

EVALUASI OPERASI REAKTOR G.A SIWABESSY SIKLUS OPERASI 77

Purwadi

ABSTRAK

EVALUASI OPERASI REAKTOR GA. SIWABESSY SIKLUS OPERASI 77. Operasi reaktor GA Siwabessy siklus operasi 77 berlangsung mulai tanggal 30 Nopember 2011 s/d 06 Maret 2012. Sebagai bahan masukan untuk kelancaran dan keselamatan operasi reaktor berikutnya perlu dilakukan evaluasi terhadap operasi reaktor sebelumnya. Evaluasi dilakukan melalui studi literatur, pengumpulan data, pembahasan dan analisis terhadap jalannya operasi reaktor, mulai dari pembentukan konfigurasi teras, operasi daya rendah, operasi daya tinggi, pemanfaatan reaktor, serta gangguan-gangguan yang timbul pada saat pengoperasian reaktor. Operasi reaktor siklus 77 telah dioperasikan dengan energi sebesar 654,0094 MWD, digunakan untuk melayani iradiasi sebanyak 53 target/sampel, penyediaan neutron tabung berkas PTBIN, dan pewarnaan batu topaz sebanyak ± 447 kg. Gangguan *scram*/penurunan daya terjadi 4 kali dan gangguan yang terjadi pada sistem bantu reaktor sebanyak 49 kali, namun hampir semua gangguan tersebut dapat diatasi. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa meskipun terjadi beberapa gangguan, operasi reaktor RSG-GAS siklus operasi 77 berlangsung dengan selamat sesuai dengan target yang ditetapkan.

Kata kunci: operasi, reaktor, siklus

ABSTRACT

EVALUATION OF THE GA SIWABESSY REACTOR OPERATION FOR 77th CYCLE. The operation of reactor RSG-GAS for 77th cycle is conducted from November 30, 2011 to March 06, 2012. Evaluation result is used as a feedback to improve the next reactor operation cycle. It is accomplished through literature assessment, data collection, discussion and analysis of reactor operation commencing from the reactor core configuration, operation of low power, reactor power operation, reactor utilization and experiences on disturbance appear during reactor operation. The reactor operation for 77th cycle has been achieved by developing power of 654,0094 MWD and it was utilized for 53 samples irradiation, neutron beam services to PTBIN and topaz colouring on 447 kg. Scram occurred 4 times and disturbance at auxiliary system occurred 49 times. All disturbances have been successfully solved. It then can be concluded that the reactor operation for 77th cycle 77 is running well as expected.

Key word: operation, reactor, cycle

PENDAHULUAN

Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) mempunyai tugas mengoperasikan reaktor serba guna RSG-GAS telah ditetapkan 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 yang cakap, terlatih, berdisiplin dan berdedikasi tinggi dalam pengoperasian reaktor. Di samping itu berdasarkan pengalaman operasi sebelumnya merupakan faktor yang sangat penting sebagai umpan balik untuk meningkatkan unjuk kerja pengoperasian reaktor, mengingat pada operasi RSG-GAS siklus operasi 77 ini banyak terjadi gangguan, seperti gangguan reaktor *scram*/turun daya maupun gangguan pada sistem pendukung operasi reaktor. Maka dari itu perlu dilakukan evaluasi yang berkesinambungan terhadap kinerja operasi reaktor beserta sistem bantunya untuk

meningkatkan kelancaran operasi reaktor tiap siklus operasi.

DESKRIPSI PENGOPERASIAN REAKTOR

Dalam satu siklus operasi misalnya siklus operasi 77 dengan konfigurasi teras reaktor No. 222, 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 program komputer IAFUEL. Perhitungan meliputi kalkulasi awal pemuatan elemen bakar sampai mencapai kondisi kritis dan memperoleh reaktivitas lebih yang cukup untuk satu siklus operasi agar reaktor dioperasikan dengan benar dan aman. Penggantian konfigurasi teras dilakukan apabila reaktivitas lebih

dari suatu siklus operasi telah habis, atau 5 elemen bakar dan 1 elemen kontrol telah mencapai *burn-up* maksimum (56%).^[1]

Untuk memperoleh distribusi fluks neutron yang relatif merata selain dilakukan penggantian elemen bakar dan elemen kontrol diperlukan pula *reshuffling* elemen bakar/elemen kontrol yaitu dengan 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).^[5] Pelaksanaan PPET tersebut selalu diawasi oleh personil dari Sub Bid. Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS.

Pengukuran waktu jatuh batang kendali

Pengukuran waktu jatuh batang kendali harus dilakukan setelah selesai kegiatan perakitan unit batang kendali misalnya setelah terbentuk teras operasi baru (awal siklus teras baru). Apabila ditemukan waktu jatuh lebih lama dari harga waktu 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^[1]), maka dilakukan pengecekan ulang pada unit batang kendali tersebut, sehingga penyebabnya dapat diketahui dan dilakukan perbaikan/penggantian *absorber* 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 dan tidak terjadi pembengkokan atau perubahan integritas.

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.^[2]

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 *control rod* yang mempunyai nilai reaktivitas terbesar, untuk meyakinkan bahwa reaktor tetap dalam kondisi subkritis meskipun terdapat 1 buah *control 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 ± 654 MWD dengan durasi waktu $\pm 3,5$ bulan, digunakan untuk iradiasi target untuk produksi isotop, pelayanan penyediaan neutron tabung berkas PTBIN, pewarnaan batu topaz, iradiasi sampel untuk NAA dan lain-lain.

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.

LANGKAH EVALUASI

Untuk memudahkan evaluasi terhadap pelaksanaan operasi RSG-GAS siklus operasi 77, berturut-turut disajikan kegiatan operasi reaktor mulai dari pembentukan konfigurasi teras, 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 operasi reaktor maupun gangguan yang timbul pada sistem-sistem pendukung operasi, 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 analisa keselamatan (LAK) yang berlaku di RSG-GAS. Dari kegiatan tersebut diharapkan diperoleh kesimpulan dan umpan balik untuk dapat dijadikan acuan operasi reaktor berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan teras awal

Sesuai instruksi pada perintah pemindahan elemen teras (PPET) No.: RSG.OR.03.02.42/01/77/2011, pembentukan teras awal tanggal 02 - 07 Desember 2011^[3], dimulai dengan pembongkaran konfigurasi teras no. 221, yaitu dengan mengeluarkan 5 buah elemen bakar FE RI-455, FE RI-451, FE RI-453, FE RI-452, FE RI-454 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 CE RI-465. Setelah itu dilakukan *reshuffling* dengan mengatur posisi 18 elemen bakar, 7 elemen kontrol di dalam teras reaktor. dan memasukkan kembali 1 elemen kontrol baru CE RI 513 ke posisi teras C-8 yang telah diinstal dengan unit batang kendali dengan *Absorber* lama No. 16.. Kegiatan berikutnya adalah memasukkan 11 elemen bakar ke dalam teras reaktor termasuk 1 elemen bakar baru FE RI-499 ke posisi teras H-4, sehingga terbentuklah konfigurasi awal teras nomor 221. Secara keseluruhan jumlah elemen bakar yang dimasukkan dalam teras awal sebanyak 36 buah termasuk 8 elemen kontrol yang terpasang pada masing-masing batang kendali..

Kegiatan tersebut di atas meliputi pembongkaran konfigurasi teras lama (no.220), 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*). Penempatan elemen bakar diatur sedemikian untuk mendapatkan distribusi *fluks* neutron teras reaktor yang relatif rata. Semua langkah dituangkan dalam formulir Perintah Pemindahan Elemen Teras (PPET)^[5], berupa perintah dari ka.Bid. Operasi Reaktor, disetujui ka. sub Bid. 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 no. 221 untuk siklus operasi 77 ini semua kegiatan dapat dilaksanakan sesuai prosedur, tepat waktu tanpa hambatan yang berarti.

Pada saat penggantian elemen kontrol dilakukan pemeriksaan *absorber* AgInCd no. 09 secara *visual* dan dituangkan dalam berita acara pemeriksaan *absorber* dan diperoleh hasil kondisi *absorber* no. 09 dalam kondisi cukup baik tanpa ada bekas goresan.

Pengukuran waktu jatuh batang kendali

Hasil pengukuran waktu jatuh batang kendali dilakukan tanggal 05 Desember 2011 dengan hasil sebagai berikut:^[3] JAD01+13 = 390,6 mdt, JDA02+10 = 391,5 mdt, JDA03+12 = 369 mdt, JDA04+15 = 359,6 mdt, JDA05+14 = 374,6 mdt, JDA06+09 = 379,3 ms, JDA07+11 = 380 mdt, dan JDA08+16 = 373,6 mdt

Dari hasil pengukuran waktu jatuh semua batang kedali 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 perubahan integritas sehingga dijamin mampu mematikan reaktor dengan cepat sesuai persyaratan.

Percobaan Kekritisan

Pada percobaan kekritisan dilakukan pemuatan elemen bakar sebanyak 5 buah sekaligus, hal ini dilakukan dengan mengacu pada pengalaman percobaan kekritisasi pada konfigurasi-konfigurasi teras sebelumnya. Dari 5 buah elemen bakar tersebut ada 2 buah elemen bakar baru yaitu RI-500 dan RI-501 masing-masing pada posisi A-9 (I) dan C-3 (I). Jumlah elemen bakar yang masuk teras reaktor sebanyak 41 buah termasuk 8 elemen kontrol. Setelah reaktor dioperasikan, kondisi reaktor kritis awal pada daya JKT04 = 1×10^{-8} A dengan posisi batang kendali *Bank* = 600 mm, *Regulating Rod* = 278 mm, dan reaktor kritis bebas sumber pada JKT04 = $2,5 \times 10^{-8}$ A dengan posisi batang kendali *Bank* = 600 mm, *Regulating Rod* = 278 mm. Reaktivitas lebih pada kondisi ini (278-600 mm) adalah 1,951 \$.

Dari hasil ini disimpulkan bahwa kondisi kritis reaktor siklus operasi 77 tercapai dengan memasukkan 8 elemen kontrol dan 33 elemen bakar dengan sisa reaktivitas lebih teras sebesar 1,52 \$. 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 siklus operasi 77

Pemuatan reaktivitas lebih siklus operasi 77 dimulai dengan memasukkan 7 buah elemen bakar termasuk 2 buah elemen bakar baru, yaitu RI-502 dan RI-503 masing-masing pada posisi F-3 (I) dan H-9 (I). Dengan telah selesainya pemuatan 7 elemen bakar pada konfigurasi teras no. 221, maka telah terbentuk konfigurasi baru yaitu konfigurasi teras penuh no. 222, dengan jumlah elemen bakar

sebanyak 40 buah dan elemen kontrol sebanyak 8 buah, seperti terlihat pada Gambar1 [3]. 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 (*fully up*) dan dilakukan pengamatan parameter reaktor. Dari pengamatan parameter diperoleh hasil bahwa reaktor tetap dalam kondisi subkritis.

JF 02	JF 15	JF 51+8 5	F 14	RS 1	RS 2	RS 3	RS 4	RS 5	JF 01	1
JF 05	JF 52+8 4	JF 17	JF 37+7 3	JF 32	JF 34	JF 36	JF 37	JF 11	JF 56+7 4	2
JF 60+8 3	JF 04	JF 19	JF 40	FE 30	FE 407	FER 49	FER 808	JF 06	JF 03	3
JF 08	JF 24	FE 494	FE 494	FE 49	J 8	JDA0 8	FE 496	FE 499	FE 495	4
JF 13	JF 23	FE 495	FE 493	JDA0 4	FE 496	FE 49	JDA0 5	FE 496	FE 494	5
JF 20	JF 21	FE 498	JDA0 2	FE 498	J 3	J 6	FE 498	J 4	FE 496	6
P R T F F		FE 496	JD 1901	FE 498	J 7	J 5	FE 499	JDA0 8	FE 491	7
JF 30	JF 32	FE 496	FE 498	JDA0 2	FE 496	FE 495	JDA0 6	FE 494	FE 491	8
JF 29	J 58+72	FE 490	FE 498	FE 49	JDA0 1	J 7	FE 490	FE 495	FE 497	9
J 59+7 1	JF 28	JF 2	JF 1	FE 49	FE 498	FE 499	FE 492	J 54FN S	JF1 0	10
	K	J	H	G	F	E	D	C	B	A

Gambar 1 : Konfigurasi Teras siklus operasi 77, No. 222

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 %^[1]. Penentuan harga margin keselamatan *stuck rod* siklus operasi 77 (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 kompensasi batang kendali berseberangan dengan hasil sebagai berikut^[3] JDA01+13 = 2,1025 \$, JDA02+10 = 2,16 \$, JDA03+12 = 2,42 \$, JDA04+15 = 2,427 \$, JDA05+14 = 2,36 \$, JDA06+09 = 1,78 \$, JDA07+11 = 2,357 \$, dan

JDA08+16 = 1,8625 \$. Posisi batang kendali *all-bank* pada daerah bebas sumber neutron = 274 mm.

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 siklus operasi 77 diperoleh dengan menjumlahkan nilai reaktivitas 8 batang kendali yang telah terkalibrasi sehingga seolah-olah menjadi 1 unit batang kendali dengan kapasitas besar. Setelah diketahui posisi kritis bebas sumber yaitu 274 mm dapat ditentukan nilai reaktivitas lebih, dan reaktivitas padam, sedang reaktivitas *stuck rod* diperoleh dari pengurangan reaktivitas padam teras dengan reaktivitas batang kendali yang mempunyai nilai terbesar (JDA 07)..

Dari hasil kalibrasi batangkendali tersebut di atas setelah dilakukan perhitungan dengan memasukkan nilai fraksi neutron kasip RSG-GAS (β) sebesar 0,00765 diperoleh neraca reaktivitas siklus operasi 77 dengan satuan % sebagai berikut :

- Reactivitas total batang kendali : 13,379 %
- Reactivitas padam : 6,032 %

- Reactivitas lebih : 7,3478 %
- Reactivitas *stuck rod* : 4,15%

Untuk mengetahui apakah reaktivitas lebih teras mampu dioperasikan dengan daya 15 MW dan energi mencapai \pm 654 MWD, maka reaktivitas lebih Siklus operasi 77 harus dibandingkan dengan acuan seperti pada Tabel 1 berikut [4] :

Tabel 1. Neraca penggunaan reaktivitas lebih

Penggunaan reaktivitas lebih	30 MW. 750 MWD ^{*)}	15 MW, 654 MWD ^{**)}
Suhu (%)	0,3	0,3
Racun Xenon dll. (%)	3,5	2,3
Burn-up (%)	3	2,4
Ekperimen (%)	2	2
Beam Tube (%)	0,4	0,3
Reaktivitas lebih minimum (%)	9,2	7,3

Catatan : *) LAK RSG-GAS

**) Hasil percobaan, perhitungan dan ekstrapolasi

Mengacu pada neraca reaktivitas lebih pada Tabel1. dapat ditentukan bahwa dengan reaktivitas lebih siklus operasi 77 sebesar 7,3478 % sama dengan nilainya pada Tabel 1, maka reaktor akan mampu dioperasikan dengan energi mencapai 654 MWD. pada operasi daya rutin 15 MW. sesuai standar yang tersebut dalam Tabel1. Margin keselamatan *stuck rod* cukup besar yaitu 4,15 %, hal ini memberikan jaminan bahwa reaktor dapat dioperasikan dengan aman hingga energi 654 MWD, karena margin keselamatan yang dimiliki teras reaktor untuk siklus operasi 77 ini jauh di atas batas aman margin keselamatan *stuck rod* sebesar 0,5 %.

Operasi daya tinggi

Operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 77 terdiri dari 8 sub siklus operasi pada daya nominal 15 MW. Sesuai dengan instruksi yang dikeluarkan oleh Ka. Sub Bid. Pelaksanaan Operasi Reaktor, kegiatan 8 sub siklus operasi reaktor digunakan untuk iradiasi target, pembuatan radioisotop PT. BATEK, iradiasi sampel di sistem rabbit, penelitian NAA, pewarnaan batu topaz dan pelayanan neutron melalui sistem tabung berkas PTBIN. Data operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 77 seperti terlihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5.

Tabel 2 : Data operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 77 [3]

No.	No. Instruksi Operasi	Periode	operasi efektif (jam)	Energi reaktor (MWD)
1	IO77/01/2011	09-12-2011 s/d 20-12-2011	256,7584	159,7619
2	IO77/02/2012	06-01-2012 s/d 10-01-2012	88,1164	54,8337
3	IO77/03/2012	13-01-2012 s/d 17-01-2012	92,28	57,4297
4	IO77/04/2012	20-01-2012 s/d 24-01-2012	92,59	57,4599
5	IO77/05/2012	27-01-2012 s/d 07-02-2012	260,55	162,4639
6	IO77/06/2012	10-02-2012 s/d 14-02-2012	92,5337	54,5979
7	IO77/07/2012	24-02-2012 s/d 28-02-2012	83,401	48,7097
8	IO77/08/2012	02-03-2012 s/d 06-03-2012	82,5498	58,7527
Total siklus operasi 77			1048,7823	654,0094

Posisi batang kendali saat reaktor *shutdown* :537/536 mm

Data Gangguan Reaktor

Tabel 3. : Data gangguan yang terjadi selama siklus operasi 77 ^[3]

NO	TANGGAL	JAM	PENYEBAB GANGGUAN	AKIBAT YANG DITIMBULKAN	KETERANGAN
1	11-12-2011	07.53	Listrik PLN trip sesaat	Pompa sekunder PA 02 AP 01 mati	Daya reaktor diturunkan ke daya rendah, untuk menghidupkan PA 02 AP 01, daya reaktor dinaikkan kembali ke 15 MW (berhasil)
2	16-12-2011	16.55	Terdapat kotoran di atas elemen bakar posisi A-6	Reaktor dipadamkan (24 jam)	Pengambilan kotoran, operasi lagi
3	06-01-2012	21.15	JDA 03 jatuh sendiri	Reaktor SCRAM	Ganti Drive Unit JDA 03, reaktor dioperasikan kembali (berhasil)
4	26-02-2012	13.28	Pasokan Listrik PLN trip sesaat	sekunder PA 01 AP 01 mati	Daya reaktor diturunkan ke daya rendah, PA 02 AP 01 gagal dihidupkan, reaktor dipadamkan

Tabel 4. : Data gangguan pada sistem pendukung reaktor

No.	Sistem yang terganggu	Jumlah	Keterangan
1	Sistem Proses 1 & 2	9	Dapat dinormalkan
3	Sistem Ventilasi	14	Dapat dinormalkan
4	Sistem elektrik	12	Dapat dinormalkan
5	Sistem instrumentasi & kendali	4	Dapat dinormalkan
6	Sistem monitor radiasi	10	Dapat dinormalkan
Jumlah gangguan pada sistem pendukung		49	PPIK No. 206.01..SR.11 s/d 040.01.SR.12

Pemanfaatan Reaktor

Tabel 5 : Data Iradiasi dan Pemanfaatan Reaktor selama periode siklus operasi 78 ^[3]

No	Target	Posisi	Tujuan / produksi	Jumlah iradiasi	Keterangan
1	U-235	CIP	Mo-99	11	Berat @ (0,4 –1,882) g
2	TeO ₂	CIP	I-131	7	Berat @ 100 g
3	Sm ₂ O ₃	CIP	Sm-152	2	Berat @ 0.04 g
4	Lu ₂ O ₃	CIP	Lu-176	2	Berat @ (0,0025-0,0026) g
5	MoO ₃	CIP	Mo-98	2	Berat @ (0,015-2) g
6	Gd ₂ O ₃	CIP	Gd-153	1	Berat @ 0,051 g
7	WO ₃	CIP	W-180	1	Berat@ 5 g
8	Xe-124	BT S-1	I-125	1	Volume 300 ml, gas
9	Ir-191	CIP	Ir-192	2	Berat @ 8,4 g
10	Multi unsur	RS	Penelitian dengan NAA	23	Sedimen, makanan, kedelai, keramik, dll.
11	Topaz	IP	pewarnaan		Berat ± 447 kg
12	Topaz	FIT	pewarnaan	1	Berat @ 14,55 kg

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 77 adalah sebesar 654,0094 MWD, berlangsung selama 1048,02 jam efektif. Pada akhir siklus operasi posisi batang kendali *all bank* sebelum *shut down* adalah 537/536 mm. Harga ini memberikan fraksi bakar rerata sebesar $(654,0094/654) \times 7\% = 7\%$, harga ini sama dengan fraksi bakar rerata per siklus yaitu 7%.^[1]

Selama operasi daya tinggi terjadi 4 kali gangguan yang menyebabkan reaktor *scram*, atau pemadaman reaktor yang tidak sesuai jadwal, terdiri dari 2 kali gangguan trip listrik PLN, dan 2 kali gangguan yang disebabkan oleh kegagalan komponen yaitu 1 kali terjadi gangguan pada sistem batang kendali dan 1 kali reaktor harus dipadamkan karena terdapat kotoran di atas elemen bakar posisi teras A-6. 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 yaitu dengan menambah item/komponen yang perlu dirawat dan memperpendek periode perawatan. Ketersediaan suku cadang juga harus selalu

diperhatikan dengan memprioritaskan pengadaan komponen-komponen yang rawan dan penting, di samping selalu memberikan pendidikan yang cukup bagi personil perawatan. Gangguan pada sistem pendukung reaktor memberikan angka yang cukup tinggi yaitu sebanyak 49 kali, terutama pada sistem ventilasi. Hal ini terjadi karena sistem tersebut mempunyai jumlah komponen yang banyak dan telah terjadinya proses penuaan pada sistem/komponen yang bersangkutan. Namun demikian hampir 100% gangguan tersebut dapat diatasi.

Penggunaan reaktor memberikan angka yang cukup besar yaitu selama siklus operasi 77 ($\pm 3,5$ bulan), telah berhasil diiradiasi 28 target isotop di *Central Irradiation Position* (CIP), 23 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 14,55 kg di fasilitas iradiasi topaz *out core* (FIT) dan ± 447 kg di fasilitas iradiasi *incore* (IP). Selain itu reaktor digunakan pula untuk pelayanan penyediaan sumber neutron melalui *beam tube* S-2, S-4, S-5, 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 9 kali terutama pada awal, pertengahan dan akhir siklus operasi. Hasil kalibrasi daya seperti terlihat pada tabel 6 berikut:

Tabel 6. : Hasil kalibrasi daya siklus operasi 77^[3]

No	Tanggal	Hasil kalibrasi (JKT 04)	Keterangan
1	12-12-2011	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 30,42 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, TeO ₂ , Sm ₂ O ₃ , Ir-191
2	19-12-2011	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 30,365 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, TeO ₂ , Sm ₂ O ₃ , Ir-191
3	09-01-2012	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 31,381 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, Sm ₂ O ₃ , Ir-191
4	16-01-2012	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 31,36 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, Sm ₂ O ₃ , Ir-191
5	24-01-2012	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 31,35 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, Sm ₂ O ₃ , Ir-191
6	30-01-2012	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 31,94 \text{ Watt}$	Target : topas, TeO ₂ , Sm ₂ O ₃ , Ir-191
7	06-02-2012	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 31,68 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, TeO ₂ , Ir-191
8	13-02-2012	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 31,13 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, TeO ₂ , Ir-191
9	05-03-2012	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 30,78 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, TeO ₂ , Ir-191

Selama siklus operasi teras 77 telah dilakukan kalibrasi daya sebanyak 9 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 JKT04 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 aksial 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 siklus operasi 77 telah berhasil dilaksanakan dengan mendapatkan reaktivitas lebih teras sebesar 7,3478 % dan margin keselamatan *stuck rod* sebesar 4,1520 %. Hal ini memberikan indikasi bahwa reaktor dapat dioperasikan sesuai target dengan margin keselamatan cukup besar.
2. Gangguan *scram*/penurunan daya terjadi 4 kali dan gangguan yang terjadi pada sistem bantu reaktor sebanyak 49 kali, namun hampir semua sistem yang terganggu dapat diatasi.
3. Secara umum dapat disimpulkan meskipun terdapat beberapa gangguan, siklus operasi 77 telah berhasil dilaksanakan dengan selamat sesuai target, dengan energi sebesar 654,0094 MWD selama 1048,02 jam efektif. digunakan untuk iradiasi target sebanyak 53 buah, pewarnaan batu topaz sebanyak \pm 461 kg dan penyediaan neutron untuk tabung berkas PTBIN.

SARAN

1. Untuk memudahkan perhitungan manajemen teras dan memperkecil kemungkinan timbulnya neraca reaktivitas yang abnormal, disarankan energi yang dibangkitkan tiap siklus operasi tetap sebesar \pm 654 MWD.
2. Sehubungan dengan adanya 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, "Laporan Analisa Keselamatan RSG-GAS, revisi 10", Jakarta Th. 2011.
2. SUDIYONO, "Diktat Manajemen Operasi RSG-GAS "Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor", Jakarta Th. 2005.
3. ANONIM, "Buku Induk Operasi RSG-GAS' No 278 s/d 281", Th. 2012
4. SLAMET WIRANTO, "Pengaruh Garpu Penyerap Uji terhadap Reaktivitas Teras dan Kalibrasi daya RSG-GAS." Seminar P3N PTAPB-BATAN, Yogyakarta Th. 2011.
5. ANONIM, "Perintah Pemindahan Elemen Teras RSG-GAS no.RSG.OR.03.02.42/01/77/2011" Th. 2011