

EVALUASI OPERASI REAKTOR GA SIWABESSY SIKLUS OPERASI 80

Purwadi

PRSG-BATAN

ABSTRAK

EVALUASI OPERASI REAKTOR GA. SIWABESSY SIKLUS OPERASI 80. Unjuk kerja operasi reaktor GA Siwabessy (RSG-GAS) perlu dievaluasi untuk mengetahui apakah sistem dan komponen reaktor masih berfungsi normal. Adanya ketidak normalan dapat dijadikan *feed back* untuk operasi berikutnya. Makalah ini bertujuan mengevaluasi siklus operasi reaktor siklus 80 yang berlangsung mulai tanggal 12 September 2012 s/d 04 Desember 2012. Evaluasi dilakukan melalui pengumpulan data operasi reaktor, analisis dan pembahasan 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 80 telah dioperasikan dengan energi sebesar 654,3511 MWD, digunakan untuk melayani iradiasi sebanyak 42 target/sampel, penyediaan tabung berkas neutron Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) dan pewarnaan batu topaz sebanyak $\pm 296,99$ kg. Gangguan *scram*/penurunan daya terjadi 7 kali dan gangguan yang terjadi pada sistem bantu reaktor sebanyak 53 kali, namun hampir semua gangguan tersebut dapat diatasi. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa meskipun terjadi beberapa gangguan, operasi reaktor RSG-GAS siklus operasi 80 berlangsung dengan baik dan selamat sesuai dengan target yang ditetapkan.

Kata kunci: operasi reaktor, siklus operasi, pemanfaatan

ABSTRACT

EVALUATION OF THE EIGHTYTH OPERATION CYCLES OF GA. SIWABESSY REACTOR. *The performance of reactor operation should be evaluated continuously in order to identify whether the limiting condition of operation complied to the safety regulation issued. This paper is aimed to evaluate the eightieth operation cycles of the GA Siwabessy Reactor (RSG-GAS) which was conducted on September 12, 2012 to December 04, 2012. The evaluation was accomplished by means of compiling and analyzing of reactor operation data followed by discussion of the reactor operation implementation commencing from reactor core configuration, low power operation, high power operation, reactor utilization and reactor operation disturbances. The eightieth operation cycles of the GA Siwabessy Reactor has achieved the power of 654, 3511 MWD at which it was utilized for 42 sample irradiation, neutron beam services to the Center for Technology of Nuclear Materials Industry while disturbances to the auxiliary system were 53 times however all disturbances were successfully managed and all were brought to the normal condition. In general it can be concluded that the eightieth operation cycle was going well and safe as expected.*

Key word: reactor operation, operation cycle, utilization.

PENDAHULUAN

Unjuk kerja instalasi nuklir perlu dievaluasi terus menerus sepanjang umur operasinya. Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) yang merupakan instalasi nuklir utama penyedia neutron telah beroperasi selama lebih dari 25 tahun tanpa mengalami gangguan teknis yang sangat serius. Model pelaksanaan operasi RSG-GAS dibagi menjadi siklus – siklus operasi dan setiap siklus operasi berlangsung selama kurang lebih 3,5 bulan. Selama 3,5 bulan operasi, RSG-GAS dimanfaatkan untuk berbagai macam kepentingan oleh para pengguna reaktor diantaranya adalah untuk produksi

isotop (PT Batan Teknologi), penelitian ilmu bahan dengan fasilitas *beam tube* oleh Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) dan kepentingan lain terkait pemanfaatan teknologi nuklir. Agar kepentingan pengguna dapat dilayani dengan prima, kinerja RSG-GAS perlu disikapi dan dievaluasi setiap akhir siklus.

Makalah ini mendiskusikan tentang evaluasi kinerja reaktor pada akhir siklus operasi ke 80 yang bersamaan dengan pembentukan teras ke 228. Evaluasi diawali dengan mengamati rangkaian kegiatan dimulai dari pembentukan pembentukan konfigurasi teras, operasi daya rendah, operasi daya tinggi, pemanfaatan reaktor, serta gangguan-gangguan

yang timbul pada saat pengoperasian reaktor. Setiap kejadian yang menyimpang dari batasan-batasan operasi sebagai yang ditetapkan di dalam pedoman/manual operasi reaktor serta pedoman yang tertulis di dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) RSG-GAS, selama reaktor dioperasikan, diidentifikasi dan ditindak lanjuti. Hasil evaluasi sangat penting sebagai umpan balik untuk meningkatkan unjuk kerja pengoperasian reaktor siklus berikutnya. Siklus operasi 80 dipilih sebagai siklus operasi yang banyak mengalami gangguan, seperti gangguan reaktor *scram*/turun daya maupun gangguan pada sistem pendukung operasi reaktor. Oleh sebab itu perlu dilakukan evaluasi agar penyimpangan batasan operasi tidak terulang kembali dan akhirnya layanan ke pengguna dapat ditingkatkan.

RANGKAIAN KEGIATAN OPERASI REAKTOR DALAM SATU SIKLUS

Dalam satu siklus operasi 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.

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.

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.

TATA KERJA

Untuk memudahkan evaluasi terhadap pelaksanaan operasi RSG-GAS siklus operasi 80, berturut-turut disajikan kegiatan operasi reaktor mulai dari pembentukan konfigurasi teras, pengukuran waktu jatuh batang kendali, percobaan kekritisian, 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. Kemudian 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 reaktor RSG-GAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan teras awal

Sesuai instruksi pada perintah pemindahan elemen teras (PPET) No.: RSG.OR.03.02.42/01/80/2012, pembentukan teras awal tanggal 13 - 20 September 2012^[3], dimulai dengan pembongkaran konfigurasi teras no. 227, yaitu dengan mengeluarkan 5 buah elemen bakar FE RI-470, FE RI-471, FE RI-472, FE RI-473, FE RI-474 dari

posisi teras B8, D8, B5, F6, G8 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-468. Setelah itu dilakukan *refueling* dengan mengatur posisi 18 elemen bakar, 7 elemen kontrol di dalam teras reaktor. dan memasukkan kembali 1 elemen kontrol baru CE RI 516 ke posisi teras C-8 yang telah diinstal dengan unit batang kendali dengan *Absorber* lama No. 13. Kegiatan berikutnya adalah memasukkan 11 elemen bakar ke dalam teras reaktor termasuk 1 elemen bakar baru FE RI-518 ke posisi teras H-4, sehingga terbentuklah konfigurasi awal teras nomor 227. 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.226), pembentukan konfigurasi teras baru awal, terdiri dari 58 langkah *load/unload* elemen teras dari/ke teras reaktor untuk mengganti elemen bakar/element 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 Kepala Bidang Operasi Reaktor, disetujui Kepala Sub Bidang Keselamatan Operasi dan Kepala 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. Pada saat penggantian elemen kontrol dilakukan pemeriksaan *absorber* (AgInCd) no. 13 secara *visual* dan dituangkan dalam berita acara pemeriksaan *absorber* dan diperoleh hasil kondisi *absorber* no. 13 dalam kondisi cukup baik tanpa ada bekas goresan.

Hambatan yang terjadi saat pembentukan teras awal adalah bersamaan dengan waktu perawatan pesawat *crane*, sehingga kegiatan harus ditunda padahal waktu *refueling* sangat terbatas, maka untuk perawatan *crane* mendatang diharapkan waktunya tidak bersamaan.

Pengukuran waktu jatuh batang kendali

Hasil pengukuran waktu jatuh batang kendali dilakukan tanggal 18 September 2012 dengan hasil sebagai berikut:^[3] JAD01+12 = 371,8 mdt, JDA02+14 = 381,1 mdt, JDA03+16 = 384,4 mdt, JDA04+10 = 385,9 mdt, JDA05+09 = 378,4 mdt,

JDA06+13 = 377,1 ms, JDA07+15 = 358,7 mdt,
dan JDA08+11 = 385,7 mdt

Dari hasil pengukuran waktu jatuh semua batang kendali reaktor 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.

Kegagalan yang mungkin terjadi saat pengukuran waktu jatuh batang kendali adalah gangguan pada *drive unit* batang kendali sehingga tidak mendapatkan nilai waktu jatuhnya, namun hal ini sudah diantisipasi dengan menyediakan *drive unit* cadangan.

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-519 dan RI-520 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, reaktor kritis daya rendah bebas sumber pada JKT04 = $2,5 \times 10^{-8}A$ dengan posisi batang kendali *Bank* = 600 mm, *Regulating Rod* = 262 mm. Reaktivitas lebih pada kondisi ini (264-600 mm) adalah 1,651 \$.

Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa kondisi kritis reaktor siklus operasi 80 tercapai dengan

memasukkan 8 elemen kontrol dan 33 elemen bakar dengan sisa reaktivitas lebih teras sebesar 1,651 \$. 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.

Kesulitan yang mungkin terjadi saat percobaan kekritisasi adalah terjadi kritis reaktor pada langkah ke 5 kekritisasi dengan posisi bank 600mm dan *reg. rod* 0mm. Kalau hal ini terjadi maka kegiatan dihentikan dan dilakukan perhitungan manajemen teras ulang.

Pemuatan reaktivitas lebih siklus operasi 80

Pemuatan reaktivitas lebih siklus operasi 80 dimulai dengan memasukkan 7 buah elemen bakar termasuk 2 buah elemen bakar baru, yaitu RI-521 dan RI-522 masing-masing pada posisi F-3 (I) dan H-9 (I). Dengan telah selesainya pemuatan 7 elemen bakar pada konfigurasi teras no. 227, maka telah terbentuk konfigurasi baru yaitu konfigurasi teras penuh no. 228, 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+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	JF 56+74	2
JF 60+83	JF 04	JF 19	JF 40	FE RI 521	FE RI 507	FE RI 498	FE RI 520	JF 06	JF 03	3
JF 08	JF 24	FE RI 518	FE RI 485	FE RI 483	JD 108	JDA07+15 RI - 492	FE RI 506	FE RI 500	FE RI 510	4
JF 13	JF 23	FE RI 496	FE RI 484	JDA04+10 RI - 515	FE RI 487	FE RI 501	JDA05+09 RI - 513	FE RI 477	FE RI 504	5
JF 20	JF 21	FE RI 499	JDA02+14 RI - 490	FE RI 478	JD 103	JD 106	FE RI 493	JD 104	FE RI 495	6
P R T F		FE RI 497	JD 101	FE RI 488	JD 107	JD 105	FE RI 480	JDA08+11 RI - 489	FE RI 502	7
JF 30	JF 22	FE RI 511	FE RI 479	JDA03+16 RI - 514	FE RI 503	FE RI 476	JDA06+13 RI - 516	FE RI 475	FE RI 482	8
JF 29	JF 58+72	FE RI 522	FE RI 508	FE RI 509	JDA01+12 RI - 491	JD 102	FE RI 481	FE RI 486	FE RI 519	9
JF 59+71	JF 28	JF 26	JF 16	FE RI 517	FE RI 505	FE RI 494	FE RI 512	JF 54+NS	JF 10	10
K	J	H	G	F	E	D	C	B	A	

Gambar 1. KonfigurasiI Teras siklus operasi 80, No. 228

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 80 (min 0,5 %), diketahui setelah dilakukan analisis hasil kalibrasi batang kendali.

Kendala yang mungkin terjadi saat pemuatan reaktivitas lebih adalah terjadi kekritisian pada saat dilakukan penarikan batang kendali JDA07 (*fully up*), jika hal ini terjadi maka reaktor tidak boleh dioperasikan dan harus dilakukan perhitungan ulang manajemen teras.

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+12 = 1,955 \$, JDA02+14 = 2,265 \$,
 JDA03+16 = 2,368 \$, JDA04+10 = 2,425 \$,

JDA05+09 = 2,405 \$, JDA06+13 = 1,81 \$,
 JDA07+15 = 2,543 \$, dan JDA08+11 = 1,82 \$.
 Posisi batang kendali *all-bank* pada daerah bebas sumber neutron = 272 mm.

Dari hasil ini setelah diketahui posisi kritis batang kendali pada daya rendah bebas sumber (272 mm), dapat ditentukan neraca reaktivitas batang kendali yaitu nilai-nilai reaktivitas total, reaktivitas lebih, reaktivitas padam dan reaktivitas *stuck rod*. Reaktivitas total siklus operasi 80 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 272 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 reaktor RSG-GAS (β)

sebesar 0,00765 diperoleh neraca reaktivitas siklus operasi 80 dengan satuan % sebagai berikut :

- Reaktivitas total batang kendali : 13,4564 %
- Reaktivitas padam : 5,9823 %
- Reaktivitas lebih : 7,4741 %
- Reaktivitas *stuck rod* : 4,0373 %

Untuk mengetahui apakah reaktivitas lebih teras mampu dioperasikan dengan daya 15 MW dan energi mencapai $\pm 654,3511$ MWD, maka reaktivitas lebih Siklus operasi 80 harus dibandingkan dengan acuan seperti pada Tabel 1 berikut ^[4] :

Tabel 1. Neraca penggunaan reaktivitas lebih ^[4]

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 80 sebesar 7,4741 % lebih besar 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 4,0373 %, hal ini memberikan jaminan bahwa reaktor dapat dioperasikan dengan aman hingga energi 654 MWD, karena margin keselamatan yang dimiliki teras reaktor untuk siklus operasi 80 ini jauh di atas batas aman margin keselamatan *stuck rod* sebesar 0,5 %.

Hambatan yang mungkin terjadi pada saat kalibrasi batang kendali adalah bila nilai reaktivitas *stuck rod* lebih kecil dari 0,5 %, bila hal ini terjadi

maka reaktor tidak boleh dioperasikan dan harus diadakan perhitungan ulang manajemen teras.

Operasi daya tinggi

Operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 80 terdiri dari 8 sub siklus operasi pada daya nominal 15 MW. Sesuai dengan instruksi yang dikeluarkan oleh Ka. Sub Bid. Pelaksanaan Operasi Reaktor, kegiatan 7 sub siklus operasi reaktor digunakan untuk iradiasi target, pembuatan radioisotop PT. BATEK, iradiasi sampel di *rabbit system*, penelitian AAN, pewarnaan batu topaz dan pelayanan neutron melalui sistem tabung berkas PTBIN. Data operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 80 seperti terlihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5.

Tabel 2 : Data operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 80 ^[3]

No.	No. Instruksi Operasi	Periode	operasi efektif (jam)	Energi reaktor (MWD)
1	IO80/01-b/2012	25-09-2012 s/d 26-09-2012	5,5654	4,2655
2	IO80/01-c /2012	28-09-2012 s/d 02-10-2012	108,409	67,5078
3	IO80/02/2012	05-10-2012 s/d 16-10-2012	261,0999	162,8116
4	IO80/03/2012	19-10-2012 s/d 23-10-2012	107,083	66,5131
5	IO80/04/2012	26-10-2012 s/d 30-10-2012	101,4506	63,0806
6	IO80/05/2012	02-11-2012 s/d 06-11-2012	104,4532	64,7893
7	IO80/06/2012	09-11-2012 s/d 13-11-2012	100,4532	62,5214
8	IO80/07/2012	23-11-2012 s/d 04-12-2012	260,9834	162,8616
Total siklus operasi 80			1049,4765	654,3511

Posisi batang kendali saat reaktor *shutdown* :557/558 mm

Data Gangguan Reaktor

Tabel 3 : Data gangguan yang terjadi selama siklus operasi 80^[3]

NO	TANGGAL	JAM	PENYEBAB GANGGUAN	AKIBAT YANG DITIMBULKAN	KETERANGAN
1.	25-09-2012	10.44	Listrik PLN padam	Reaktor <i>scram</i>	Operasi reaktor dilanjutkan tanggal 26-09-2012
2.	26-09-2012	14.40	JKT03CX811 respon terlalu cepat, <i>unbalance load max.</i>	Reaktor <i>scram</i>	Reaktor <i>start up</i> kembali (berhasil)
3.	26-09-2012	16.33	Gangguan JKT03CX811, <i>Unbalanced load</i> maksimal (saat penurunan daya reaktor)	Reaktor <i>scram</i>	Operasi reaktor selesai
4.	28-09-2012	18.24	Listrik PLN padam	Pompa pendingin primer JE01AP01/02 mati, reaktor <i>scram</i>	Mengoperasikan pompa pendingin primer, <i>start-up</i> kembali (berhasil)
5.	29-09-2012	10.24	Listrik PLN <i>trip</i>	Pompa pendingin sekunder mati	Daya reaktor diturunkan, operasikan pompa pendingin sekunder, daya reaktor dinaikkan kembali ke 15 MW
6.	02-10-2012	16.08	Listrik PLN <i>trip</i>	Pompa pendingin sekunder PA03AP01 mati	Daya reaktor diturunkan, operasikan pompa pendingin sekunder PA03AP01, daya reaktor dinaikkan kembali ke 15 MW (berhasil)
7.	28-10-2012	13.52	Listrik PLN <i>trip</i>	Pompa pendingin primer JE01AP01/02 mati, reaktor <i>scram</i>	Hidupkan pompa primer JE01AP01/02, reaktor <i>start-up</i> kembali

Tabel 4. : Data gangguan pada sistem pendukung reaktor

No.	Sistem yang terganggu	Jumlah	Keterangan
1	Sistem Proses 1 & 2	19	Dapat dinormalkan
3	Sistem Ventilasi	15	Dapat dinormalkan
4	Sistem elektrik	7	Dapat dinormalkan
5	Sistem instrumentasi & kendali	4	Dapat dinormalkan
6	Sistem monitor radiasi	8	Dapat dinormalkan
Jumlah gangguan pada sistem pendukung		53	PPIKNo. 154.01..SR.2012 s/d 207.01.SR.2012

Gangguan yang paling banyak terjadi saat operasi reaktor adalah beberapa kali terjadi trip listrik dari PLN sehingga menyebabkan reaktor *scram*, hal ini sudah ditindaklanjuti dengan mengirim surat ke kantor PLN.

Pemanfaatan Reaktor

Tabel 5 : Data Iradiasi dan Pemanfaatan Reaktor selama periode siklus operasi 80³¹

No	Target	Posisi	Tujuan / produksi	Jumlah iradiasi	Keterangan
1	U-235	CIP	Mo-99	13	Berat @ (1,085 –1,599) g
2	TeO ₂	CIP	I-131	11	Berat @ 100 g
3	Sm ₂ O ₃	CIP	Sm-152	2	Berat @ 0.04 g
4	Lu ₂ O ₃	CIP	Lu-176	1	Berat @ 0,004 g
5	MoO ₃	CIP	Mo-98	1	Berat @ 5 g
6	Te-m	CIP	I-123	1	Berat @ 1 g
7	SnO ₂	CIP	Sn-117	1	Berat@ 0,20 g
8	Xe-124	BT S-1	I-125	1	Volume 200 ml, gas
9	Multi unsur	RS	Penelitian dengan AAN	14	Sedimen, makanan, kedelai, keramik, dll.
10	Topaz	IP	pewarnaan	90	Berat ± 135 kg
11	Topaz	FIT	pewarnaan	9	Berat ± 161 kg

Operasi daya tinggi telah dilakukan terdiri dari 7 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 80 adalah sebesar 654,3511 MWD, berlangsung selama 1049,4765 jam efektif. Pada akhir siklus operasi posisi batang kendali *all bank* sebelum *shut down* adalah 557/558 mm. Harga ini memberikan fraksi bakar rerata sebesar $(654,3511/654) \times 7\% = 7,003\%$, harga ini relatif sama dengan fraksi bakar rerata per siklus yaitu 7%.^[1]

Selama operasi daya tinggi terjadi 7 kali gangguan yang menyebabkan reaktor *scram*, atau pemadaman reaktor yang tidak sesuai jadwal, terdiri dari 5 kali gangguan trip listrik PLN, dan gangguan pada sistem monitor daya reaktor 2 kali. 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. Gangguan pada sistem pendukung reaktor memberikan angka yang cukup tinggi yaitu sebanyak

53 kali, terutama pada sistem proses dan ventilasi. Hal ini terjadi karena sitem 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 80 ($\pm 3,5$ bulan), telah berhasil diiradiasi 30 target isotop di *Central Irradiation Position* (CIP), 12 unit sampel penelitian di *rabbit system* (RS), 1 target untuk pembuatan isotop I-125 di fasilitas iradiasi beam tube S-1, dan pewarnaan batu topaz sebanyak 161 kg di fasilitas iradiasi topaz *out core* (FIT) dan ± 135 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.

Hambatan yang terjadi pada saat pemanfaatan reaktor adalah limbah cair yang dihasilkan pemanfaatan beam tube S-5 rata-rata 1m³/h, sehingga memerlukan penanganan yang serius.

Kalibrasi daya dilakukan dengan metode kalorimetri stasioner yaitu dengan mengukur beda suhu masukan dan keluaran air pendingin reaktor. Kalibrasi dilakukan sebanyak 8 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 80 ^[3]

No	Tanggal	Hasil kalibrasi (JKT 04)	Keterangan
1	30-09-2012	$1 \times 10^{-10} \text{ A} = 29,67 \text{ Watt}$	Target : topas, TeO ₂ , Sm ₂ O ₃ , Ir-191
2	08-10-2012	$1 \times 10^{-10} \text{ A} = 30,18 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, TeO ₂ , Sm ₂ O ₃
3	15-10-2012	$1 \times 10^{-10} \text{ A} = 29,96 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, Ir-191, TeO ₂
4	22-10-2012	$1 \times 10^{-10} \text{ A} = 29,52 \text{ Watt}$	Target : topas, LEU, TeO ₂
5	29-10-2012	$1 \times 10^{-10} \text{ A} = 29,45 \text{ Watt}$	Target : topas, Yb ₂ O ₃ , Sm ₂ O ₃ , Lu ₂ O ₃
6	05-11-2012	$1 \times 10^{-10} \text{ A} = 30,31 \text{ Watt}$	Target : topas, TeO ₂ , Sm ₂ O ₃ , Yb ₂ O ₃ , Lu ₂ O ₃
7	12-11-2012	$1 \times 10^{-10} \text{ A} = 30,04 \text{ Watt}$	Target : topas, TeO ₂ , Sm ₂ O ₃ , Yb ₂ O ₃ , Lu ₂ O ₃
8	26-11-2012	$1 \times 10^{-10} \text{ A} = 30,03 \text{ Watt}$	Target : topas, TeO ₂ , Sm ₂ O ₃ , Yb ₂ O ₃ , Lu ₂ O ₃

Selama siklus operasi teras 80 telah dilakukan kalibrasi daya sebanyak 8 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 6) 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.

Hambatan yang terjadi pada saat kalibrasi daya reaktor adalah sering terjadi *scram* reaktor sehingga mempengaruhi nilai konversi daya JKT04 karena ada pengaruh racun Xe.

KESIMPULAN

1. Pembentukan teras siklus operasi 80 telah berhasil dilaksanakan dengan mendapatkan reaktivitas lebih teras sebesar 7,4741 % dan margin keselamatan *stuck rod* sebesar 4,0373 %. Hal ini memberikan indikasi bahwa reaktor dapat

dioperasikan sesuai target dengan margin keselamatan cukup besar.

2. Gangguan *scram*/penurunan daya terjadi 7 kali dan gangguan yang terjadi pada sistem bantu reaktor sebanyak 53 kali, namun semua sistem yang terganggu dapat diatasi.
3. Secara umum dapat disimpulkan meskipun terdapat beberapa gangguan, siklus operasi 80 telah berhasil dilaksanakan dengan baik sesuai target, dengan energi sebesar 654,3511 MWD selama 1049,4765 jam efektif. Digunakan untuk iradiasi target sebanyak 45 buah, pewarnaan batu topaz sebanyak $\pm 296 \text{ kg}$ dan penyediaan neutron untuk tabung berkas PTBIN.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, "Laporan Analisa Keselamatan Reaktor RSG-GAS, revisi 10", Jakarta Th. 2011.
2. SUDIYONO, "Diktat Manajemen Operasi Reaktor RSG-GAS "Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor", Jakarta Th. 2011.
3. ANONIM, "Buku Induk Operasi Reaktor RSG-GAS' No 288 s/d 292", 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 Reaktor RSG-GAS no.RSG.OR.03.02.42/01/80/2012" Th. 2012