

EVALUASI KINERJA GARPU PENYERAP BARU BATANG KENDALI RSG-GAS

Slamet Wiranto, Purwadi, Arif Hidayat, Agus Sanjaya

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA GARPU PENYERAP BARU BATANG KENDALI RSG-GAS. Pengoperasian reaktor RSG-GAS hingga saat ini telah melakukan penggantian 8 garpu penyerap batang kendali, dengan garpu penyerap baru buatan PT. Batan Teknologi. Setelah digunakan hampir 5 tahun perlu dilakukan evaluasi terhadap garpu penyerap baru tersebut untuk mengetahui kondisi fisik serta kinerjanya, apakah masih dalam kondisi baik dan berfungsi sesuai persyaratan operasinya. Evaluasi dilakukan dengan cara mempelajari dan menganalisis data penggunaan garpu penyerap selama berada di dalam teras reaktor, yang meliputi hasil pemeriksaan visual, pengukuran waktu jatuh batang kendali, dan pengukuran harga reaktivitas/ margin keselamatan batang kendali yang telah dilakukan setiap siklus operasi. Dari beberapa kegiatan tersebut dapat disimpulkan bahwa hingga siklus operasi 79, bentuk fisik/mekanik kondisi semua garpu penyerap masih dalam kondisi baik, kemampuan menyerap neutron garpu penyerap berfungsi dengan baik dan layak digunakan untuk operasi dengan energi ± 660 MWD/siklus, yaitu ditandai dengan diperolehnya harga ρ -lebih yang mencukupi kebutuhan operasi dengan margin keselamatan cukup besar.

Kata kunci : Reaktor, garpu penyerap, batang kendali.

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF THE NEW FORK-ABSORBERS OF RSG-GAS CONTROL ROD.

During the operation of RSG-GAS reactor, it has been replaced 8 fork-absorber by the new absorber from PT. Batan Teknologi. After almost 5 years under utilization it is important to be evaluated to determine the physical condition and its performance, which is still in good condition and functioning according to the requirements of its operations. The evaluation has been carried out by studying and analyzing the data of the fork-absorber utilization in the the reactor core. The fork absorber data consist of visual inspection, control rod drop time measurement and control rod reactivity and safety margin measurement for each operation cycle. Through the observation up to date with the operating cycle of 79, could be concluded that the fork-absorber condition is still good, and has ability, to support the operation until ± 660 MWD/cycle, which is characterized by obtaining the value of ρ -excess is sufficient for operation, with a large safety margin.

Key word : Reactor, fork-absorber, control rod.

PENDAHULUAN

Saat ini pengoperasian reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS) telah menggunakan garpu penyerap batang kendali baru (8 buah). Mekanisme penggantian garpu penyerap dilakukan secara bertahap, satu per-satu pada setiap pergantian konfigurasi teras reaktor mulai dari siklus operasi 62 sampai dengan siklus operasi 79. Garpu penyerap baru yang digunakan adalah garpu penyerap buatan PT. Batan Teknologi (PT. BATEK), dengan spesifikasi yang sama dengan garpu penyerap lama buatan INTERATOM GmbH. Garpu penyerap baru sebelum digunakan telah dilakukan beberapa uji mulai dari uji dingin, uji neutronik dengan menempatkannya di tepi teras reaktor (posisi H-10) pada saat reaktor beroperasi daya tinggi, dan uji operasi pada posisi kerjanya hingga operasi reaktor mencapai daya 30 MW.

Karena batang kendali khususnya garpu penyerap merupakan salah satu komponen penting dalam pengoperasian reaktor, terutama untuk

keselamatan maka setelah digunakan hampir 5 tahun perlu dilakukan evaluasi terhadap 8 garpu penyerap tersebut untuk mengetahui kondisi fisik serta kinerjanya, apakah masih dalam kondisi baik dan berfungsi sesuai spesifikasinya. Garpu penyerap batang kendali RSG-GAS dikatakan masih dalam kondisi baik apabila secara visual tidak ditemukan cacat, pembengkokan, pembengkakan yang ditandai dengan waktu jatuh tidak melebihi batas yang telah ditentukan. Selain itu jika garpu penyerap tersebut digunakan, reaktor mampu dioperasikan sesuai target yang telah ditentukan dengan aman dan selamat dengan margin keselamatan yang cukup.

Evaluasi dilakukan dengan cara mempelajari dan menganalisis data penggunaan garpu penyerap yang meliputi pengukuran waktu jatuh batang kendali, pengukuran reaktivitas/margin keselamatan batang kendali dan pemeriksaan visual garpu penyerap yang dilakukan pada setiap penggantian elemen kontrol, mulai dari siklus operasi RSG-GAS no. 62 hingga siklus operasi no. 79. Dari kegiatan tersebut di atas diharapkan didapat masukan dan

data dukung untuk perbaikan fabrikasi dan pemakaian garpu penyerap baru tersebut secara optimal, dengan tidak mengabaikan persyaratan keselamatan.

TEORI

Salah satu faktor utama penentu tercapainya operasi reaktor sesuai target dengan selamat adalah batang kendali. Reaktor RSG-GAS mempunyai 8 batang kendali yang terpasang simetris di teras reaktor diantara 40 elemen bakar. Batang kendali reaktor terdiri dari unit penggerak, pipa transmisi/penyangga, elemen kendali dan garpu penyerap. Ke-empat komponen tersebut dirangkai pada posisinya sehingga garpu penyerap bisa digerakkan naik turun di teras reaktor pada lubang yang ada pada elemen kontrol melalui pipa transmisi dan rangkaian elektronis dari ruang kendali utama. Dengan mengatur naik-turun posisi garpu penyerap, reaktor bisa dioperasikan, dipadamkan dan diatur besar dayanya sesuai yang kita kehendaki. Disamping sebagai pengendali, batang kendali berfungsi pula sebagai batang pengaman yaitu dengan menempatkan garpu penyerap pada posisi masuk secara penuh ke dalam teras reaktor untuk menyerap neutron yang bisa dilakukan secara perlahan maupun secara cepat (SCRAM) baik secara manual maupun otomatis.

Bahan penyerap batang kendali reaktor terbuat dari bahan yang mempunyaiampang lintang serapan neutron yang sangat besar dan tahan terhadap kerusakan-kerusakan yang disebabkan oleh benturan mekanik, panas maupun radiasi. Garpu penyerap batang kendali RSG-GAS terdiri dari 2 lempeng berbentuk garpu dengan ukuran lebar 6,5 mm, tebal 5,08 mm, dan tinggi aktif 625 mm. Masing-masing lempeng dibungkus dengan kelongsong yang terbuat dari bahan SS 321. Bahan penyerap terbuat dari Ag In Cd (18%, 15% dan 5%), dengan tebal 3,38 mm. Kecepatan gerakan naik-turun batang kendali adalah 0,564 mm/detik.

Untuk menjaga keandalan kinerja sistem batang kendali, RSG-GAS secara periodik melakukan perawatan terhadap komponen-komponennya terutama pada komponen yang secara langsung berhubungan dengan keselamatan, mulai dari perawatan harian, mingguan, 3 bulanan, 6 bulanan hingga tahunan.

Meskipun bahan, sistem, maupun perlakuan pengerjaan & perawatan telah dilakukan dengan persyaratan yang ketat, di dalam Batasan Kondisi Operasi (BKO) Laporan Analisa Keselamatan RSG-GAS¹⁾ masih diberlakukan ketentuan sebagai berikut:

1. Waktu jatuh masing-masing batang kendali dari ketinggian 80%, tidak boleh melebihi 470

milidetik dan rata-rata untuk keseluruhan batang kendali tidak boleh melebihi 400 milidetik.

2. Harga margin keselamatan batang kendali (reaktivitas *stuck-rod*) yaitu harga reaktivitas padam reaktor dikurangi harga reaktivitas batang kendali terbesar harus lebih besar dari 0,5 %.
3. Setelah umur garpu penyerap mencapai 30.000 MWD, atau garpu penyerap mengalami kerusakan, maka garpu penyerap tersebut harus diganti.

Persyaratan no. 3 dalam BKO ini telah dilakukan di reaktor RSG-GAS yaitu dengan mengganti semua batang penyerap yang dimiliki reaktor dengan batang penyerap yang baru. Sedangkan persyaratan no. 1 dan 2 dipenuhi dengan melakukan pengukuran pada setiap siklus operasi, setelah selesai pembentukan teras kerja baru.

Nilai waktu jatuh batang kendali akan menunjukkan angka yang lebih besar jika batang penyerap telah mengalami pembengkokan/penggembungan, selain itu bisa juga disebabkan saat fabrikasi pengelasan sambungan-sambungan kurang halus, dan atau saat penyambungan dengan kontrol elemen terpasang tidak presisi.

TATA KERJA

Pengukuran waktu jatuh batang kendali

Pengukuran waktu jatuh batang kendali dilakukan setiap akhir pembentukan/ perubahan teras dan atau setelah selesai perbaikan batang kendali. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur elektronis yang dipasang pada terminal posisi batang kendali di ruang pengukuran (*Marshaling kiosk*). Setelah batang kendali dinaikkan ke posisi atas, batang kendali tersebut dipancung secara manual. Waktu pada saat batang kendali di pancung sampai dengan saat batang kendali mencapai posisi terbawah (*Absorber down 100%*) adalah waktu jatuh batang kendali yang terbaca pada *counter* elektronis.

Data waktu jatuh batang kendali yang tercatat pada setiap siklus operasi adalah data waktu jatuh batang kendali berdasarkan posisi kabel modul batang kendali di teras reaktor yaitu JDA01 posisi E9, JDA02 posisi G6, JDA03 posisi F8, JDA04 posisi B7, JDA05 posisi C5, JDA06 posisi C8, JDA07 posisi D4, dan JDA08 posisi B7. Pada kenyataannya pada posisi-posisi teras tersebut sesuai kebutuhan manajemen teras ada kemungkinan diisi oleh batang kendali/garpu penyerap yang berbeda-beda untuk masing-masing siklus operasi. Dari uraian tersebut dapat dibuat tabel data garpu penyerap untuk masing-masing siklus terdiri dari :

- Posisi garpu penyerap di teras reaktor
- Dengan elemen kontrol yang mana garpu penyerap terpasang

- Hasil pengukuran waktu jatuh batang kendali. Data yang diperlukan untuk pengisian tabel riwayat garpu penyerap diperoleh dari buku induk operasi, buku induk bahan bakar dan file pengukuran waktu jatuh batang kendali untuk seluruh siklus operasi.

Pengukuran reaktivitas batang kendali

Dari buku induk kalibrasi batang kendali^[2] dapat diambil data harga reaktivitas masing-masing batang kendali yang digunakan untuk menentukan berapa besar harga reaktivitas total, reaktivitas lebih, reaktivitas padam dan reaktivitas *stuck-rod* reaktor untuk masing-masing siklus operasi. Reaktivitas *stuck-rod* diperoleh dari hasil pengurangan reaktivitas padam dengan reaktivitas satu batang kendali dengan harga reaktivitas terbesar. Harga reaktivitas *stuck-rod* merupakan indikator apakah seluruh batang kendali mempunyai margin keselamatan yang cukup untuk memadamkan reaktor meskipun ada satu batang kendali dengan reaktivitas terbesar gagal masuk ke teras reaktor/macet.

Dengan asumsi jumlah dan posisi Uranium di dalam teras reaktor relatif sama, maka dengan mempelajari dan membandingkan harga-harga reaktivitas batang kendali pada siklus operasi sebelum dan sesudah penggantian garpu penyerap hingga sekarang, dapat diperkirakan apakah garpu-garpu penyerap pada saat ini berfungsi baik atau terdapat perbedaan terhadap garpu penyerap lama. Data ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan masukan untuk perbaikan pembuatan garpu penyerap berikutnya, dan untuk mengoptimalkan penggunaannya di teras reaktor.

Pemeriksaan visual

Pemeriksaan secara visual pada garpu penyerap dilakukan pada saat penggantian elemen kendali. Batang kendali dipisahkan sedemikian sehingga tersisa bagian pipa penyangga bawah yang masih tersambung dengan elemen kendali dan garpu penyerap. Karena garpu penyerap yang diperiksa masih mempunyai aktivitas radiasi yang tinggi, maka pemeriksaan dilakukan dalam kondisi garpu penyerap berada di dalam air. Dengan menggunakan alat khusus, elemen kontrol dipisahkan dari pipa penyangga bawah+garpu penyerap dengan membuka baut penguncinya. Setelah baut pengunci terbuka pipa penyangga+garpu penyerap bisa diangkat keluar dari elemen kendali, dan dilakukan pemeriksaan secara visual apakah masih dalam kondisi baik atau ada tanda-tanda terjadinya kerusakan mekanik pada garpu penyerap tersebut. Pemeriksaan dituangkan dalam lembar berita acara pemeriksaan yang ditandatangani oleh semua pelaksana termasuk satu personil dari Sub bidang keselamatan Operasi reaktor RSG-GAS.

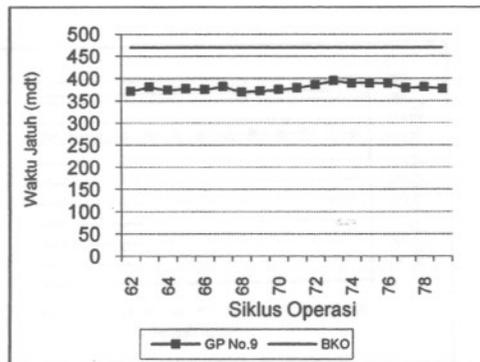
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran waktu jatuh batang kendali

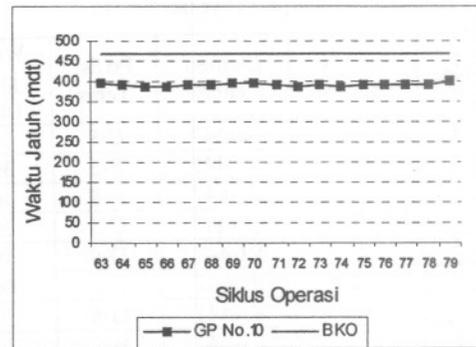
Hasil-hasil pengukuran waktu jatuh masing-masing batang kendali / garpu penyerap baru dari siklus operasi ke 62 sampai dengan siklus operasi ke 79 dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 8 dan Gambar 1 sampai dengan Gambar 8, Data-data dalam tabel ini adalah hasil pengukuran waktu jatuh batang kendali dari 80% ketinggian aktif, atau dari ketinggian posisi batang kendali 600 mm. Pengukuran dilakukan setiap siklus operasi setelah teras kerja baru terbentuk, selama garpu penyerap berada di dalam teras reaktor untuk berbagai posisinya di teras reaktor dan tersambung dengan elemen kendali yang mengikutinya.²⁾

Tabel 1. Data Garpu Penyerap No. 9

No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)	No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)
1	62	RI-402	F-5	371	10	71	RI-465	F-8	379
2	63	RI-402	F-8	381	11	72	RI-465	C-5	386
3	64	RI-402	C-5	374	12	73	RI-465	D-4	395
4	65	RI-402	D-4	377	13	74	RI-465	E-9	390
5	66	RI-402	E-9	375	14	75	RI-465	G-6	390
6	67	RI-402	G-6	382	15	76	RI-465	B-7	389
7	68	RI-402	B-7	370	16	77	RI-513	C-8	379
8	69	RI-465	C-8	372	17	78	RI-513	F-5	381
9	70	RI-465	F-5	375	18	79	RI-513	F-8	378



Gambar 1. Waktu Jatuh GP No.9 Siklus Operasi 62 s/d 79



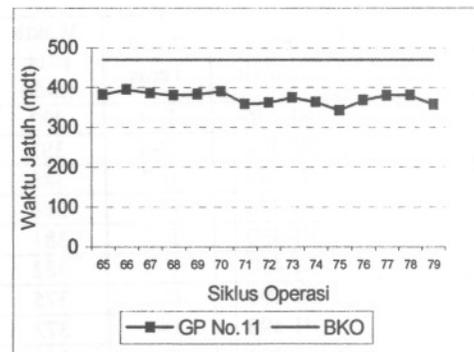
Gambar 2. Waktu Jatuh GP No.10 Siklus Operasi 63 s/d 79

Tabel 2. Data Garpu Penyerap No. 10

No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)	No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)
1	63	RI-416	C-8	396	10	72	RI-467	F-5	387
2	64	RI-416	F-5	389	11	73	RI-467	F-8	391
3	65	RI-416	F-8	386	12	74	RI-467	C-5	388
4	66	RI-416	C-5	387	13	75	RI-467	D-4	393
5	67	RI-416	D-4	393	14	76	RI-467	E-9	391
6	68	RI-416	E-9	392	15	77	RI-467	G-6	392
7	69	RI-416	G-6	394	16	78	RI-467	B-7	392
8	70	RI-416	B-7	396	17	79	RI-515	C-8	401
9	71	RI-467	C-8	391					

Tabel 3. Data Garpu Penyerap No. 11

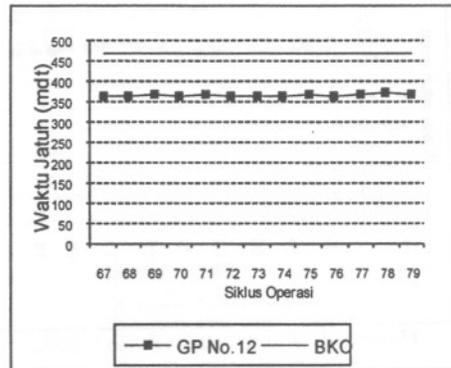
No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)
1	65	RI-426	C-8	382
2	66	RI-426	F-5	395
3	67	RI-426	F-8	386
4	68	RI-426	C-5	381
5	69	RI-426	D-4	383
6	70	RI-426	E-9	390
7	71	RI-426	G-6	359
8	72	RI-426	B-7	362
9	73	RI-489	C-8	375
10	74	RI-489	F-5	363
11	75	RI-489	F-8	342
12	76	RI-489	C-5	368
13	77	RI-489	D-4	380
14	78	RI-489	E-9	381
15	79	RI-489	G-6	357



Gambar 3. Waktu Jatuh GP No.11 Siklus Operasi 65 s/d 79

Tabel 4. Data Garpu Penyerap No. 12

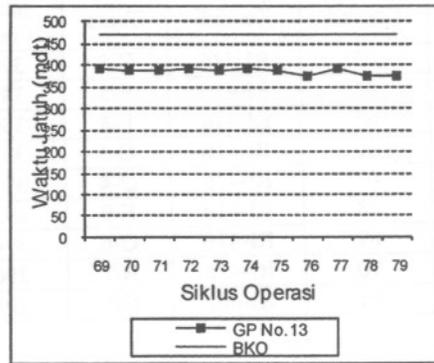
No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)
1	67	RI-447	C-8	365
2	68	RI-447	F-5	362
3	69	RI-447	F-8	369
4	70	RI-447	C-5	363
5	71	RI-447	D-4	368
6	72	RI-447	E-9	366
7	73	RI-447	G-6	366
8	74	RI-447	B-7	366
9	75	RI-491	C-8	369
10	76	RI-491	F-5	365
11	77	RI-491	F-8	369
12	78	RI-491	C-5	371
13	79	RI-491	D-4	368



Gambar 3. Waktu Jatuh GP No.11 Siklus Operasi 65 s/d 79

Tabel 5. Data Garpu Penyerap No. 13

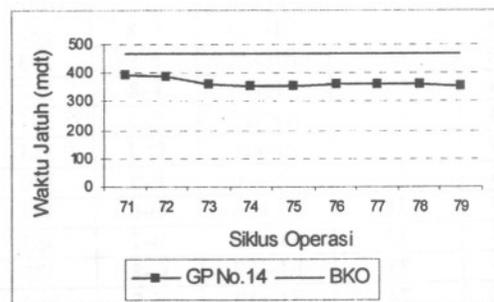
No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)
1	69	RI-425	E-9	392
2	70	RI-425	G-6	387
3	71	RI-425	B-7	387
4	72	RI-468	C-8	394
5	73	RI-468	F-5	390
6	74	RI-468	F-8	392
7	75	RI-468	C-5	389
8	76	RI-468	D-4	376
9	77	RI-468	E-9	391
10	78	RI-468	G-6	375
11	79	RI-468	B-7	375



Gambar 3. Waktu Jatuh GP No.11 Siklus Operasi 65 s/d 79

Tabel 6. Data Garpu Penyerap No. 14

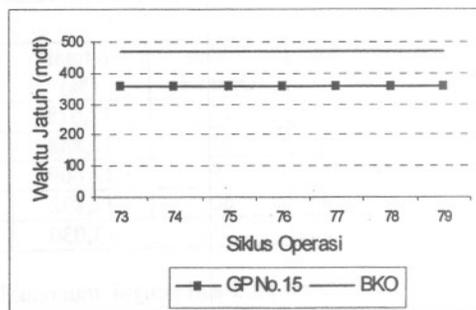
No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)
1	71	RI-446	E-9	392
2	72	RI-446	G-6	387
3	73	RI-446	B-7	386
4	74	RI-446	C-8	381
5	75	RI-490	F-5	381
6	76	RI-490	F-8	382
7	77	RI-490	C-5	375
8	78	RI-490	D-4	372
9	79	RI-490	E-9	386



Gambar 6. Waktu Jatuh GP No.14 Siklus Operasi 71 s/d 79

Tabel 7. Data Garpu Penyerap No. 15

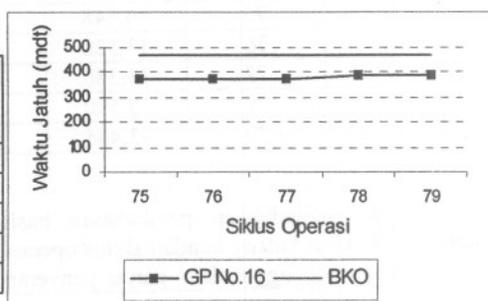
No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)
1	73	RI-448	E-9	360
2	74	RI-448	G-6	358
3	75	RI-448	B-7	357
4	76	RI-492	C-8	359
5	77	RI-492	F-5	360
6	78	RI-492	F-8	359
7	79	RI-492	C-5	357



Gambar 7. Waktu Jatuh GP No.15 Siklus Operasi 73 s/d 79

Tabel 8. Data Garpu Penyerap No. 16

No.	Siklus Operasi	Elemen Kendali	Posisi Teras	Waktu jatuh (mdt)
1	75	RI-466	E-9	374
2	76	RI-466	G-6	371
3	77	RI-466	B-7	374
4	78	RI-514	C-8	388
5	79	RI-514	F-5	385



Gambar 8. Waktu Jatuh GP No.16 Siklus Operasi 75 s/d 79

Waktu jatuh batang kendali memberikan indikasi batang kendali khususnya garpu penyerap apakah masih dalam kondisi baik atau sudah mengalami pembengkokan/ pengembangan. Bila garpu penyerap sudah bengkok/mengembang tentu waktu jatuhnya akan lebih besar dibanding dengan garpu penyerap dalam kondisi baik.

Dalam Batasan Kondisi Operasi Laporan Analisa Keselamatan (BKO-LAK RSG-GAS) Bab 17^[1] ditentukan bahwa waktu jatuh batang kendali 80% tinggi aktif bahan penyerap tidak boleh melebihi 470 milidetik dan rata-rata untuk keseluruhan batang kendali tidak boleh melebihi 400 milidetik.

Dari data Tabel 1 sampai dengan Tabel 8 diatas menunjukkan bahwa mulai dari siklus operasi 62 sampai dengan siklus operasi ke 79 tidak ada satupun batang kendali yang mempunyai waktu jatuh melebihi batasan yang tercantum dalam BKO-LAK RSG-GAS yaitu 470 mdt. Hal ini menunjukkan bahwa ditinjau dari segi bentuk fisik/mekanik garpu penyerap tidak mengalami pembengkokan / pengembangan karena tidak ada perlambatan waktu jatuh akibat perubahan dimensi, dengan kata lain garpu penyerap masih dalam keadaan baik tanpa ada pelengkungan maupun pengembangan.

Perlu dikemukakan disini meskipun semua garpu penyerap baru mempunyai waktu jatuh masih

di bawah persyaratan BKO, tetapi jika dibanding dengan garpu penyerap lama buatan Interatom GmbH³⁾, Garpu penyerap baru mempunyai waktu jatuh relatif lebih besar terutama garpu penyerap baru yang dibuat lebih awal yaitu garpu penyerap No.9 s/d No.14. Garpu penyerap No.10 perlu mendapat catatan tersendiri karena sejak pemakaian pertama sudah mempunyai waktu jatuh yang relatif besar bahkan pada pengukuran terakhir pada siklus operasi 79 sudah melewati 400 mdt, yang merupakan rekor tertinggi selama pemakaian garpu penyerap di RSG-GAS. Waktu jatuh yang lebih besar pada garpu penyerap baru ini sangat dimungkinkan karena faktor pengerjaan pada saat fabrikasi kurang halus terutama pada sambungan-sambungan lasannya. Garpu penyerap No.15 dan 16 mempunyai waktu jatuh lebih kecil relatif sama dengan garpu penyerap lama, hal ini memberikan indikator bahwa kualitas fabrikasi garpu penyerap buatan PT BATEK saat ini sudah lebih baik.

Pengukuran reaktivitas batang kendali

Hasil pengukuran reaktivitas batang kendali lama siklus operasi 57 s/d 61 dan pengukuran reaktivitas batang kendali setelah semua garpu penyerap diganti dengan yang baru yang meliputi reaktivitas total, reaktivitas lebih, reaktivitas padam, dan reaktivitas *stuck-rod* masing-masing disajikan dalam Tabel 9 dan Tabel 10.²⁾

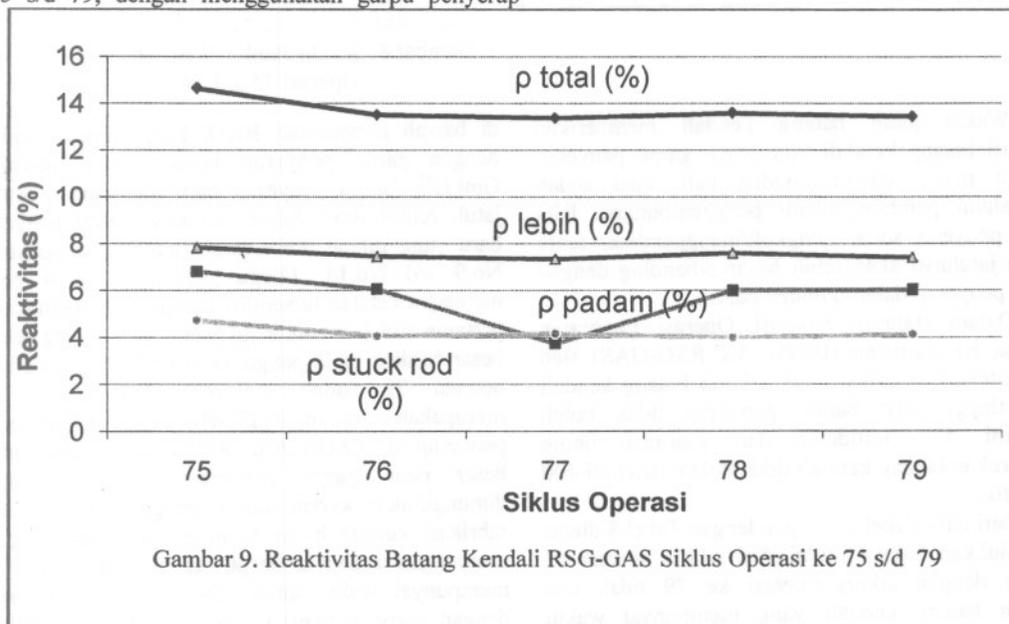
Tabel 9. Hasil pengukuran reaktivitas batang kendali siklus operasi 57 s/d 61

No.	Siklus Operasi	ρ total (%)	ρ padam (%)	ρ lebih (%)	ρ stuck rod (%)
1	57	12,678	5,015	7,663	3,150
2	58	12,848	5,068	7,780	3,144
3	59	12,609	5,160	7,449	3,299
4	60	12,832	5,164	7,668	3,449
5	61	13,030	5,252	7,779	3,339

Tabel 10. Hasil pengukuran reaktivitas batang kendali siklus operasi 75 s/d 79

No.	Siklus Operasi	ρ total (%)	ρ padam (%)	ρ lebih (%)	ρ stuck rod (%)
1	75	14,648	6,816	7,832	4,720
2	76	13,520	6,063	7,457	4,061
3	77	13,380	3,737	7,348	4,152
4	78	13,590	5,990	7,600	3,997
5	79	13,443	6,028	7,415	4,123

Untuk memudahkan pembahasan hasil pengukuran reaktivitas batang kendali siklus operasi 75 s/d 79, dengan menggunakan garpu penyerap baru, disajikan dalam bentuk gambar grafik sebagai berikut :



Gambar 9. Reaktivitas Batang Kendali RSG-GAS Siklus Operasi ke 75 s/d 79

Maksud dari pengukuran ini adalah untuk melihat unjuk kerja kemampuan batang kendali dalam penyerapan neutron pada teras kerja normal, yaitu pada siklus operasi ke 75 hingga ke 79, dengan menggunakan garpu penyerap baru. Pada kondisi untuk setiap siklus operasi, bentuk dan komposisi teras reaktor relatif sama, garpu penyerap dikatakan baik apabila dari hasil kalibrasi batang kendali didapat hasil ρ - lebih, ρ -padam, dan ρ -stuck rod dengan harga besar sehingga ia mampu digunakan untuk operasi dengan total energi dan angka

keselamatan yang besar sesuai desain. Penurunan unjuk kerja bahan penyerap bisa dilihat dengan membandingkan harga ρ -total batang kendali dari siklus per siklus yaitu siklus operasi 75 hingga siklus operasi 79. Dari Gambar 9 terlihat bahwa telah terjadi penurunan ρ -total batang kendali meskipun tidak signifikan karena terbatasnya data yang dapat diambil sehingga kondisi ini harus selalu dipantau untuk siklus-siklus operasi berikutnya. Namun demikian dilihat dari pengukuran ρ -lebih dan ρ -stuck rod diperoleh harga yang cukup baik ,

terutama ρ -*stuck rod* diperoleh harga jauh di atas persyaratan BKO-LAK RSG-GAS > 0.5 %. Pedoman penggunaan ρ -lebih untuk operasi daya 30

MW dan 15 MW seperti terlihat pada Tabel 11. berikut¹⁾:

Tabel 11. Neraca penggunaan reaktivitas lebih

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

Catatan : *) LAK RSG-GAS

***) Hasil percobaan, perhitungan dan ekstrapolasi.

Dari Tabel 11 dapat dilihat bahwa pada operasi daya 15 MW untuk bisa mencapai energi 660 MWD diperlukan ρ -lebih sebesar 7,6 %. Nilai ini dengan asumsi kebutuhan reaktivitas untuk mengkompensasi eksperimen/target iradiasi sebesar 2 %. Jika reaktivitas negatif fasilitas eksperimen tidak mencapai 2 % atau bahkan mempunyai reaktivitas positif, maka nilai ρ -lebih sekitar 7,6 % akan sangat leluasa untuk mengoperasikan reaktor hingga energi 660 MWD. Setelah penggantian garpu penyerap baru nilai ρ -lebih berkisar pada harga 7,60 % dan ρ -*stuck rod* jauh di atas batas margin keselamatan 0,5 %, hal ini menunjukkan bahwa garpu penyerap baru sangat mampu untuk digunakan mengoperasikan reaktor hingga energi 660 MWD dengan aman dan selamat.

Untuk memudahkan pengaturan manajemen teras jumlah Uranium dan komposisi elemen teras dari satu siklus operasi ke siklus yang lain diusahakan sama, namun pada kenyataannya sering terjadinya gangguan operasi yang mengakibatkan terjadinya perbedaan jumlah Uranium. Hal ini akan memberikan dampak pada nilai ρ -lebih dan ρ -*stuck rod* teras reaktor, kelebihan jumlah Uranium dalam suatu siklus akan memberikan dampak nilai ρ -lebih membesar dan nilai ρ -*stuck rod* mengecil. Namun

selama nilai ρ -*stuck rod* tidak lebih kecil dari 0,5 %, reaktor tetap dapat dioperasikan dengan aman. Dengan diperolehnya nilai ρ -*stuck rod* yang besar pada siklus-siklus operasi setelah penggantian garpu penyerap, maka diperoleh jaminan bahwa garpu penyerap baru tersebut sampai saat ini layak dan mampu dioperasikan sesuai persyaratan yang berlaku.

Jika dibandingkan dengan garpu penyerap lama seperti terlihat pada Tabel 9, garpu penyerap baru pada Tabel 10 mempunyai nilai ρ -total, ρ -padam dan ρ -*stuck rod* yang lebih besar, hal ini menunjukkan bahwa kemampuan garpu penyerap untuk menyerap neutron jauh lebih baik, sekaligus memberikan gambaran bahwa kandungan bahan penyerap (AgInCd) pada garpu penyerap baru lebih banyak dibanding dengan garpu penyerap lama. Berkurangnya kandungan bahan penyerap lama disebabkan oleh terjadinya interaksi neutron terhadap bahan penyerap yang telah terjadi dalam waktu yang lama pada fluks neutron yang tinggi.

Pemeriksaan visual garpu penyerap

Data-data pemeriksaan visual garpu penyerap terlihat pada Tabel 12 berikut:.

Tabel 12. Hasil pemeriksaan visual garpu penyerap (GP) baru batang kendali RSG-GAS

No.	GP. yang diperiksa	Tanggal pemeriksaan	Elemen kendali		Waktu jatuh 80% (mdt)	Hasil Pemeriksaan
			Lama	Baru		
1	GP-9	08-09-2009	RI-402	RI-465	372	baik/normal
2	GP-9	04-12-2011	RI-465	RI-513	379	baik/normal
3	GP-10	29-03-2010	RI-416	RI-467	391	baik/normal
4	GP-10	11-06-2012	RI-467	RI-515	401	baik/normal
5	GP-11	27-10-2010	RI-426	RI-489	375	baik/normal
6	GP-12	10-05-2011	RI-447	RI-491	369	baik/normal
7	GP-13	05-07-2010	RI-425	RI-468	394	baik/normal
8	GP-14	01-02-2011	RI-446	RI-490	381	baik/normal
9	GP-15	22-08-2011	RI-448	RI-492	359	baik/normal
10	GP-16	12-03-2012	RI-466	RI-514	388	baik/normal

Dari data-data pada Tabel 12 dan melihat data-data waktu jatuh batang kendali terlihat bahwa dari siklus operasi 62 hingga siklus operasi ke 79 semua batang kendali masih dalam kondisi baik, tidak terlihat ada tanda-tanda terjadinya kerusakan mekanik yang berupa pembengkokan, pengembungan, goresan maupun perubahan warna.

KESIMPULAN

Dengan melihat hasil-hasil pembahasan pada pengukuran waktu jatuh batang kendali, pengukuran reaktivitas batang kendali, pemeriksaan visual garpu penyerap, maka dapat di simpulkan bahwa garpu penyerap baru hingga siklus operasi ke 79 (± 5 tahun digunakan), memiliki bentuk fisik/mekanik dalam kondisi baik, ditinjau dari segi kemampuan menyerap neutron garpu penyerap telah berfungsi baik layak digunakan untuk operasi dengan aman hingga energi ± 660 MWD/siklus, yaitu ditandai dengan diperolehnya harga ρ -lebih yang mencukupi kebutuhan operasi dengan margin keselamatan cukup besar

SARAN

Mengingat sangat pentingnya garpu penyerap batang kendali dalam suatu pengoperasian reaktor, maka pada setiap siklus operasi berikutnya pengamatan dan pengecekan margin keselamatan terutama waktu jatuh batang kendali dan ρ -batang kendali harus dilakukan dengan lebih seksama. Kepada para operator & supervisor reaktor harap segera mendiskusikan/melaporkan kepada petugas yang bewenang jika menemui penyimpangan yang terkait dengan batang kendali.

ACUAN

1. ANONIM, "Laporan Analisa Keselamatan RSG-GAS.", Revisi 10, Th. 2011.
2. ANONIM, "Buku Induk Operasi, Buku induk bahan bakar, Buku induk kalibrasi batang kendali, Lembar pengukuran waktu jatuh batang kendali RSG-GAS", Tahun 1997-2012.
3. SLAMET WIRANTO, "Evaluasi Umur Garpu Penyerap Batang Kendali RSG-GAS Setelah Beroperasi 30,000 MWD". Buletin Reaktor RSG-GAS, Volume II No.01, Tahun 2005.