

EVALUASI UMUR GARPU PENYERAP BATANG KENDALI RSG-GAS SETELAH BEROPERASI 30.000 MWD

Slamet Wiranto

ABSTRAK

EVALUASI UMUR GARPU PENYERAP BATANG KENDALI RSG-GAS SETELAH BEROPERASI 30.000 MWD. Di dalam Spesifikasi Teknik SAR RSG-GAS disebutkan bahwa setelah garpu penyerap dioperasikan hingga 30.000 MWD atau garpu penyerap mengalami kerusakan mekanik, maka garpu penyerap dianjurkan untuk diganti. Pernyataan tersebut diambil dari pengalaman reaktor riset lain yang mengganti garpu penyerapnya setelah beroperasi sebanyak 30.000 MWD. Saat ini operasi RSG-GAS sudah mencapai 30.000 MWD, namun karena satu hal lain garpu penyerap RSG-GAS masih digunakan, oleh karena itu perlu evaluasi untuk meyakinkan bahwa hingga saat ini kondisi garpu penyerap RSG-GAS masih dalam kondisi layak operasi. Evaluasi dilakukan dengan cara mempelajari sejarah penggunaan garpu penyerap yang telah lalu, yang meliputi pemeriksaan visual, pengukuran waktu jatuh batang kendali, dan pengukuran harga reaktivitas/margin keselamatan batang kendali. Dari beberapa kajian tersebut dapat disimpulkan bahwa hingga siklus operasi ke 50 ditinjau dari bentuk fisik/mekanik kondisi garpu penyerap masih dalam kondisi baik, ditinjau dari segi kemampuan menyerap neutron garpu penyerap telah mengalami penurunan sebesar $\pm 14\%$, namun masih layak digunakan untuk operasi dengan energi ± 650 MWD/siklus, yaitu ditandai dengan diperolehnya harga ρ -lebih yang masih mencukupi kebutuhan operasi dengan margin keselamatan cukup besar.

ABSTRACT

THE LIFETIME EVALUATION OF THE FORK ABSORBERS OF RSG GAS CONTROL ROD AFTER 30.000 MWD OPERATED. On the technical specification of the SAR RSG-GAS is mentioned that after the lifetime of the absorber or in case of mechanical defect, the fork absorber shall be changed. This mentioned came from other research reactor experience that the change of their absorbers has been carried out after 30.000 MWD operation. Today RSG-GAS has operated up to 30.000 MWD but the fork absorbers is still in used. Base on this need to evaluate the lifetime of fork absorbers to ensure that the fork absorbers still in good condition. With learn the history of the fork absorber operation surround the visual inspection, the rod drop time measurements and the reactivity/safety margin of control rod measurements can be concluded that until the last 50th operation cycles the mechanical form of fork absorbers are in good condition. The performance as neutrons absorber has degraded about 14 %, but the fork absorbers can be used for ± 650 MWD/operation cycles, which it indicated the good value of the excess reactivity and the safety margin of the control rods.

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor utama yang mendukung berlangsungnya suatu operasi reaktor dengan selamat adalah batang kendali. Reaktor Serba Guna GA. Siwabesy (RSG-GAS) mempunyai 8 buah batang kendali yang terpasang simetris di teras reaktor diantara 40 buah elemen bakar setiap batang kendali reaktor terdiri dari unit penggerak, pipa transmisi/penyangga, elemen kontrol dan garpu penyerap. Keempat komponen tersebut dirangkai sedemikian sehingga garpu penyerap bisa digerakkan naik turun di dalam teras reaktor. Dengan pengaturan naik-turunnya posisi garpu penyerap, maka reaktor dapat dioperasikan, dipadamkan dan diatur besar dayanya sesuai yang kita kehendaki atau dengan kata lain dapat dikendalikan.

Disamping sebagai pengendali batang penyerap berfungsi pula sebagai batang pengaman yaitu dengan menempatkan garpu penyerap pada posisi terbawah untuk menyerap neutron yang bisa dilakukan secara perlahan maupun secara cepat (SRAM) baik secara manual maupun otomatis.

Bahan garpu penyerap terbuat dari bahan yang mempunyai tampang lintang serapan neutron yang sangat besar dan tahan terhadap kerusakan-kerusakan yang disebabkan oleh benturan mekanik, panas maupun radiasi. Batang penyerap RSG-GAS terdiri dari 2 lempeng berbentuk garpu dengan ukuran lebar 65 mm, tebal 5,08 mm, dan tinggi aktif 600 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 penyerap adalah 0,564 mm/detik.

Meskipun bahan, sistem, maupun perlakuan pengerjaan & perawatan telah dilakukan dengan persyaratan yang ketat, di dalam spesifikasi teknik SAR RSG-GAS¹⁾ masih diberlakukan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Waktu jatuh masing-masing batang kendali/garpu penyerap dari 80% ketinggian 80%, tidak boleh melebihi 470 milidetik dan rata-rata untuk keseluruhan batang kendali tidak boleh melebihi 400 milidetik.
- 2) Harga margin keselamatan batangkendali 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.

Dari ketentuan-ketentuan tersebut, di atas poin 1 dan poin 2 merupakan persyaratan minimum yang harus dipenuhi, sedang poin 3 dimungkinkan untuk bisa ditinjau lagi karena penentuan angka-angka tersebut hanya diambil dari pengalaman reaktor riset lain yang mungkin lain kondisinya.

Karena saat ini pemakaian garpu penyerap batang kendali RSG-GAS sudah mencapai 30.000 MWD^[3] maka dalam makalah ini akan dibahas kemungkinan memperpanjang umur garpu penyerap apakah masih cukup layak garpu penyerap digunakan lebih dari 30.000 MWD, yaitu dengan mengamati sejarah penggunaan batang kendali dari awal hingga operasi 30.000 MWD. Evaluasi dilakukan dengan cara mempelajari sejarah 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.

Dari kajian-kajian tersebut di atas diharapkan didapat data dukung untuk pemakaian garpu penyerap secara optimal, dengan tidak mengabaikan persyaratan keselamatan.

2. TATA KERJA

2.1. 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 elektronik yang dipasang pada terminal pengaturan 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* elektronik.

Data-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. 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, untuk melacak sajarah masing-masing garpu penyerap perlu dibuat tabel riwayat garpu penyerap yang berisi antara lain masing-masing siklus operasi :

- a) Posisi garpu penyerap di teras reaktor;
- b) Dengan elemen kontrol yang mana garpu penyerap terpasang;
- c) Berapa lama waktu jatuh garpu penyerap terukur.

Data-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.

2.2. Pengukuran reaktivitas batang kendali

Dari buku induk kalibrasi batang kendali^[2] dapat diambil data harga reaktivitas masing-masing batang kendali yang di gunakan untuk menentukan beberapa 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/macet. Dengan mempelajari dan membandingkan harga-harga reaktivitas batang kendali dari siklus-siklus operasi awal hingga sekarang, dapat di perkirakan apakah garpu-garpu penyerap pada saat ini sudah berkurang kemampuan penyerapannya terhadap neutron atau masih cukup mampu dipertahankan sebagai bahan penyerap sampai dengan siklus operasi yang dikehendaki.

2.3. Pemeriksaan visual

Pemeriksaan secara visual pada garpu penyerap dilakukan pada saat penggantian elemen kontrol. Batang kendali dipisahkan sedemikian sehingga tersisa bagian pipa penyangga bawah yang masih tersambung dengan elemen kontrol dan garpu penyerap. Dengan menggunakan alat handling 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 kontrol dan dilakukan pemeriksaan secara visual apakah ada tanda-tanda terjadinya kerusakan mekanik pada garpu penyerap tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengukuran waktu jatuh batang kendali

Hasil-hasil pengukuran waktu jatuh masing-masing batang kendali / garpu penyerap dari siklus operasi ke 1 sampai dengan siklus operasi ke 50 dapat dilihat pada Tabel 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 1g, dan 1h. Data-data dalam tabel ini adalah hasil pengukuran waktu jatuh batang kendali dari 100% ketinggian aktif (600 mm) dari garpu penyerap.

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

Dalam spesifikasi teknik SAR RSG Chapter 16^[1] ditentukan bahwa waktu jatuh batang kendali 80% ketinggian aktif bahan penyerap tidak boleh melebihi 470 milidetik dan rata-rata untuk keseluruhan batang kendali tidak boleh melebihi 400 milidetik.

Dari data-data hasil pengukuran meskipun diambil dari 100% ketinggian aktif garpu penyerap (600 mm), tidak ada satupun garpu penyerap dari siklus operasi teras ke 1 s/d ke 50 yang waktu jatuhnya melebihi syarat batas yang telah ditentukan seperti

yang tersebut dalam spek-tek RSG-GAS, dan tidak pula terlihat adanya kecenderungan kenaikan waktu jatuh untuk masing-masing batang kendali.

Tabel 1a. Riwayat Garpu Penyerap 1

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
1	RI-01	C-8	375
6	RI-01	C-8	383
7	RI-66	F-8	383
8	RI-66	C-5	385
9	RI-66	E-9	372
10	RI-66	B-7	378
11	RI-66	B-7	380
12	RI-66	C-5	387
13	RI-67	G-6	389
14	RI-104	C-8	368
15	RI-104	F-8	363
16	RI-104	C-5	370
17	RI-104	D-4	368
18	RI-104	D-4	370
19	RI-104	B-7	373
20	RI-104	G-6	374
21	RI-157	F-8	363
22	RI-157	F-5	373
23	RI-157	C-8	368
24	RI-157	B-7	371
25	RI-157	B-7	383
26	RI-157	G-6	382
27	RI-184	C-8	377
28	RI-184	F-5	372
29	RI-184	F-8	369
30	RI-184	C-5	373
31	RI-184	D-4	371
32	RI-184	E-9	373
33	RI-184	G-6	383
34	RI-184	B-7	373
35	RI-248	C-8	376

Lanjutan ...

Tabel 1b. Riwayat Garpu Penyerap 2

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
1	RI-02	F-8	377
2	RI-02	F-8	376
7	RI-02	B-7	383
8	RI-73	F-5	389
9	RI-73	C-5	386
10	RI-73	D-4	381
11	RI-73	D-4	378
12	RI-73	E-9	375
13	RI-73	B-7	395
14	RI-73	B-7	384
15	RI-73	B-7	393
16	RI-66	B-7	388
17	RI-119	F-5	381
18	RI-128	C-8	382
19	RI-128	F-8	375
20	RI-128	C-5	380
21	RI-128	D-4	377
22	RI-128	E-9	382
23	RI-128	E-9	379
24	RI-128	G-6	383
25	RI-168	F-5	380
26	RI-168	F-8	370
27	RI-168	C-5	367
28	RI-168	D-4	372
29	RI-168	E-7	377
30	RI-168	G-6	373
31	RI-168	B-7	370
32	RI-201	C-8	368
33	RI-201	F-5	376
34	RI-201	F-8	364
35	RI-201	C-5	374

Tabel 1a. Riwayat Garpu Penyerap 1

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
36	RI-248	F-5	366
37	RI-248	F-8	368
38	RI-248	C-5	367
39	RI-248	D-4	373
40	RI-248	E-9	375
41	RI-248	G-6	366
42	RI-248	B-7	368
43	RI-287	C-8	366

Tabel 1b. Riwayat Garpu Penyerap 2

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
36	RI-201	D-4	374
37	RI-201	E-9	379
38	RI-201	G-6	375
39	RI-201	B-7	375
40	RI-275	C-8	370
41	RI-275	F-5	370
42	RI-275	F-8	376
43	RI-275	C-5	372

44	RI-287	F-5	366
45	RI-287	F-8	367
46	RI-287	C-5	362
47	RI-287	D-4	368
48	RI-287	E-9	369
49	RI-287	G-6	362
50	RI-287	D-7	369

44	RI-275	D-4	370
45	RI-275	E-9	370
46	RI-275	G-6	369
47	RI-275	B-7	371
48	RI-343	C-8	368
49	RI-343	F-5	370
50	RI-343	F-8	371

Tabel 1a. Riwayat Garpu Penyerap 3

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
1	RI-03	C-5	375
6	RI-03	C-5	374
7	RI-67	C-5	376
8	RI-67	D-4	369
9	RI-67	G-6	371
10	RI-67	G-6	370
11	RI-67	G-6	369
12	RI-86	C-8	368
13	RI-86	F-8	365
14	RI-86	C-5	370
15	RI-86	F-5	372
16	RI-86	D-4	370
17	RI-86	B-7	370
18	RI-86	G-6	371
19	RI-151	F-5	373
20	RI-119	F-8	366
21	RI-119	C-5	371
22	RI-119	D-4	374
23	RI-119	D-4	369
24	RI-119	E-9	374
25	RI-119	G-6	376
26	RI-182	F-5	372
27	RI-182	F-5	372
28	RI-182	F-8	362
29	RI-182	C-5	369

Tabel 1b. Riwayat Garpu Penyerap 4

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
1	RI-04	F-5	376
2	RI-04	F-5	378
7	RI-09	F-5	391
8	RI-09	F-8	384
9	RI-09	D-4	386
10	RI-09	E-9	381
11	RI-09	E-9	375
12	RI-09	F-8	371
13	RI-102	C-8	363
14	RI-102	F-5	378
15	RI-102	C-5	376
16	RI-102	F-8	371
17	RI-102	E-9	364
18	RI-102	E-9	365
19	RI-102	G-6	378
20	RI-144	F-5	376
21	RI-158	C-8	380
22	RI-158	F-8	372
23	RI-158	C-5	380
24	RI-158	D-4	379
25	RI-158	E-9	365
26	RI-158	E-9	376
27	RI-158	B-7	371
28	RI-185	C-8	369
29	RI-185	F-5	370

Lanjutan ...

Tabel 1a. Riwayat Garpu Penyerap 3

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
30	RI-182	D-4	370
31	RI-182	E-9	370
32	RI-182	G-6	373
33	RI-182	B-7	368
34	RI-209	C-8	359
35	RI-209	F-5	368
36	RI-209	F-8	367
37	RI-209	C-5	366
38	RI-209	D-4	362
39	RI-209	E-9	367
40	RI-209	G-6	366

Tabel 1b. Riwayat Garpu Penyerap 4

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
30	RI-185	F-8	361
31	RI-185	C-5	381
32	RI-185	D-4	368
33	RI-185	E-9	385
34	RI-185	G-6	376
35	RI-185	B-7	368
36	RI-249	C-8	372
37	RI-249	F-5	373
38	RI-249	F-8	379
39	RI-249	C-5	367
40	RI-249	D-4	367

41	RI-209	B-7	367
42	RI-286	C-8	369
43	RI-286	F-5	371
44	RI-286	F-8	373
45	RI-286	C-5	371
46	RI-286	D-4	368
47	RI-286	E-9	368
48	RI-286	G-6	367
49	RI-286	B-7	367
50	RI-344	C-8	366

41	RI-249	E-9	374
42	RI-249	G-6	367
43	RI-249	B-7	370
44	RI-303	C-8	367
45	RI-303	F-5	373
46	RI-303	F-8	377
47	RI-303	C-5	371
48	RI-303	D-4	373
49	RI-303	E-9	368
50	RI-303	G-6	369

Tabel 1a. Riwayat Garpu Penyerap 5

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
1	RI-05	E-9	376
6	RI-05	E-9	375
7	RI-05	E-9	371
8	RI-05	G-6	370
9	RI-75	F-5	370
10	RI-75	C-5	367
11	RI-75	C-5	368
12	RI-75	G-6	370
13	RI-75	D-4	378
14	RI-75	G-6	369
15	RI-75	G-6	368
16	RI-112	C-8	371
17	RI-112	C-5	369
18	RI-112	C-5	370
19	RI-112	E-9	358
20	RI-112	D-4	368
21	RI-112	B-7	374
22	RI-112	C-5	368
23	RI-112	G-6	372
24	RI-151	C-8	375

Tabel 1b. Riwayat Garpu Penyerap 6

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
1	RI-06	D-4	375
6	RI-06	D-4	371
7	RI-06	G-6	375
8	RI-74	C-8	380
9	RI-74	C-8	381
10	RI-74	C-8	374
11	RI-74	C-8	373
12	RI-74	D-4	374
13	RI-74	E-9	378
14	RI-03	E-9	353
15	RI-111	C-8	368
16	RI-111	F-5	368
17	RI-111	F-8	359
18	RI-111	F-5	367
19	RI-111	D-4	365
20	RI-111	B-7	369
21	RI-111	G-6	366
22	RI-111	G-6	367
23	RI-167	F-5	367
24	RI-167	F-8	358

Lanjutan ...

Tabel 1a. Riwayat Garpu Penyerap 5

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
25	RI-151	C-8	381
26	RI-151	C-8	366
27	RI-151	F-8	360
28	RI-151	C-5	365
29	RI-151	D-4	365
30	RI-151	E-9	366
31	RI-144	G-6	367
32	RI-144	B-7	363
33	RI-207	C-8	356
34	RI-207	F-5	373
35	RI-207	F-8	365
36	RI-207	C-5	370
37	RI-207	D-4	372

Tabel 1b. Riwayat Garpu Penyerap 6

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
25	RI-152	F-5	365
26	RI-152	D-4	365
27	RI-152	E-9	375
28	RI-152	G-6	368
29	RI-152	B-7	369
30	RI-193	C-8	368
31	RI-193	F-5	379
32	RI-193	F-8	369
33	RI-193	C-5	385
34	RI-193	D-4	365
35	RI-193	E-9	353
36	RI-193	G-6	357
37	RI-193	B-7	362

38	RI-207	E-9	372
39	RI-207	G-6	364
40	RI-207	B-7	361
41	RI-276	C-8	359
42	RI-276	F-5	360
43	RI-276	F-8	362
44	RI-276	C-5	358
45	RI-276	D-4	364
46	RI-276	E-9	362
47	RI-276	G-6	360
48	RI-276	B-7	367
49	RI-304	C-8	364
50	RI-304	F-5	360

38	RI-262	C-8	357
39	RI-262	F-5	362
40	RI-262	F-8	363
41	RI-262	C-5	370
42	RI-262	D-4	372
43	RI-262	E-9	378
44	RI-262	G-6	374
45	RI-262	B-7	358
46	RI-322	C-8	352
47	RI-322	F-5	354
48	RI-322	F-8	356
49	RI-322	C-5	357
50	RI-322	D-4	358

Tabel 1a. Riwayat Garpu Penyerap 7

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
3	RI-07	B-7	378
6	RI-07	B-7	380
7	RI-07	D-4	376
8	RI-07	B-7	385
9	RI-76	F-8	381
10	RI-76	F-8	377
11	RI-76	F-8	376
12	RI-76	F-5	377
13	RI-76	F-5	374
14	RI-76	D-4	373
15	RI-76	E-9	362
16	RI-04	E-9	361
17	RI-04	G-6	374
18	RI-09	B-7	380
19	RI-152	C-8	374

Tabel 1b. Riwayat Garpu Penyerap 8

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
3	RI-08	G-6	381
6	RI-08	G-6	385
7	RI-08	C-8	390
8	RI-08	E-9	386
9	RI-08	B-7	394
10	RI-83	F-5	381
11	RI-83	F-5	382
12	RI-83	B-7	387
13	RI-83	C-5	378
14	RI-83	F-8	369
15	RI-83	D-4	375
16	RI-83	G-6	385
17	RI-118	C-8	374
18	RI-118	F-8	375
19	RI-118	C-5	390

Lanjutan ...

Tabel 1a. Riwayat Garpu Penyerap 7

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
20	RI-152	C-8	374
21	RI-152	F-5	373
22	RI-183	C-8	380
23	RI-183	F-8	369
24	RI-183	C-5	376
25	RI-183	D-4	375
26	RI-183	B-7	381
27	RI-183	G-6	383
28	RI-183	B-7	378
29	RI-186	C-8	377
30	RI-186	F-5	381
31	RI-186	F-8	371
32	RI-186	C-5	374
33	RI-186	D-4	378
34	RI-186	E-9	380

Tabel 1b. Riwayat Garpu Penyerap 8

Siklus Operasi	Elemen kontrol	Posisi teras	Waktu jatuh (mdt)
20	RI-118	E-9	384
21	RI-118	E-9	384
22	RI-118	B-7	376
23	RI-118	B-7	398
24	RI-181	F-5	376
25	RI-181	F-8	359
26	RI-181	C-5	371
27	RI-181	D-4	377
28	RI-181	E-9	378
29	RI-181	G-6	381
30	RI-181	B-7	376
31	RI-200	C-8	370
32	RI-200	F-5	382
33	RI-200	F-8	373
34	RI-200	C-5	381

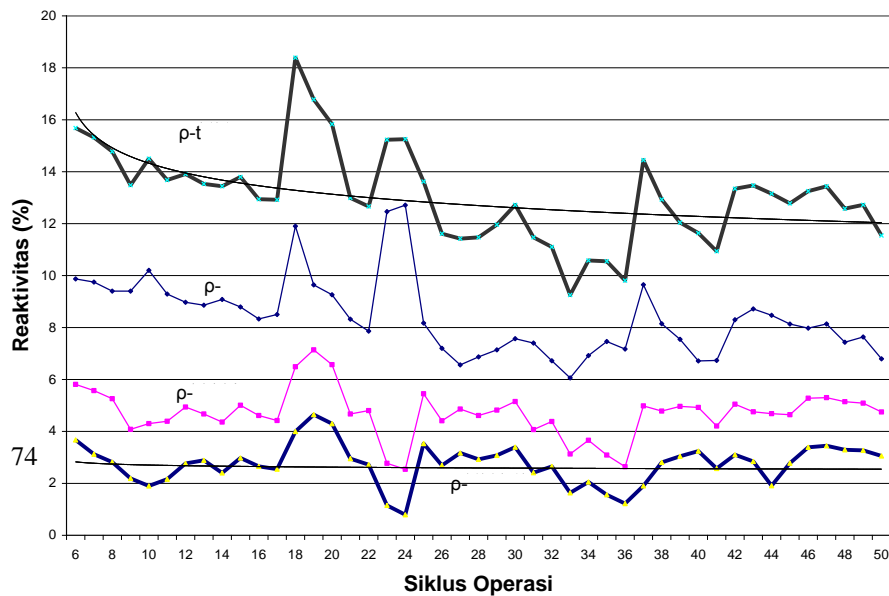
35	RI-186	G-6	378
36	RI-186	B-7	379
37	RI-261	C-8	377
38	RI-261	F-5	374
39	RI-261	F-8	377
40	RI-151	C-5	372
41	RI-151	D-4	374
42	RI-151	E-9	373
43	RI-151	G-6	370
44	RI-151	B-7	376
45	RI-321	C-8	372
46	RI-321	F-5	379
47	RI-321	F-8	382
48	RI-321	C-5	363
49	RI-321	D-4	381
50	RI-321	E-9	379

35	RI-200	D-4	380
36	RI-200	E-9	383
37	RI-200	G-6	391
38	RI-200	B-7	378
39	RI-274	C-8	373
40	RI-274	F-5	371
41	RI-274	F-8	371
42	RI-274	C-5	367
43	RI-274	D-4	372
44	RI-274	E-9	381
45	RI-274	G-6	377
46	RI-274	B-7	377
47	RI-323	C-8	375
48	RI-323	F-5	379
49	RI-323	F-8	379
50	RI-323	C-5	365

Dari data-data tersebut diatas menunjukkan bahwa sampai dengan siklus operasi ke 50 ditinjau dari segi bentuk fisik/mekanik tidak ada tanda-tanda pembengkokan/ penggebugan garpu penyerap, yang berarti garpu penyerap masih dalam keadaan baik tanpa ada pelengkungan maupun penggebugan.

3.2. Pengukuran reaktivitas batang kendali

Hasil pengukuran reaktivitas batang kendali yang meliputi reaktivitas total reaktivitas lebih, reaktivitas padam, dan reaktivitas *stuck-rod* terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Reaktivitas Batang Kendali RSG-GAS Siklus Operasi ke 6 s/d 50

Maksud dari pengukuran ini adalah untuk melihat unjuk kerja kemampuan batang kendali dalam penyerapan neutron pada teras kerja (TWC) yaitu pada siklus operasi ke 6 hingga ke 50, di mana pada kondisi untuk masing-masing siklus operasi, bentuk dan komposisi teras reaktor relatif sama. Batang penyerap dikatakan baik apabila dari hasil kalibrasinya 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 terutama antara siklus awal operasi terhadap ρ -total batang kendali pada siklus-siklus akhir.

Dari data ρ -total batang kendali pada Gambar 1, terlihat adanya penurunan kemampuan batang penyerap dalam menyerap neutron. Pada awal-awal siklus teras TWC (siklus operasi ke 6 dan 7) diperoleh harga rerata ρ -total $\pm 15,5$ %, pada pertengahan (siklus operasi 22 s/d 32) didapat harga rerata ρ -total yang rendah ± 11 %. Harga pada pertengahan siklus ini diragukan kebenarannya karena pada saat itu terjadi kerusakan detektor daya JKT04 yang digunakan untuk mengkalibrasi batang kendali. Pada siklus-siklus setelah perbaikan detektor daya JKT04 didapat kenaikan harga ρ -total. Pada siklus operasi 40 s/d 50 didapat harga rerata ρ -total $\pm 13,3$ %. Dari data di atas dan melihat garis *trendline* pada kurva ρ -total pada Gambar 1 bisa diperkirakan penurunan kemampuan garpu penyerap menyerap neutron sebesar $(15,5-13,3)/15,5 \times 100\% = 14$ %.

Dari kurva ρ -*stuck rod* pada beberapa siklus operasi terdapat harga ρ yang relatif kecil. hal ini terjadi karena pada siklus-siklus operasi tersebut jumlah uranium yang ada di dalam teras reaktor relatif lebih besar dibanding dengan siklus operasi sebelum dan sesudahnya, disamping tidak menutup kemungkinan karena terjadinya kesalahan perhitungan manajemen teras maupun karena adanya kesalahan pada waktu melakukan kalibrasi batang kendali. Namun demikian meskipun harga ρ -*stuck rod* relatif kecil namun belum pernah sekalipun melewati batas keselamatan yang diizinkan yaitu 0,5 %. Bahkan pada siklus-siklus akhir setelah perbaikan detektor daya di dapat harga ρ -*stuck rod* dan ρ -padam yang cukup besar jauh di atas harga keselamatan yang diizinkan.

Dari uraian di atas dan melihat hasil-hasil kalibrasi batang kendali pada siklus-siklus operasi setelah perbaikan detektor bisa diperkirakan bahwa meskipun harga ρ -total batang kendali telah mengalami degradasi namun masih layak digunakan untuk siklus operasi dengan total energi (100-14) % x 750 MWD = \pm 650 MWD/siklus.

3.3. Pemeriksaan visual garpu penyerap

Data-data pemeriksaan visual garpu penyerap terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan visual garpu penyerap (GP) batang kendali RSG-GAS

No.	GP. Yang diperiksa	Tanggal pemeriksaan	Kontrol Elemen		Waktu jatuh (mdt)	Hasil Pemeriksaan
			Lama	Baru		
1	GP-1	22-06-1992	RI-01	RI-66	386	baik/normal
2	GP-1	26-02-1995	RI-66	RI-67	389	baik/normal
3	GP-1	28-02-1995	RI-67	RI-104	368	baik/normal
4	GP-1	03-06-1996	RI-104	RI-157	363	baik/normal
5	GP-1	04-06-1997	RI-157	RI-184	377	baik/normal
6	GP-1	29-05-1999	RI-184	RI-248	376	baik/normal
7	GP-1	01-02-2002	RI-248	RI-287	366	baik/normal
8	GP-2	02-12-1992	RI-02	RI-73	385	baik/normal
9	GP-2	12-09-1995	RI-73	RI-66	388	baik/normal
10	GP-2	08-10-1995	RI-66	RI-119	381	baik/normal
11	GP-2	04-01-1996	RI-119	RI-128	382	baik/normal
12	GP-2	20-01-1997	RI-128	RI-168	380	baik/normal
13	GP-2	31-07-1998	RI-168	RI-201	368	baik/normal
14	GP-2	12-04-2001	RI-201	RI-275	370	baik/normal
15	GP-2	22-10-2003	RI-275	RI-343	368	baik/normal
16	GP-3	22-06-1992	RI-03	RI-67	376	baik/normal
17	GP-3	28-12-1994	RI-67	RI-86	367	baik/normal

18	GP-3	05-03-1996	RI-86	RI-151	373	baik/normal
19	GP-3	18-04-1996	RI-151	RI-119	366	baik/normal
20	GP-3	04-04-1997	RI-119	RI-182	372	baik/normal
21	GP-3	25-12-1998	RI-182	RI-209	359	baik/normal
22	GP-3	07-10-2001	RI-209	RI-286	369	baik/normal
23	GP-3	03-05-2003	RI-286	RI-286	367	baik/normal
24	GP-3	15-05-2004	RI-286	RI-344	366	baik/normal
25	GP-4	22-06-1992	RI-04	RI-09	391	baik/normal
26	GP-4	22-02-1995	RI-09	RI-102	363	baik/normal
27	GP-4	18-04-1996	RI-102	RI-144	376	baik/normal
28	GP-4	03-06-1996	RI-144	RI-158	380	baik/normal
29	GP-4	30-07-1997	RI-158	RI-185	369	baik/normal
30	GP-4	30-08-1999	RI-185	RI-249	372	baik/normal
31	GP-4	17-05-2002	RI-249	RI-303	367	baik/normal
32	GP-5	09-04-1993	RI-05	RI-75	370	baik/normal
33	GP-5	12-09-1995	RI-75	RI-112	371	baik/normal
34	GP-5	06-11-1996	RI-112	RI-151	375	baik/normal
35	GP-5	01-04-1998	RI-151	RI-144	367	baik/normal
36	GP-5	09-10-1998	RI-144	RI-207	356	baik/normal
37	GP-5	15-07-2001	RI-207	RI-276	359	baik/normal
38	GP-5	19-02-2004	RI-276	RI-304	364	baik/normal
39	GP-6	14-12-1992	RI-06	RI-74	378	baik/normal
40	GP-6	28-05-1995	RI-74	RI-03	353	baik/normal
41	GP-6	20-07-1995	RI-03	RI-111	368	baik/normal
42	GP-6	27-09-1996	RI-111	RI-167	367	baik/normal

Lanjutan Tabel 2.

No.	GP. Yang diperiksa	Tanggal pemeriksaan	Kontrol Elemen		Waktu jatuh (mdt)	Hasil Pemeriksaan
			Lama	Baru		
43	GP-6	20-01-1997	RI-167	RI-152	365	baik/normal
44	GP-6	19-01-1998	RI-152	RI-193	368	baik/normal
45	GP-6	24-07-2000	RI-193	RI-262	378	baik/normal
46	GP-6	10-03-2003	RI-262	RI-322	352	baik/normal
47	GP-7	09-04-1993	RI-07	RI-76	381	baik/normal
48	GP-7	12-09-1995	RI-76	RI-04	361	baik/normal
49	GP-7	04-01-1996	RI-04	RI-09	380	baik/normal
50	GP-7	05-03-1996	RI-09	RI-152	374	baik/normal
51	GP-7	28-07-1996	RI-152	RI-183	380	baik/normal
52	GP-7	20-09-1997	RI-183	RI-186	377	baik/normal
53	GP-7	09-12-1999	RI-186	RI-261	377	baik/normal
54	GP-7	12-04-2001	RI-261	RI-151	372	baik/normal
55	GP-7	22-08-2002	RI-151	RI-321	372	baik/normal
56	GP-8	01-09-1993	RI-08	RI-83	381	baik/normal
57	GP-8	08-10-1995	RI-83	RI-118	374	baik/normal
58	GP-8	06-11-1996	RI-118	RI-181	376	baik/normal
59	GP-8	28-03-1998	RI-181	RI-200	370	baik/normal
60	GP-8	19-12-2000	RI-200	RI-274	373	baik/normal
61	GP-8	19-06-2003	RI-274	RI-373	375	baik/normal

Dari data-data pada Tabel 2 dan melihat data-data waktu jatuh batang kendali terlihat, bahwa hingga siklus operasi ke 50 semua batang kendali masih dalam kondisi baik,

tidak terlihat ada tanda-tanda terjadinya kerusakan mekanik yang berupa pembengkakan, pengembangan, maupun perubahan warna.

4. 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 hingga siklus operasi ke 50 (± 30.000 MWD), ditinjau dari bentuk fisik/mekanik kondisi garpu penyerap masih dalam kondisi baik, ditinjau dari segi kemampuan menyerap neutron garpu penyerap telah mengalami penurunan sebesar ± 14 %, namun masih layak digunakan untuk operasi dengan energi ± 650 MWD/siklus, yaitu ditandai dengan diperolehnya harga ρ -lebih yang masih mencukupi kebutuhan operasi dengan margin keselamatan cukup besar.

5. SARAN

Mengingat umur garpu penyerap batang kendali sudah cukup tua, maka dalam pengoperasian berikutnya pengamatan dan pengecekan margin keselamatan terutama waktu jatuh batang kendali dan ρ -batang kendali harus dilakukan lebih seksama. Kepada para operator & supervisor reaktor harap segera mendiskusikan/melaporkan kepada petugas yang bewenang jika menemui hal-hal aneh yang berhubungan dengan batang kendali. Kepada pihak manajemen harap segera mengadakan/mempercepat pengadaan garpu penyerap agar program operasi RSG-GAS bisa berlangsung dengan lancar dan aman.

6. ACUAN

- 1) ANONIM, "SAR RSG-GAS, Vol. 3, Chapter 16", Revisi 8, Th.1999;
- 2) ANONIM, "Buku Induk Operasi, Buku induk bahan bakar, Buku induk kalibrasi batang kendali, Lembar pengukuran waktu jatuh batang kendali RSG-GAS", Tahun 1987-2000;
- 3) ANONIM, "Laporan Operasi Reaktor siklus operasi 1s/d 50 RSG-GAS". Tahun 1987-2004.