengaruhi oleh keberadaan target di dalam teras dan posisi batang kendali, sehingga dalam satu siklus operasi daya tinggi sering dilakukan beberapa kali kalibrasi daya.

### **TATA CARA**

Untuk memudahkan evaluasi siklus operasi reaktor konfigurasi teras LXIII berturut-turut disajikan kegiatan operasi reaktor mulai dari pembentukan konfigurasi teras awal, pengukuran waktu jatuh batang kendali, percobaan kekritisan, pemuatan reaktivitas lebih, kalibrasi batang kendali, kalibrasi daya reaktor, operasi daya tinggi, gangguan yang timbul selama siklus operasi reaktor baik gangguan pada reaktor maupun gangguan yang timbul pada sistem-sistem penunjang, dan hasil yang diperoleh selama operasi reaktor berikut target-target iradiasi yang telah berhasil diiradiasi. Setelah itu dilakukan kajian dan pembahasan masalah dengan cara membandingkannya dengan bahan acuan/literatur-literatur termasuk prosedur dan batas kondisi operasi (BKO) yang

terdapat dalam laporan analisis keselamatan (LAK) yang berlaku di RSG-GAS. Dari kegiatan tersebut diharapkan diperoleh kesimpulan pada siklus operasi teras LXIII dan dapat memberikan saran sebagai umpan balik pada operasi reaktor berikutnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pembentukan teras awal

Sesuai instruksi pada perintah pemindahan elemen teras (PPET) No.: TRR.OR.03.02.42/01/63/2007, pembentukan teras awal tanggal 21- 26 Desember 2007, dimulai dengan pembongkaran konfigurasi teras LXII, yaitu dengan mengeluarkan 5 buah elemen bakar FE RI-373, FE RI-3369, FE RI-371, FE RI-370, FE RI-372 dari posisi teras G8, B8, B5, D8, F6 ke rak penyimpanan elemen bakar bekas di kolam JAA02, kemudian mengeluarkan 16 elemen bakar dari teras reaktor ke rak *intermediate*, dan membongkar 1 elemen kontrol CERI-366. Setelah itu dilakukan *reshuffling* dengan mengatur posisi 18 elemen bakar di dalam teras reaktor. dan memasukkan kembali 1 elemen kontrol baru. Kegiatan berikutnya adalah *reshuffling* 1 elemen bakar dan memasukkan 9 elemen bakar ke dalam teras reaktor termasuk 1 elemen bakar baru, sehingga terbentuklah konfigurasi awal teras LXIII.

Pada tahap ini telah dimasukkan satu buah elemen bakar baru FERI-414 ke posisi teras H-4 dan mengganti elemen kontrol CE RI-366 dengan CE-RI-416, dan Absorber No. 02 diganti dengan absorber uji/baru buatan PT BATEK No.10, yang dimasukkan ke posisi teras C-8. Sebelum penggantian, pada absorber No.10 terdapat 3 bercak putih pada sisi luar garpu kanan dan satu bercak putih memanjang pada sisi luar garpu sebelah kiri, setelah diperiksa dan dibersihkan dengan kain majun diputuskan bahwa absorber No.10 layak digunakan. Secara keseluruhan jumlah elemen bakar yang dimasukkan dalam teras awal sebanyak 28 buah.

Kegiatan tersebut di atas meliputi pembongkaran konfigurasi teras lama (no. LXII), pembentukan konfigurasi teras baru awal, terdiri dari 58 langkah load/unload elemen teras dari/ke teras reaktor untuk mengganti elemen bakar/elemen kontrol yang telah habis masa operasinya ( $\pm 56\%$  *burn-up*) dan untuk mendapatkan distribusi fluks neutron teras reaktor yang relatif rata. Semua langkah dituangkan dalam formulir PPET berupa perintah dari kabit operasi reaktor, disetujui kasubid keselamatan operasi dan Ka. PRSG. Pelaksanaannya dilakukan oleh operator reaktor diawasi oleh supervisor reaktor dan pengawas independen dari subid keselamatan operasi di bawah koordinasi kasubid pelaksanaan operasi. Setiap elemen bakar yang akan dimasukkan ke teras reaktor harus dicek

nomor dan kondisi fisiknya serta kebenaran posisinya di dalam teras reaktor. Dalam kegiatan pembentukan konfigurasi teras LXIII ini semua kegiatan dapat dilaksanakan sesuai prosedur, tepat waktu tanpa hambatan yang berarti.

Demikian pula pada pemeriksaan absorber uji AgInCd no. 10 secara visual kondisinya cukup baik meskipun sebelumnya terdapat bercak-bercak putih pasca iradiasi di posisi teras H-10, namun dapat dibersihkan dan mempunyai waktu jatuh merata 395,1 ms, jauh dibawah batas maksimal 470 ms. Dari hasil kalibrasi batang kendali diperoleh harga reaktivitas 1,669 \$, harga ini tidak berbeda jauh dari perhitungan dan hasil kalibrasi teras-teras sebelumnya. Hal ini memberikan indikator bahwa absorber No. 10 dalam kondisi baik memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan penyerap neutron RSG-GAS.

### Pengukuran waktu jatuh batang kendali

Hasil pengukuran waktu jatuh batang kendali dilakukan tanggal 27 desember 2007 dengan hasil sebagai berikut: JAD01 = 362 ms, JDA02 = 366 ms, JDA03 = 381 ms, JDA04 = 362 ms, JDA05 = 352 ms, JDA06 = 396 ms, JDA07 = 361 ms, dan JDA08 = 367 ms

Dari hasil pengukuran waktu jatuh semua batang kendali RSG-GAS (8 buah), diperoleh hasil < 400 ms. Hal ini memberikan indikator bahwa semua unit batang kendali masih dalam kondisi baik tanpa mengalami pembengkokan maupun penggembungan sehingga dijamin mampu mematikan reaktor dengan cepat sesuai persyaratan.

### Percobaan Kekritisian

Pada percobaan kekritisian dilakukan pemuatan elemen bakar sebanyak 5 buah sekaligus, hal ini dilakukan dengan mengacu pada pengalaman percobaan kekritisian pada konfigurasi-konfigurasi teras sebelumnya. Dari 5 buah elemen bakar tersebut ada 2 buah elemen bakar baru yaitu RI-417 dan RI-418 masing-masing pada posisi A-9 (I) dan C-3 (I). Jumlah elemen bakar yang masuk teras reaktor sebanyak 33 buah. Reaktor kritis awal pada daya JKT04 =  $1 \times 10^{-8}$  A dan posisi batang kendali *Bank* = 600 mm, *Regulating Rod* = 246 mm. Kritis bebas sumber pada JKT04 =  $2,5 \times 10^{-8}$  A dengan posisi posisi batang kendali *Bank* = 600 mm, *Regulating Rod* = 247 mm. Reaktivitas lebih pada kondisi ini (247-600 mm) adalah 2,056 \$.

Dari hasil ini disimpulkan bahwa kondisi kritis reaktor teras 63 tercapai dengan memasukkan 8 elemen kontrol dan 33 elemen bakar dengan sisa reaktivitas lebih teras sebesar 2,056 \$. Reaktivitas lebih sebesar ini tentu tidak mencukupi untuk operasi reaktor selama

satu siklus, maka perlu dilakukan pemuatan elemen bakar untuk menaikkan nilai reaktivitas lebih reaktor .

**Pemuatan reaktivitas lebih teras LXIII**

Pemuatan reaktivitas lebih teras LXIII dengan memasukkan 7 buah elemen bakar termasuk 2 buah elemen bakar baru, yaitu RI-419 dan RI-420 masing-masing pada posisi F-3 (I) dan H-9 (I). Dengan telah selesainya pemuatan reaktivitas lebih teras konfigurasi teras LXIII maka telah terbentuk

konfigurasi baru yaitu konfigurasi teras LXIII penuh, dengan jumlah elemen bakar pada sebanyak 40 buah dan elemen kontrol sebanyak 8 buah, seperti terlihat pada Gambar 1<sup>3)</sup>. Setelah selesai pemuatan reaktivitas lebih dilakukan pengamatan *stuck rod*, yaitu dengan menaikkan batang kendali yang diperkirakan mempunyai reaktivitas terbesar yaitu JDA07 sampai dengan 600 mm dan dilakukan pengamatan parameter reaktor.

JF	JF 1	JF 51+8	JF	RS	RS	RS	RS	RS	JF	1
JF	JF 52+8	JF	JF 37+7	JF	JF	JF	JF	JF	JF 56+7	2
JF 60+8	JF	JF	JF	FE 419	FE 407	FER 397	FER 418	JF	JF	3
JF	JF	FE 414	FE 384	FE 382	J 10	JDA0 RI 393	FE 406	FE 399	FE 410	4
JF	JF	FE 395	FE 383	JDA0 RI 415	FE 386	FE 400	JDA0 RI 394	FE 376	FE 404	5
JF	JF	FE 398	JDA0 RI 391	FE 377	J 10	J 10	FE 388	J 10	FE 390	6
P R T F	FE 396	JD 10	FE 387	J 10	J 10	FE 379	JDA0 RI 367	FE 401		7
JF	JF	FE 411	FE 378	JDA0 RI 402	FE 403	FE 375	JDA0 RI 416	FE 374	FE 381	8
JF	J 58 72	FE 420	FE 408	FE 409	JDA0 RI 392	J 10	FE 380	FE 385	FE 417	9
J 59+7	JF	JF2	JF1	FE 413	FE 405	FE 389	FE 412	J 54+N	JF1	1
K	J	H	G	F	E	D	C	B	A	

Gambar 1 : KonfigurasiII Teras LXIII Penuh,

Berdasarkan pengalaman siklus operasi sebelumnya pemuatan reaktivitas lebih teras dilakukan dengan memasukkan sekaligus 7 elemen bakar ke dalam teras reaktor, sehingga teras reaktor telah terisi penuh dengan 40 elemen bakar dan 8 elemen kontrol. Yang terpenting dalam kegiatan ini diperoleh jaminan bahwa dalam kondisi teras penuh dan satu batang kendali berada di luar teras (misal *stuck/macet*) reaktor masih dalam kondisi subkritis dengan margin keselamatan minimum 0.5 %<sup>1)</sup>. Sebagai langkah awal setelah teras 63 penuh terbentuk, harus dinaikkan satu batang kendali yang mempunyai reaktivitas terbesar yaitu JDA 07 (2,220 \$) ke posisi teratas (*fully up*). Dan diamati apakah reaktor dalam kondisi subkritis.

Penentuan harga margin keselamatan stuck rod konfigurasi teras LXIII (min 0,5 %), diketahui setelah dilakukan analisis hasil kalibrasi batang kendali.

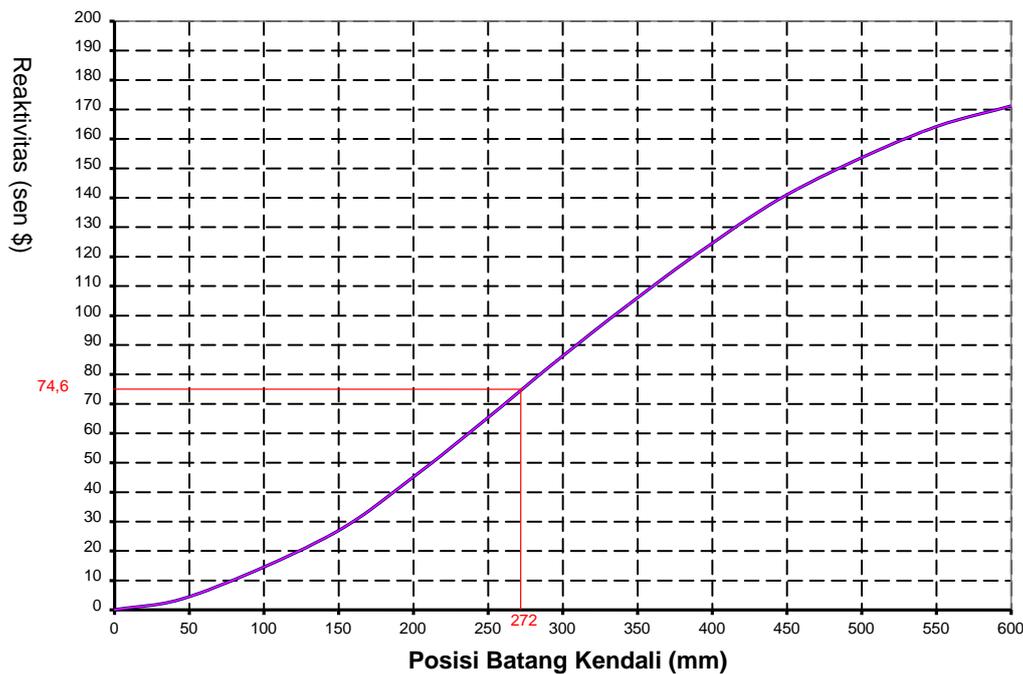
**Kalibrasi Batang Kendali**

Kalibrasi batang kendali dilakukan pada daya rendah bebas sumber neutron dengan metode berseberangan, yaitu JAD01 vs JAD05, JAD02 vs JAD06, JAD03 vs JAD07, dan JAD04 vs JAD08 Adapun hasil kalibrasi kendali adalah sebagai berikut: JAD01 = 1,713 \$, JDA02 = 1,903 \$ JDA03 = 2,198 \$, JDA04 = 2,130 \$, JDA05 = 2,090 \$, JDA06 =1,669 \$, JDA07 = 2,220 \$, dan JDA08 =

1,565 \$. Reaktivitas batang kendali total = 15,488 \$. Posisi batang kendali *all-bank* pada daerah bebas sumber neutron = 272 mm.

Telah diperoleh hasil kalibrasi masing-masing 8 batang kendali RSG-GAS. Dari hasil ini setelah diketahui posisi kritis batang kendali pada daya rendah bebas sumber (274 mm), dapat ditentukan neraca reaktivitas batang kendali yaitu nilai-nilai reaktivitas total, reaktivitas lebih, reaktivitas padam dan reaktivitas stuck rod. Reaktivitas total, reaktivitas lebih, dan reaktivitas padam teras LXIII diperoleh dengan

menjumlahkan 8 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, Sebagai contoh<sup>4)</sup> dijelaskan disini bagaimana memperoleh harga-harga reaktivitas padam dan reaktivitas lebih untuk satu batang kendali (misal JDA 01) dengan pertolongan Gambar 2. Kurva hasil kalibrasi JDA 01 sebagai berikut



Gambar 2. Hasil Kalibrasi Batang Kendali JDA 01 Teras LXIII

Dari kurva kalibrasi JDA 01 dimasukkan pada absis nilai posisi batang kendali saat reaktor kritis daya rendah bebas sumber 272 mm, sehingga di peroleh harga reaktivitas padam JDA 01 pada ordinat kurva sebesar 74,6 sen\$. Reaktivitas lebih JDA01 ( $\rho_l$ ) =  $\rho_t - \rho_p$   
di mana:  
 $\rho_t$  = Reaktivitas total JDA01 (hasil kalibrasi=171,6 sen\$)

$\rho_p$  = Reaktivitas padam JDA01 (= 74,6 sen\$)  
sehingga  $\rho_l = 171,3 \text{ sen\$} - 74,6 \text{ sen\$} = 96,7 \text{ sen\$} = 0,967 \%$   
RSG-GAS mempunyai nilai fraksi neutron kasip  $\beta = 0,765\%$ <sup>11</sup> maka diperoleh  $\rho_l = (0,967 \times 0,765) \% = 0,740 \%$   
Demikian seterusnya untuk 7 batang kendali yang lain dihitung dengan cara yang sama, sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 1. berikut :

Tabel 1. : Nilai reaktivitas batang kendali konfigurasi teras LXIII<sup>3)</sup>

No.	Nama Batang kendali	Reaktivitas total (\$)	Reaktivitas padam (\$)	Reaktivitas lebih (\$)
1	JDA 01	1,713	0,746	0,967
2	JDA 02	1,903	0,816	1,087
3	JDA 03	2,198	0,916	1,282
4	JDA 04	2,130	0,966	1,164
5	JDA 05	2,090	0,854	1,236
6	JDA 06	1,669	0,747	0,922

Tabel 1. : lanjutan

No.	Nama Batang kendali	Reaktivitas total (\$)	Reaktivitas padam (\$)	Reaktivitas lebih (\$)
7	JDA 07	2,220	0,894	1,326
8	JDA 08	1,565	0,720	0,845
Reaktivitas BK teras LXIII		15,488	6,659	8,829

Dari tabel 6. di atas diperoleh :

- Reaktivitas total batang kendali :  $15,488 \times 0,765 = 11,8483 \%$
- Reaktivitas padam :  $6,659 \times 0,765 = 5,0941 \%$
- Reaktivitas lebih :  $11,8483 \% - 5,0941 \% = 6,77542 \%$

- Reaktivitas stuck rod :  $5,0941\% - (2,220 \times 0,765)\% = 3,3958 \%$

Untuk mengetahui apakah reaktivitas lebih teras mampu dioperasikan dengan daya 15 MW dan energi mencapai 660 MWD, maka reaktivitas lebih Teras LXIII harus dibandingkan dengan acuan seperti pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Neraca penggunaan reaktivitas lebih

Penggunaan reaktivitas lebih	30 MW. 750 MWD <sup>*)</sup>	15 MW, 660 MWD <sup>**)</sup>
Suhu (%)	0,3	0,3
Racun Xenon dll. (%)	3,5	1,75
Burn-up (%)	3	2,4
Ekperimen (%)	2	2
Beam Tube (%)	0,4	0,3
Reaktivitas lebih minimum (%)	9,2	6,75

Catatan : \*) LAK RSG-GAS

\*\*) Hasil percobaan, perhitungan dan ekstrapolasi

Dari neraca reaktivitas tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa dengan reaktivitas lebih sebesar 6,77542 % reaktor mampu dioperasikan dengan energi mencapai 660 MWD<sup>1)</sup> (Untuk daya 15 MW, 660 MWD, reaktivitas lebih minimum = 6,75%), dan mempunyai margin keselamatan stuck rod cukup besar yaitu 3,3958 %, di mana dipersyaratkan margin keselamatan stuck rod min 0,5 %.<sup>1)</sup>

### Operasi daya tinggi

Operasi reaktor konfigurasi teras LXIII terdiri dari 8 sub siklus operasi pada daya nominal 15 MW. Sesuai dengan instruksi yang dikeluarkan oleh Ka subid Pelaksana operasi kegiatan 8 sub siklus operasi reaktor digunakan untuk Iradiasi target untuk pembuatan radioisotop PT BATEK, Uji neutronik Absorber baru AgInCd No.10. iradiasi sampel di sistem rabbit untuk penelitian NAA, pewarnaan batu topaz dan pelayanan neutron melalui sistem tabung berkas PTBIN. Data operasi reaktor daya tinggi konfigurasi teras LXIII seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3 : Data operasi reaktor daya tinggi konfigurasi teras LXIII <sup>3)</sup>

No.	No. Instruksi Operasi	Periode	operasi efektif (jam)	Energi reaktor (MWD)	Gangguan
1	IO63/01/2007	28-12-07 s/d 15-01-08	274,28	160,9750	2 x turun daya
2	IO63/02/2008	25-01-08 s/d 29-01-08	100,28	63,3706	2 x scram
3	IO63/03/2008	01-02-08 s/d 05-02-08	98,10	56,0034	
4	IO63/04/2008	08-02-08 s/d 12-02-08	98,10	56,0332	
5	IO63/05/2008	15-02-08 s/d 26-02-08	232,14	139,5039	2 x scram
6	IO63/06/2008	07-03-08 s/d 11-03-08	96,37	55,9972	
7	IO63/07/2008	14-03-08 s/d 18-03-08	97,37	60,2634	1 x scram
8	IO63/08/2008	21-03-08 s/d 25-03-08	110,87	65,7750	1 x scram
Total siklus operasi konfigurasi teras LXIII			1107,51	657,9217	

## Data Gangguan Reaktor

Tabel 4. : Data gangguan yang terjadi selama siklus operasi konfigurasi teras LXIII <sup>31</sup>

NO	TANGGAL	JAM	PENYEBAB GANGGUAN	AKIBAT YANG DITIMBULKAN	KETERANGAN
1	04-01-2008	14.42 - 14.56	Listrik PLN trip sesaat	Sist. Purifikasi mati, PA01 AP001 mati	Turun daya, naik lagi
2	04-01-2008	16.22- 16.47	Listrik PLN trip sesaat	Sist. Purifikasi mati PA01 AP001 mati	Turun daya, naik lagi
3	28-01-2008	15.07- 15.23	Listrik PLN trip sesaat	JE01 AP001 mati, Reactor SCRAM	Reaktor dioperasikan lagi
4	29-01-2008	11.58- 12.34	Pompa pend. Primer mati, sekering putus	Reactor SCRAM	Perbaikan, Reaktor dioperasikan lagi
5	20-02-2008	15.33- 15.46	JKT01 CX811 osilasi	Reactor SCRAM	Perbaikan, Reaktor dioperasikan lagi
6	20-02-2008	17.26-	JKT01 CX811 osilasi	Reactor SCRAM	Menunggu Xenon meluruh
7	14-03-2008	14.19- 14.25	Listrik PLN trip sesaat	Reactor SCRAM	Start-up lagi
8	21-03-2008	13.37- 16.40	JKT01 CX811 osilasi	Reactor SCRAM	Perbaikan, Reaktor dioperasikan lagi

Tabel 5. : Data gangguan sistem pendukung reaktor

No.	Sistem yang terganggu	Jumlah	Keterangan
1	Sistem Proses 1 (Pendingin & purifikasi)	10	9 dapat dinormalkan
2	Sistem Proses 2 (Sistem bantu lain)	11	10 dapat dinormalkan
3	Sistem Ventilasi	30	26 dapat dinormalkan
4	Sistem elektrik	5	Dapat dinormalkan
5	Sistem instrumentasi & kendali	11	10 dapat dinormalkan
6	Sistem proteksi radiasi	11	9 dapat dinormalkan
Jumlah gangguan pada sistem pendukung		66	PPIK No. 227.01.SR.07 s/d 063.01.SR.08

## Pemanfaatan Reaktor

Tabel 6 : Data Iradiasi dan Pemanfaatan Reaktor selama periode operasi konfigurasi teras LXIII <sup>31</sup>

No	Target	Posisi	Tujuan / produksi	Jumlah iradiasi	Keterangan
1	U-235	CIP	Mo-99	10	Berat @ 2,4 – 2,995 g
2	TeO <sub>2</sub>	CIP	I-131	14	Berat @ 125 9
3	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CIP	Sm-153	1	Berat 40 mg
4	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CIP	Mo-99	1	Berat 100 mg
5	CdO	CIP	Cd-109	2	Berat 50 g dan 100 mg
6	Au-197	CIP	Au-198	2	Berat 2 mg dan 2,6 mg
7	S-32	CIP	P-32	1	Berat 30 mg
8	LEU	CIP	Mo-99	1	Berat 8,862 g

Tabel 6 : Lanjutan

No	Target	Posisi	Tujuan / produksi	Jumlah iradiasi	Keterangan
9	Xe-124	BT S-1	I-125	1	Volume 400 ml, bentuk gas
10	KBr	CIP	Br-82	1	Berat 100 mg
11	Multi unsur	RS	Penelitian dengan NAA	9	Zn-64, tanaman obat, lumpur,SRM, KBr, batuan dll

Operasi daya tinggi telah dilakukan terdiri dari 8 sub siklus operasi rutin dengan daya 15 MW. Ditinjau dari nilai parameter operasi tidak ada satupun parameter operasi yang melebihi harga batas operasi yang telah ditentukan. Energi yang dibangkitkan selama siklus operasi konfigurasi teras LXIII adalah sebesar 657,9217 MWD, berlangsung selama 1107,51 jam efektif. Pada akhir siklus operasi posisi batang kendali *all bank* sebelum *shut down* adalah 571 mm, posisi ini masih di bawah batas izin posisi batang kendali maksimum yaitu 580 mm. Harga ini memberikan fraksi bakar rerata sebesar  $\frac{658}{660} \times 7\% = 6,98\%$ , harga ini hampir sama dengan fraksi bakar rerata per siklus yaitu 7%.<sup>1)</sup>

Selama operasi daya tinggi terjadi 8 kali gangguan yang menyebabkan reaktor scram, turun daya maupun pemadaman reaktor yang tidak sesuai jadwal, terdiri dari 4 kali gangguan trip listrik PLN, dan 4 kali gangguan yang disebabkan oleh kegagalan komponen yaitu 3 kali terjadi osilasi sistem pemantau daya start-up, dan 1 kali putusya sekering pengaman pompa pendingin primer. Kasus terganggunya pasokan listrik dari PLN adalah kejadian diluar jangkauan operator, hal ini hanya dapat dikurangi dengan sigapnya pihak manajemen dalam berkoordinasi dengan pihak luar dengan memberikan komplain ke PT PLN untuk memperbaiki pelayanannya. Sedang gangguan yang terjadi karena terganggunya komponen sistem pendukung dapat dikurangi dengan peningkatan unjuk kerja sistem perawatan dan sistem pengadaan suku cadang, memberikan pendidikan yang cukup bagi

personil perawatan, memprioritaskan pengadaan komponen-komponen yang rawan dan penting. Gangguan pada sistem-sistem pendukung reaktor memberikan angka yang cukup tinggi yaitu sebanyak 66 kali, terutama pada sistem ventilasi. Hal ini terjadi karena sistem-sistem tersebut mempunyai jumlah komponen yang banyak dan telah terjadinya proses penuaan pada sistem/komponen yang bersangkutan. Namun demikian hampir 80% gangguan-gangguan tersebut dapat kembali dinormalkan.

Penggunaan reaktor memberikan angka yang cukup besar yaitu selama siklus operasi LXIII ( $\pm 3,5$  bulan), telah berhasil diiradiasi 33 target isotop di *Central Irradiation Position* (CIP), 9 unit sampel penelitian di sistem rabbit (RS), 1 target untuk pembuatan isotop I-125 di fasilitas iradiasi beam tube S-1, dan pewarnaan batu topaz sebanyak 60 kg di fasilitas iradiasi topaz out core (FIT) dan 1,5 kg di fasilitas iradiasi *incore* (IP). Selain itu reaktor digunakan pula untuk pelayanan penyediaan sumber neutron melalui beam tube S-2, S-4, S-6 dan S-6, yang dikelola oleh PTBIN BATAN.

#### Kalibrasi Daya

Kalibrasi daya dilakukan dengan metode kalorimetri stasioner yaitu dengan mengukur beda suhu masukan dan keluaran air pendingin reaktor. Kalibrasi dilakukan sebanyak 4 kali yaitu pada awal, pertengahan dan akhir siklus operasi. Hasil kalibrasi daya seperti terlihat pada tabel 7 berikut:

Tabel 7. : Hasil kalibrasi daya konfigurasi teras LXIII<sup>3)</sup>

No	Tanggal	Hasil kalibrasi (JKT 04)	Keterangan
1	06-01-2008	$1 \times 10^{-10}A = 27,67$ Watt	Tanpa target topas
2	04-02-2008	$1 \times 10^{-10}A = 28,30$ Watt	Tanpa target topas
3	11-02-2008	$1 \times 10^{-10}A = 29,55$ Watt	Tanpa target topas
4	25-02-2008	$1 \times 10^{-10}A = 30,02$ Watt	Tanpa target topas

Selama siklus operasi teras LXIII telah dilakukan kalibrasi daya sebanyak 4 kali. Hal ini dilakukan untuk

menghindari terjadinya salah pembacaan antara panas termal yang terjadi di dalam teras reaktor dengan

monitor daya, akibat terjadinya perubahan muatan teras dan perubahan posisi batang kendali akibat burn-up bahan bakar. Dari hasil kalibrasi daya (Tabel 2) terlihat bahwa hasil konversi daya yang diperoleh pada saat-saat akhir siklus operasi memberikan harga yang lebih besar. Hal ini berkaitan dengan pembacaan detektor daya JKT 04 yang mempunyai posisi tetap terhadap kondisi/distribusi fluks neutron yang berbeda antara awal dan akhir operasi yang sangat bergantung pada posisi batang kendali. Pada awal operasi posisi batang kendali relatif lebih rendah sehingga memberikan distribusi fluks neutron axial yang terbaca lebih besar dibanding pada saat posisi batang kendali berada di atas seperti yang terjadi pada saat-saat akhir siklus operasi.

### KESIMPULAN

1. Pembentukan teras awal konfigurasi teras LXIII telah berhasil dilaksanakan dengan mendapatkan reaktivitas lebih teras sebesar 6,77542 % dan margin keselamatan stuck rod sebesar 3,3958 %. Hal ini memberikan indikasi bahwa reaktor dapat dioperasikan sesuai target dengan margin keselamatan cukup besar.
2. Gangguan scram/penurunan daya terjadi 8 kali dan gangguan yang terjadi pada sistem bantu reaktor sebanyak 66 kali, namun hampir semua sistem yang terganggu dapat kembali dinormalkan.
3. Secara umum dapat disimpulkan meskipun terdapat beberapa gangguan, siklus operasi konfigurasi teras LXIII telah berhasil dilaksanakan dengan selamat sesuai target, dengan energi sebesar 657,9217

MWD selama 1107,51 jam efektif. digunakan untuk iradiasi target sebanyak 45 permohonan iradiasi, penyediaan neutron tabung berkas PTBIN dan uji panas absorber baru AgInCd No.10 buatan PT BATEK

### SARAN

1. Untuk memudahkan perhitungan manajemen teras dan memperkecil kemungkinan timbulnya neraca reaktivitas yang abnormal, disarankan setiap siklus operasi dibangkitkan energi relatif tetap sebesar 660 MWD.
2. Sehubungan cukup banyaknya gangguan-gangguan pada komponen dan sistem bantu reaktor maka perlu ditingkatkan kinerja sistem perawatan/perbaikan, dan pengadaan suku cadang. Hal ini mutlak dilakukan karena saat ini hampir semua sistem telah mengalami proses penuaan.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "RSG-GAS Safety Analisis Report", revisi 8. Jakarta Th.1999.
2. Sudiyono, Diktat Manajemen Operasi RSG-GAS "Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor". Jakarta Th. 2003.
3. Anonim "Buku Induk Operasi RSG-GAS' No 235 s/d 240 Th. 2007/2008
4. Iman Kuntoro, Diktat Fisika Reaktor "Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor". Jakarta Th.1989.