

EVALUASI OPERASI REAKTOR RSG-GAS SIKLUS OPERASI 90

Purwadi¹, Sutrisno²

PRSG-BATAN Kawasan Puspiptek Gd. 30 Serpong, 15310

E-mail: purwadi14@batan.go.id

Diterima Editor : 10 Maret 2017

Diperbaiki : 6 April 2017

ABSTRAK

EVALUASI OPERASI REAKTOR RSG-GAS SIKLUS OPERASI 90. Operasi reaktor GA Siwabessy siklus operasi 90 telah berlangsung dari tanggal 26 Desember 2015 s/d 15 April 2016. 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. Sebelum reaktor dioperasikan daya tinggi dilakukan eksperimen kalibrasi batang kendali yang menghasilkan reaktivitas lebih 7,30 % dan reaktivitas *stuck rod* 4,11 % sehingga menjamin reaktor aman dioperasikan. Operasi reaktor siklus 90 telah menghasilkan energi sebesar 640,0609 MWD, digunakan untuk melayani iradiasi sebanyak 114 target/sampel dan penyediaan neutron tabung berkas PSTBM. Gangguan *scram*/penurunan daya terjadi 9 kali karena kegagalan detektor neutron JKT02 dan JKT03. Gangguan yang terjadi pada sistem bantu reaktor sebanyak 36 kali disebabkan kegagalan sistem elektrik, mekanik dan instrumentasi misal blower *cooling tower* PA02 AH001, AH003 dan batang kendali, namun hampir semua gangguan tersebut dapat diatasi. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa meskipun terjadi beberapa gangguan, operasi reaktor RSG-GAS siklus operasi 90 berlangsung dengan baik dan selamat sesuai dengan target yaitu reaktor dioperasikan daya 15 MW dan mencapai energi total 640 MWD sesuai dengan jadwal operasi reaktor yang telah ditetapkan.

Kata kunci: operasi, reaktor, siklus

ABSTRACT

EVALUATION OF RSG-GAS REACTOR IN OPERATION CYCLE NO. 90. The operation of RSG-GAS reactor cycle 90, has conducted from December 26th, 2015 to April 15th, 2016. Based on this operation, data will be evaluated and used for the next reactor operation. The evaluation result will be improve for the core configuration, reactor operation, reactor utilization and experiences. Before the reactor is operated high power, control rod calibration should be performed to achieved the reactivity. The excess reactivity is 7.30% and stuck rod reactivity is 4.11% so as to ensure safe operation of the reactor. The reactor operation cycle No. 90 has achieved the power of 640, 0609 MWD is used for 114 sample irradiation and neutron beam services to PSTBM. Scram occurred 9 times due to failure of neutron detector JKT02 and JKT03 and problem of the reactor auxiliary systems are 36 times due to the failure of electrical systems, mechanical and instrumentation eg cooling tower fans PA02 AH001, AH003 and control rods, but the problem could be handled in the normal condition. The conclusion that the reactor

operation cycle 90 was operation good condition, with the power of 15 MW and achieve a total energy of 640 MWD.

Key word: operation, reactor, cycle

PENDAHULUAN

Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) mempunyai tugas mengoperasikan reaktor RSG-GAS dengan aman dan selamat. Kunci sukses tugas ini bergantung pada kualitas sumber daya manusia yaitu Supervisor dan Operator reaktor yang cakap, terlatih, berdisiplin dan berdedikasi tinggi dalam pengoperasian reaktor.

Berdasarkan pengalaman operasi siklus sebelumnya atau yang biasa dikenal dengan nomor urut teras misal Teras ke 87, 88, 89 dan seterusnya, merupakan faktor yang sangat penting untuk dievaluasi sebagai umpan balik untuk meningkatkan unjuk kerja pengoperasian reaktor, mengingat pada operasi RSG-GAS siklus operasi 90 ini banyak terjadi gangguan, seperti gangguan reaktor *scram*/turun daya yang disebabkan karena kegagalan sistem detektor neutron untuk daerah *intermediate* JKT02 dan daerah daya JKT03 maupun gangguan pada sistem pendukung operasi reaktor misal kegagalan sistem mekanik, elektrik dan instrumentasi seperti kegagalan blower *cooling tower* PA02 AH001, AH003, pompa KBE01 AP001, soket batang kendali dan lain sebagainya. Target dari pengoperasian RSG-GAS siklus 90 adalah reaktor dioperasikan dengan daya 15 MW dengan total energi yang terbangkitkan hingga akhir siklus 640 MWD dan pelaksanaannya sesuai dengan jadwal operasi reaktor tahun 20017 yang telah ditetapkan. Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi yang berkesinambungan terhadap kinerja operasi reaktor beserta sistem bantuannya untuk meningkatkan kelancaran operasi reaktor tiap siklus operasi.

DESKRIPSI

Dalam satu siklus operasi misalnya siklus operasi 90 dengan konfigurasi teras reaktor No. 248, diperlukan beberapa kegiatan agar reaktor dapat dioperasikan dengan aman dan selamat. Beberapa 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 kekritisian 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 kekritisian

Percobaan kekritisian 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

menghindahkan harga batas pemadaman (*shutdown margin*). Pemuatan dilakukan dengan mengisi penuh seluruh posisi elemen bakar di dalam teras reaktor, setelah melakukan pengukuran *stuck rod* 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 reaktor daya tinggi

Dalam siklus operasi satu konfigurasi teras dilakukan 8 s/d 10 kali kegiatan operasi reaktor daya tinggi yang jadwalnya 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 atau produksi isotop, pelayanan penyediaan neutron pada *beam tube* PSTBM, pewarnaan batu topaz, iradiasi sampel untuk AAN 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 meja kendali. Kalibrasi daya reaktor 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 kegiatan kalibrasi daya reaktor untuk memperoleh data yang akurat atau valid.

TATA CARA

Untuk memudahkan evaluasi terhadap pelaksanaan operasi RSG-GAS siklus operasi 90, 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. Kemudian dilakukan kajian dan pembahasan masalah dengan cara membandingkannya dengan bahan acuan/literatur-literatur termasuk Standar Operasional Prosedur (SOP) dan Batas Kondisi Operasi (BKO) yang terdapat dalam laporan analisa keselamatan (LAK) yang berlaku di reaktor RSG-GAS. Dari kegiatan tersebut diharapkan diperoleh kesimpulan dan umpan balik untuk dapat dijadikan acuan dalam operasi reaktor berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan teras awal

Sesuai instruksi pada perintah pemindahan elemen teras (PPET) No.: RSG.OR.03.02.42/01/90/15, pembentukan teras awal tanggal 30 Desember 2015 s/d 15 Januari 2016^[3], dimulai dengan pembongkaran konfigurasi teras no. 246, yaitu dengan mengeluarkan 5 buah elemen bakar FE RI-528, FE RI-529, FE RI-530, FE RI-531, FE RI-532 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-538. 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 584 ke posisi teras C-8 yang telah diinstal dengan unit batang kendali dengan *Absorber* lama No. 14. Kegiatan berikutnya adalah memasukkan 11 elemen bakar ke dalam teras reaktor termasuk 1 elemen bakar baru FE RI-576 ke posisi teras H-4, sehingga terbentuklah konfigurasi awal teras nomor 247. 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.246), pembentukan konfigurasi teras baru awal, terdiri dari 64 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 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 Sub Bidang Keselamatan Operasi di bawah koordinasi Kepala Sub Bidang 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. 247 untuk siklus operasi 90 ini semua kegiatan dapat dilaksanakan sesuai prosedur, tepat waktu tanpa hambatan yang berarti.

Pada saat penggantian elemen kontrol dilakukan pemeriksaan *absorber* batang kendali (Ag In Cd) no. 14 secara *visual* dan hasilnya dituangkan dalam berita acara pemeriksaan *absorber*, dan dalam kegiatan tersebut diperoleh hasil kondisi *absorber* no. 14 dalam kondisi cukup baik tanpa ada bekas goresan.

Pengukuran waktu jatuh batang kendali

Hasil pengukuran waktu jatuh batang kendali dilakukan tanggal 07 Januari 2016 dengan hasil sebagai berikut:^[3] JAD01+09 = 376,5 mdet, JDA02+15 = 355,4 mdet, JDA03+13 = 376,6 mdet, JDA04+11 = 391,4 mdet, JDA05+10 = 386,8 mdet, JDA06+14 = 369,2 mdet, JDA07+16 = 373,7 mdet, dan JDA08+12 = 378,9 mdet

Dari hasil pengukuran waktu jatuh semua batang kendali reaktor RSG-GAS (8 buah), diperoleh hasil < 400 mdet. 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 Kekritisasi

Pada percobaan kekritisasi 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-577 dan RI-578 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* = 291 mm. Reaktivitas lebih pada kondisi ini (291 - 600 mm) adalah 1,40 \$.

Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa kondisi kritis reaktor siklus operasi 90 tercapai dengan memasukkan 8 elemen kontrol dan 33 elemen bakar dengan sisa reaktivitas lebih teras sebesar 1,40 \$. 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 90

Pemuatan reaktivitas lebih siklus operasi 90 dimulai dengan memasukkan 7 buah elemen bakar termasuk 2 buah elemen bakar baru, yaitu RI-579 dan RI-580 masing-masing pada posisi F-3 (I) dan H-9 (I). Dengan telah selesainya pemuatan 7 elemen bakar pada konfigurasi teras no. 247, maka telah terbentuk konfigurasi baru yaitu konfigurasi teras penuh no. 248, dengan jumlah elemen bakar sebanyak 40 buah dan elemen kontrol sebanyak 8 buah, seperti terlihat pada Gambar1^[3].

yaitu 279 mm dapat ditentukan nilai reaktivitas lebih dan reaktivitas padam, sedangkan reaktivitas *stuck rod* diperoleh dari pengurangan reaktivitas padam teras dengan reaktivitas batang kendali yang mempunyai nilai terbesar (JDA 07).

Dari hasil kalibrasi batang kendali tersebut di atas setelah dilakukan perhitungan dengan memasukkan nilai fraksi neutron kasip reaktor RSG-GAS (β) sebesar 0,00765 diperoleh neraca reaktivitas siklus operasi 90 dengan satuan % sebagai berikut :

- Reaktivitas total batang kendali : 13,29 %
- Reaktivitas padam : 5,99 %
- Reaktivitas lebih : 7,30 %
- Reaktivitas *stuck rod* : 4,11 %

Untuk mengetahui apakah reaktivitas lebih teras mampu dioperasikan dengan daya 15 MW dan energi mencapai \pm 640 MWD, maka reaktivitas lebih Siklus operasi 90 perlu 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 Tabell. dapat ditentukan bahwa dengan reaktivitas lebih siklus operasi 90 sebesar 7,30 % 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 Tabell. Margin keselamatan *stuck rod* cukup besar yaitu 4,11 %, hal ini memberikan jaminan bahwa reaktor dapat dioperasikan dengan aman hingga energi 654 MWD, karena margin keselamatan yang dimiliki teras reaktor untuk siklus operasi 90 ini jauh di atas batas aman margin keselamatan *stuck rod* sebesar 0,5 %.

Operasi daya tinggi

Operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 90 terdiri dari 10 sub siklus operasi pada daya nominal 15 MW. Sesuai dengan instruksi yang dikeluarkan oleh Kepala Sub Bidang Pelaksanaan Operasi, kegiatan 10 sub siklus operasi reaktor digunakan untuk iradiasi target, pembuatan radioisotop PT.INUKI, iradiasi sampel di *rabbit system*, penelitian Analisis Aktivasi Neutron (AAN) dan pelayanan neutron melalui sistem tabung berkas PSTBM. Data operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 90 disajikan pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5.

Tabel 2 : Data operasi reaktor daya tinggi siklus operasi 90 ^[3]

No.	No. Instruksi Operasi	Periode	operasi efektif (jam)	Energi reaktor (MWD)
1	IO90/01-B/2016	18-01-2016 s/d 22-01-2016	132,6391	69,3422
2	IO90/02/2016	25-01-2016 s/d 29-01-2016	103,1365	63,0284
3	IO90/03/2016	01-02-2016 s/d 05-02-2016	102,8665	63,5764
4	IO90/04/2016	08-02-2016 s/d 12-02-2016	104,2999	64,5051
5	IO90/05-A/2016	19-02-2016 s/d 20-02-2016	14,9158	6,7039
6	IO90/05-B/2016	26-02-2016	0,5000	0,0001
7	IO90/05-C/2016	29-02-2016 s/d 04-03-2016	105,8491	63,7088
8	IO90/06/2016	07-03-2016 s/d 11-03-2016	108,6030	62,8067
9	IO90/07/2016	21-03-2016 s/d 25-03-2016	97,8490	60,0371
10	IO90/08/2016	28-03-2016 s/d 01-04-2016	103,5827	64,3124
11	IO90/09/2016	04-04-2016 s/d 08-04-2016	99,7166	61,9266
12	IO90/10/2016	11-04-2016 s/d 15-04-2016	96,8162	60,1093
Total siklus operasi 90			1057,2500	640,0598

Posisi batang kendali saat reaktor *shutdown* :576/575 mm

Data Gangguan Reaktor

Tabel 3 : Data gangguan yang terjadi selama siklus operasi 90 ^[3]

NO	TANGGAL	JAM	PENYEBAB GANGGUAN	AKIBAT YANG DITIMBULKAN	KETERANGAN
1.	18-01-2016	20.48	Penunjukan detektor neutron JKT03 CX821 tiba tiba <i>drop</i>	Reaktor <i>scram</i>	Dilakukan pengecekan dan reset modul JKT03 CX821, kemudian dilakukan <i>start up</i> reaktor (berhasil)
2.	20-01-2016	09.43	Batang Kendali jatuh sendiri	Reaktor <i>scram</i>	Dilakukan pengecekan <i>drive unit</i> Batang Kendali, kemudian dilakukan <i>start up</i> reaktor (berhasil)

Tabel 3. Lanjutan

NO	TANGGAL	JAM	PENYEBAB GANGGUAN	AKIBAT YANG DITIMBULKAN	KETERANGAN
3.	25-01-2016	08.37	Batang Kendali jatuh sendiri	Reaktor <i>scram</i>	Dilakukan pengecekan dan pembersihan kontak/steker Batang Kendali, kemudian dilakukan <i>start up</i> reaktor (berhasil)
4.	03-02-2016	11.36	Penunjukan detektor neutron JKT03 CX811 tiba tiba <i>drop</i>	Reaktor <i>scram</i>	Dilakukan pengecekan dan reset modul JKT03 CX811, kemudian dilakukan <i>start up</i> reaktor (berhasil)
5.	04-02-2016	13.24	Listrik PLN <i>trip</i>	Pompa pendingin sekunder PA01 AP01 mati	Daya reaktor diturunkan, operasikan pompa pendingin sekunder PA01 AP01, daya reaktor dinaikkan kembali ke 15 MW (berhasil)
6.	29-02-2016	11.30	Penunjukan detektor neutron JKT02 CX811 maksimum	Reaktor <i>scram</i>	Dilakukan pengecekan dan reset modul JKT02 CX811, kemudian dilakukan <i>start up</i> reaktor (berhasil)
7.	04-02-2016	18.29	Penunjukan detektor neutron JKT02 CX811 maksimum	Reaktor <i>scram</i>	Operasi reaktor ditunda untuk perbaikan detektor neutron JKT02 CX811
8.	23-03-2016	13.26	Listrik PLN <i>trip</i> menyebabkan pompa pendingin primer JE01 AP03, pompa sekunder PA01 AP01 dan AP02 mati	Reaktor <i>scram</i>	Menghidupkan kembali pompa pendingin primer JE01 AP03, pompa sekunder PA01 AP01 dan AP02, kemudian dilakukan <i>start up</i> reaktor (berhasil)

Tabel 3. Lanjutan

NO	TANGGAL	JAM	PENYEBAB GANGGUAN	AKIBAT YANG DITIMBULKAN	KETERANGAN
9.	23-03-2016	14.30	Penunjukan detektor neutron JKT03 CX811 respon lambat sehingga timbul alarm <i>unbalance load</i>	Reaktor <i>scram</i>	Dilakukan pengecekan dan reset modul JKT03 CX811, kemudian dilakukan <i>start up</i> reaktor tetapi tidak kritis sehingga operasi reaktor dilanjutkan tanggal 23-03-2016 (berhasil)

Tabel 4. : Data gangguan pada sistem pendukung reaktor

No.	Sistem yang terganggu	Jumlah	Keterangan
1	Sistem Proses 1 & 2	8	Dapat dinormalkan
3	Sistem Ventilasi	3	Dapat dinormalkan
4	Sistem elektrik	14	Dapat dinormalkan
5	Sistem instrumentasi & kendali	6	Dapat dinormalkan
6	Sistem monitor radiasi	5	Dapat dinormalkan
Jumlah gangguan pada sistem pendukung		36	

Pemanfaatan Reaktor

Tabel 5 : Data Iradiasi dan Pemanfaatan reaktor selama siklus operasi 90⁴¹

No	Target	Posisi	Tujuan / produksi	Jumlah iradiasi	Keterangan
1	Al-6061 T6	CIP	Penelitian	1	Berat 191,801 g
2	Al-6061 T6	CIP	Penelitian	1	Berat 385,376 g
3	Sm ₂ O ₃ + Lu ₂ O ₃ + MoO ₃ + TeO ₂	CIP	Sm-153 Lu-177 Mo-99 I-131	4	Berat @ 0.28 mg – 5000 mg
4	Au foil	RS-2	Au-198	1	Berat 22,8 mg
5	Lingkungan	RS	Al-28, Ca-49 Fe-58, As-76	9	Berat 30 mg
6	Sedimen	RS	Penelitian dengan AAN	16	Berat 30 mg
7	Mutiara	RS	Penelitian	1	Berat 2 g

Tabel 5. Lanjutan

No	Target	Posisi	Tujuan / produksi	Jumlah iradiasi	Keterangan
8	Batuan	RS	Penelitian	1	Berat 2 g
9	Gd ₂ O ₃	CIP	Tb-20161	1	Berat 20 mg
10	Re metal	CIP	Re	1	Berat 50 mg
11	Batuan	RS	Penelitian	4	Berat 30 mg
12	Partikulat udara	RS	Multi unsur	1	5 mg
13	Topaz	RS	Penelitian	1	40 mg
14	Xe	S-1	Xe-124	1	200 ml
15	Bahan pangan	RS	Fe-59,Cr-51 Hg-203,Al-28	11	Berat @ 20 mg – 30 mg
16	Au-197	Out core	Au-198	4	Berat @ ± 0,2 g
17	Pangan	RS	Multi unsur	12	Berat 50 mg
18	Au-197	ElemenBa kar	Au-198	11	Berat @ ± 0,2 g
19	Biologi pangan	RS	Multi unsur	6	Berat @ 50 mg – 60 mg
20	Tanah	RS	La-140 Ce-141 Ti-50 So-45	27	Berat @ 20 mg – 40 mg

Operasi daya tinggi telah dilakukan terdiri dari 10 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 90 adalah sebesar 640,0609 MWD, berlangsung selama 1057,25 jam efektif.

Pada akhir siklus operasi reaktor posisi batang kendali sebelum *shut down* adalah *bank* 576 mm dan *reg. rod* 575 mm. Harga ini memberikan fraksi bakar rerata sebesar $(640,0609 / 654) \times 7 \% = 6,85 \%$, harga ini relatif sama dengan fraksi bakar rerata per siklus secara perhitungan yaitu 7 %.^[1]

Selama operasi daya tinggi terjadi 9 kali gangguan terdiri dari 2 kali gangguan trip listrik PLN dan sistem instrumentasi reaktor 7 kali. Kasus terganggunya pasokan listrik dari PT. 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 36 kali, terutama pada sistem proses. Hal ini terjadi karena sitem tersebut mempunyai jumlah komponen yang banyak dan telah terjadinya proses penuaan pada sistem/komponen yang bersangkutan. Namun demikian sebagian besar gangguan tersebut dapat diatasi.

Pemanfaatan fasilitas iradiasi reaktor belum memberikan angka yang cukup selama operasi

reaktor siklus 90 ($\pm 3,5$ bulan), baru diiradiasi 8 target isotop di *Central Irradiation Position* (CIP), 90 unit sampel penelitian di *rabbit system* (RS) dan 1 target untuk pembuatan isotop I-125 di fasilitas iradiasi *beam tube* S-1. Namun di sisi lain reaktor paling banyak dimanfaatkan untuk pelayanan penyediaan sumber neutron melalui *beam tube* S-2, S-4, S-5, dan S-6, yang dikelola oleh Pusat Sain Teknologi Bahan Maju (PSTBM) -BATAN untuk kegiatan penelitian.

Kalibrasi Daya Reaktor

Kalibrasi daya reaktor dilakukan dengan metode kalorimetri stasioner yaitu dengan mengukur beda suhu masukan dan keluaran air sistem pendingin primer. Kalibrasi dilakukan sebanyak 10 kali terutama pada awal, pertengahan dan akhir siklus operasi. Hasil kalibrasi daya reaktor disajikan pada tabel 6 berikut:

Tabel 6. : Hasil kalibrasi daya reaktor siklus operasi 90 ^[3]

No	Tanggal	Hasil kalibrasi (JKT 04)	Keterangan
1	21-01-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 29,50 \text{ Watt}$	Target : Al6061, Lu ₂ O ₃ , Sm ₂ O ₃ , TeO ₂ , MoO ₃
2	28-01-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 29,28 \text{ Watt}$	Target : Al6061
3	04-02-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 28,91 \text{ Watt}$	Target : Al6061, Gd ₂ O ₃ , Re
4	11-02-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 30,24 \text{ Watt}$	Target : Al6061, Sm ₂ O ₃ , TeO ₂ , MoO ₃ , X-124
5	03-03-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 29,72 \text{ Watt}$	Target : Al6061
6	10-03-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 30,24 \text{ Watt}$	Target : Al6061
7	22-03-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 30,32 \text{ Watt}$	Target : Al6061
8	01-04-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 30,31 \text{ Watt}$	Target : Al6061, Lu ₂ O ₃ , Sm ₂ O ₃ , TeO ₂ , MoO ₃
9	06-04-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 29,85 \text{ Watt}$	Target : Al6061
10	13-04-2016	$1 \times 10^{-10} \text{A} = 30,37 \text{ Watt}$	Target : Al6061

Selama siklus operasi atau teras ke 90 telah dilakukan kalibrasi daya reaktor sebanyak 10 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 reaktor (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.

KESIMPULAN

1. Pembentukan teras siklus operasi 90 telah berhasil dilaksanakan dengan mendapatkan reaktivitas lebih teras sebesar 7,30 % dan margin keselamatan *stuck rod* sebesar 4,1 %. Hal ini memberikan indikasi bahwa reaktor dapat dioperasikan sesuai target dengan *margin* keselamatan cukup besar.
2. Gangguan *scram*/penurunan daya terjadi 9 kali dan gangguan yang terjadi pada sistem bantu reaktor sebanyak 36 kali, namun semua sistem yang terganggu dapat diatasi.
3. Secara umum dapat disimpulkan meskipun terdapat beberapa gangguan, siklus operasi 90 telah berhasil dilaksanakan dengan baik sesuai target, dengan energi terbangkitkan sebesar 640,0609 MWD selama 1057,25 jam efektif digunakan untuk iradiasi target sebanyak 114 buah dan penyediaan neutron untuk tabung berkas PSTBM.

SARAN

1. Dari beberapa gangguan operasi reaktor RSG-GAS penyebab paling dominan adalah kegagalan instrumentasi batang kendali dan

detektor neutron, maka sebelum operasi reaktor teras berikutnya agar dilakukan perawatan atau perbaikan pada sistem tersebut sehingga tidak mengganggu jalannya operasi reaktor teras berikutnya.

2. Agar PRSG lebih giat melakukan kegiatan koordinasi atau sosialisasi dengan *stake holder* terkait pemanfaatan fasilitas iradiasi di RSG-GAS karena masih banyak fasilitas yang belum dimanfaatkan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, "Laporan Analisa Keselamatan Reaktor RSG-GAS, revisi 10.1", Jakarta Th. 2011.
2. SUDIYONO, "Diktat Manajemen Operasi Reaktor RSG-GAS "Diklat Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor", Jakarta Th. 2014.
3. ANONIM, "Buku Induk Operasi Reaktor RSG-GAS" no 324 s/d 327", Th. 2016
4. ANONIM, "Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS", Teras 90 Th. 2016.
5. ANONIM, "Perintah Pemindahan Elemen Teras Reaktor RSG-GAS no.RSG.OR.03.02.42/01/90/15" Th. 2015