

# KAJIAN PARAMETER NILAI BATASAN DAN KONDISI OPERASI PADA DAYA 30 MW SELAMA UMUR OPERASI REAKTOR RSG-GAS

Jaja Sukmana, Rachmat Triharto, Gading Permadi, Shokhul Lutfi

PUSAT REAKTOR SERBA GUNA – BATAN, Tangerang Selatan

1) [jsukmana@batan.go.id](mailto:jsukmana@batan.go.id), 2) [rachmatt@batan.go.id](mailto:rachmatt@batan.go.id)

## ABSTRAK

**KAJIAN PARAMETER NILAI BATASAN DAN KONDISI OPERASI PADA DAYA 30 MW SELAMA UMUR OPERASI REAKTOR RSG-GAS.** Pengoperasian reaktor harus mengacu kepada parameter batasan dan kondisi operasi yang telah ditetapkan di dalam LAK dan disetujui Badan Pengawas. Variabel parameter batas keselamatan reaktor RSG-GAS yang terpenting dan tidak boleh dilanggar, yaitu daya reaktor (maks 114%), nilai distribusi faktor daya radial (min 2,6), nilai laju aliran pendingin primer (min 640 kg/s), nilai suhu *inlet* pendingin reaktor (maks 44 °C), dan nilai ketinggian air kolam (min 12,00 m). Kajian kemampuan operasi pada daya nominal meliputi data waktu kondisi, dan kemampuan sistem penunjang selama pengoperasian. Parameter operasi yang dipantau adalah pemantau fluks neutron, pemantau suhu, aliran, dan level air pendingin, pemantau laju aktivitas radiasi, dan sistem tekanan negatif gedung. Hasil penelusuran data operasi menunjukkan operasi 30 MW terpanjang 23,9 jam dan terpendek 6 menit. Kemampuan waktu pengoperasian berbanding terbalik dengan *ageing* dari sistem, struktur, dan komponen reaktor. Parameter yang terindikasi pada kondisi yang diwaspadai yaitu parameter perpindahan panas sistem pendingin sekunder dan variabel keseimbangan reaktivitas di teras reaktor. Parameter operasi pada daya 30 MW, menunjukkan nilai ukur yang lebih cepat mendekati nilai-nilai batasan. Untuk mengantisipasi penurunan kemampuan sistem penunjang dan efektivitas maka reaktor RSG-GAS dioperasikan pada daya 15 MW.

Kata Kunci: Pengoperasian reaktor, Daya 30 MW, BKO, LAK.

## ABSTRACT

**STUDY OF LIMITATION AND CONDITIONS OPERATION PARAMETERS ON 30MW POWER FOR THE AGE OF RSG-GAS OPERATION.** *The reactor operation must refer to the parameters of the Limitation and conditions operation that have been specified (determined) in the SAR and approved by the Regulatory body. The most important of safety limit parameter variable of the RSG-GAS reactor which should not be violated is reactor power (max 114%), radial power factor distribution value (min 2,6), primary coolant flow rate (min 640 kg/s), reactor coolant inlet temperature value (max 44 °C), and pool water level value (min 12,00 m). Study of operating capability at nominal power includes times, the conditions, and capabilities of the supporting system during operation. The operating monitored parameters are neutron flux monitor, temperature monitor, flow, and cooling water level, the radiation activity rate, and the building's negative pressure system. The results show that the longest operation of 30 MW operation is 23.9 hours and the shortest is 6 minutes. The operating time capability is inversely proportional to the aging of the reactor system, structure and components. The parameters indicated in the condition that are being watched are the parameters of the secondary cooling system heat transfer and the variable reactivity balance on the reactor core. The operating parameter at a power of 30 MW, showed a measurement of the value is closer to the limiting values. To anticipate the decreased ability of the supporting system and an effectiveness, the RSG-GAS reactor is operated at power of 15 MW.*

*Key word: Reactor operation, Power of 30 MW, LCO, SAR.*

## PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset jenis MTR (*Material testing reactor*) pertama di dunia yang dioperasikan langsung dengan menggunakan bahan bakar Uranium-oksida pengkayaan rendah, LEU (*Low enriched Uranium*). Pada tanggal 23 Maret 1992 (pada teras operasi ke-VI) dicapai operasi reaktor pada daya nominal 30 MW pertama. Sejak tahun 2002, digunakan bahan bakar Uranium-silisida dengan densitas Uranium dalam *meat* sebesar  $2,96 \text{ gU/cm}^3$ , pengkayaan  $^{235}\text{U}$  sebesar 19,75%. Dan uji operasi daya 30 MW dengan bahan bakar Silisida dilaksanakan pada tanggal 6 September 2002. Reaktor RSG-GAS didesain dengan daya nominal 30 MW namun untuk keperluan iradiasi yang efektif dan penghematan bahan bakar, daya rata-rata yang digunakan adalah 15 MW sejak operasi ke-31 tahun 1998 (Bab I, V, XV<sup>[1]</sup>).

Sesuai dengan prinsip desain keselamatan pengoperasian reaktor riset maka penilaian parameter keselamatan pada daya nominal yang harus diperhatikan yaitu (1) kemampuan pengendalian reaktivitas, (2) kemampuan pembuangan energi panas, dan (3) kemampuan menahan dan mengungkung zat radioaktif. Pengoperasian reaktor harus di bawah nilai batas keselamatan dan mengikuti batasan dan kondisi operasi (BKO) yang telah ditetapkan di dalam laporan analisis keselamatan (LAK) dan disetujui Badan Pengawas.

Gangguan terhadap pengoperasian reaktor RSG-GAS berdasarkan pengalaman disebabkan terlalu sering terjadinya *scram*. *Scram* terbanyak, tercatat 22 kali pada teras operasi ke-55. Sebagian besar disebabkan karena trip listrik PLN dan terjatuhnya salah satu batang kendali<sup>[2]</sup>. Sedangkan operasi reaktor RSG-GAS paling efisien menurut evaluasi adalah operasi teras ke-64 dengan perbandingan antara jumlah sampel yang

diiradiasi (lebih dari 60 kali) terhadap besar energi yang dibangkitkan (632 MWD). Dengan target iradiasi berupa bahan biologi, Topaz,  $\text{TeO}_2$ , FPM, Au,  $\text{LuO}_3$ , Sulfur,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ <sup>[3]</sup>. Energi yang dihasilkan tergantung kepada kebutuhan pemanfaatan iradiasi/eksperimen, daya operasi, dan durasi waktu operasi. Energi terbangkitkan tertinggi, yaitu 712 MWD pada operasi teras ke-54 dan terendah 570 MWD pada teras ke-46. Energi yang dihasilkan diperkirakan akan berpengaruh terhadap nilai fraksi bakar dan posisi ketinggian batang kendali<sup>[4]</sup>.

Pada pengoperasian dengan daya 15 MW, diasumsikan beberapa parameter keselamatan operasi tidak akan terlampaui, dibantu dengan optimalnya sistem keselamatan teknis seperti sistem proteksi reaktor dan terpeliharanya sistem pendukung operasi. Namun sesuai dengan kemampuan desain yang dipertahankan dan diizinkan Bapeten maka pengoperasian dengan daya 30 MW tetap perlu diuji dan perlu kiranya dilakukan kajian terhadap kinerja parameter keselamatan pada daya nominal selama umur izin operasi.

Dari uraian pendahuluan di atas maka tujuan penyajian makalah ini adalah untuk memberikan informasi, deskripsi, dan mengevaluasi operasi reaktor RSG-GAS khusus pada daya 30 MW terkait kinerja parameter BKO. Dan diharapkan setiap kondisi yang mendekati batasan, gangguan, atau suatu kejadian dapat memberi pengalaman dan pembelajaran keselamatan pengoperasian reaktor.

## TINJAUAN PUSTAKA

Desain neutronik reaktor nuklir, meliputi: konfigurasi dan komposisi bahan bakar di teras, faktor multiplikasi, umur neutron, fraksi neutron kasip, distribusi fluks neutron aksial dan radial termasuk faktor puncak daya pada awal dan akhir siklus teras, nilai reaktivitas dari masing-masing komponen teras, margin *shutdown*,

reaktivitas lebih, reaktivitas *shutdown*, reaktivitas total batang kendali, neraca reaktivitas pada awal dan akhir siklus, keefektifan dan posisi batang kendali yang diperkirakan selama siklus teras, dan koefisien reaktivitas yang berkaitan dengan temperatur bahan bakar nuklir.

Sedangkan desain termohidrolik, meliputi: karakteristik hidrolik yang berkaitan dengan keselamatan teras dan komponennya (misalnya laju alir pendingin, kecepatan pendingin, tekanan pendingin, perubahan tekanan, gaya friksi, dan gaya apung), parameter rapat daya termal pada bahan bakar nuklir dan fluks panas, temperatur bahan bakar nuklir maksimum, temperatur kelongsong di kanal terpanas (*hot channel*) dan titik terpanas (*hot spot*), temperatur pendingin, margin keselamatan termal/rasio ketidakstabilan aliran<sup>[5]</sup>.

Nilai-nilai batas keselamatan sebagai kriteria untuk memulai tindakan proteksi reaktor ditentukan sebagai dasar dari nilai batas parameter fisik yang diizinkan dan merupakan batasan-batasan bagi kondisi instalasi yang aman. Variabel parameter batas keselamatan (BK) reaktor RSG-GAS yang terpenting yang tidak boleh dilanggar, yaitu daya reaktor (maks 34,2 MW), nilai distribusi faktor daya radial (min 2,6), nilai laju aliran pendingin primer (min 640 kg/s), nilai suhu *inlet* pendingin reaktor (maks 44 °C), dan nilai ketinggian air kolam (min 12,00 m) (*Chapter 16*<sup>[6]</sup>). Parameter teknis batasan operasi ini diseting pada sistem proteksi reaktor (SPR). Sistem proteksi reaktor didesain mampu menginisiasi tindakan protektif secara otomatis untuk menghentikan kejadian awal dan untuk mempertahankan reaktor tetap dalam kondisi selamat serta mencegah tidak terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan. Parameter keselamatan operasi reaktor RSG-GAS ini ditetapkan untuk variabel-variabel yang dapat diamati yang berkaitan dengan unjuk kerja 9 parameter sistem

proses, yaitu: Kerapatan fluks neutron (JKT-CX), Laju dosis- $\gamma$  di dalam sistem pendingin primer (JE-CR), Posisi katup isolasi primer (JE-CG), Tinggi permukaan air kolam reaktor (JE-CL), Laju aliran dalam sistem pendingin primer (JE-CF), Suhu pada keluaran penukar panas (JE-CT), Tegangan pada busbar daya darurat (BNA/B/C), Laju dosis- $\gamma$  di dalam sistem venting kolam reaktor (KLA60-CR), dan Penutupan sirip sirkulasi alam (JE-CP), seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Jenis tindakan protektif yang dipicu oleh SPR adalah saling kunci pengoperasian reaktor; *scram*; dan pengaktifan fitur keselamatan teknis. Fitur keselamatan teknis yang dirancang untuk reaktor RSG-GAS, meliputi:

- a. Sistem dan peralatan yang berhubungan dengan penjagaan fungsi pengungkung/penyungkup, termasuk sistem tekanan rendah;
- b. Sistem dan peralatan yang berhubungan dengan penjagaan integritas kolam reaktor;
- c. Sistem dan peralatan yang berhubungan dengan pengendalian reaktor, radiasi, dan penyediaan daya listrik darurat;
- d. Sistem dan peralatan yang berhubungan dengan pembuangan panas dan panas peluruhan, dan;
- e. Sistem pendingin teras darurat.

Desain sistem-sistem keselamatan untuk mengantisipasi kecelakaan di reaktor RSG-GAS dipasang secara redundan, yaitu: Sistem proteksi reaktor, 2 dari 3; Katup sirkulasi alam, 2 dari 3; Katup isolasi primer, 4 x 2 dari 3; Sistem pembuangan panas peluruhan, 3 x 100%; Sistem catu daya darurat, 3 x 100%; Sistem *venting* tekanan rendah, 2 x 100%; Damper isolasi pengungkung, 2 x 100%. Gambaran reaktor RSG-GAS ditunjukkan pada Gambar 1.

*Scram* reaktor merupakan proses penghentian operasi reaktor secara tiba-tiba, apabila parameter batasan dan kondisi

operasi reaktor terlampaui. Berdasarkan hasil penelitian<sup>[7]</sup>, pemicu dasar timbulnya *scram*, diantaranya:

- Kondisi fluks neutron di beberapa titik di teras sudah lebih tinggi (*unbalanced load*).
- Gangguan *handling* dan *loading* iradiasi.
- Kondisi pengosongan tabung berkas atau fasilitas iradiasi di teras tidak merata.
- Batang kendali kompensasi tidak optimal atau jatuhnya salah satu BK.
- Penurunan kemampuan sistem instrumentasi & kendali pada detektor.

Tabel 1. Variabel untuk tindakan proteksi otomatis (*scram*) SPR

Variabel Proses	Nilai Batas	Jml Redundansi
Kerapatan fluks neutron rentang awal (batas atas JKT01)	n-Fluks $\geq 1 \times 10^5$ cps	1 dari 2
Kerapatan fluks neutron rentang menengah (JKTO2, merespon periode dari rentang menengah sampai rentang daya)	$T_{periode} \leq 15$ detik	1 dari 2
Kerapatan fluks neutron rentang menengah pada konveksi paksa (JKTO2)	daya $> 5\%$ , $5 \times 10^{-4}$ A	1 dari 2
Kerapatan fluks neutron rentang daya - $\Delta\phi/\Delta t$ ( <i>Negative Floating Limit Value</i> )	Fl.lim.val. = 0, ( <i>negative</i> )	2 dari 3
Kerapatan fluks neutron rentang daya, distribusi daya <i>non-symmetric</i>	$S_{az} \geq 0,16$	2 dari 3 / 1 dari 4
Kerapatan fluks neutron terkoreksi $N_{16} + \Delta\phi/\Delta t$ ( <i>Positive Floating Limit Value</i> )	Fl.lim.val. = 0, ( <i>positive</i> )	2 dari 3
Kerapatan fluks neutron terkoreksi $N_{16}$ (Daya reaktor maks.)	$P_N corr. \geq 109\%$	2 dari 3
Laju dosis $\gamma$ pada sistem pendingin primer	$D\gamma \geq 0,36$ rad/jam	2 dari 3
Aliran massa di sistem primer	$M_N < 90\%$	2 dari 3
Suhu pada <i>outlet</i> pemindah panas	$T \geq 42$ °C	2 dari 3
Tinggi air di kolam reaktor	$h \leq 12,25$ m	2 dari 3
Tegangan di panel daya darurat	$U \leq 0,8 U_N$	3 x 2 dari 3
Bukaan katup isolasi primer	$\theta \leq 86,5^\circ$	4 x 2 dari 3
Laju dosis $\gamma$ pada sistem ventilasi kolam	$D\gamma \geq 125$ mR/jam	2 dari 3
Katup sirkulasi alam	$\Delta p \geq 0,60$ bar	2 dari 3

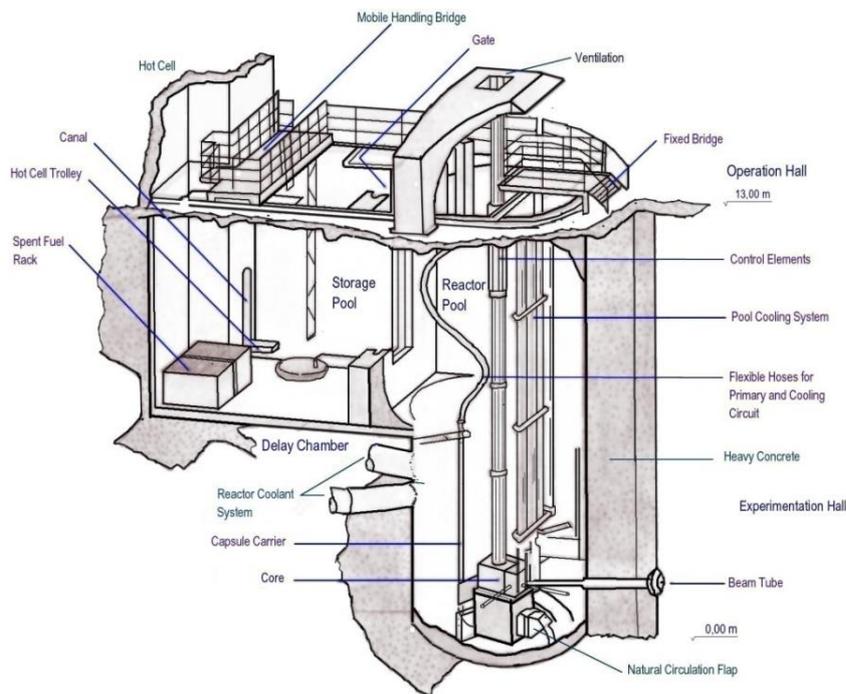
Sumber: Bab XVII LAK RSG-GAS

## METODELOGI KAJIAN

Kajian terhadap parameter nilai batas keselamatan dan BKO pada operasi daya 30 MW selama umur operasi reaktor RSG-GAS dilakukan melalui deskripsi analitik, yaitu mengevaluasi durasi waktu pengoperasian 30 MW, melakukan evaluasi parameter nilai-nilai batas keselamatan operasi pada data awal desain dengan data selama operasi dan data pada LAK perpanjangan operasi, serta membandingkan kondisi parameter operasi daya nominal terhadap daya 15 MW.

Sumber data berasal dari SAR revisi 7, LAK revisi 10, revisi 101, revisi

11, dan Laporan operasi RSG-GAS, serta dari hasil pengamatan langsung pada operasi teras ke-96 daya 30 MW reaktor RSG-GAS Pusat Reaktor Serba Guna - Batan, Serpong.



Gambar 1. Gambaran Reaktor Serba Guna - G.A. Siwabessy

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Riwayat operasi daya 30 MW, reaktor RSG-GAS

Tabel 2. Daftar riwayat pengoperasian reaktor RSG-GAS pada daya 30 MW

Teras Operasi	Tanggal	Durasi Waktu [jam]	Keterangan
6	23/3/1992 s/d 4/6/1992	84,20	Terbagi dalam 10 kali operasi 30 MW; terpanjang 23,9 jam tgl 25/3/1992 dan terpendek 1,85 jam tgl 18/4/1992; Sebagai Teras TWC, daya 30 MW pertama
7	26/8/1992 s/d 6/9/1992	39,77	Terbagi dalam 4 kali operasi 30 MW; terpanjang 23,15 jam tgl 27/8/1992 dan terpendek 0,67 jam tgl 5/9/1992
10	15/11/1993 s/d 16/11/1993	24,10	Terbagi dalam 2 kali operasi 30 MW; masing-masing operasi 9 jam dan 15 jam
45	6/9/2002	4,92	Operasi uji bahan bakar U-Silisida
57	29/6/2006	2,95	Operasi untuk uji inspeksi Bapeten
65	22/8/2008	5,17	-
69	1/10/2009	5,00	-
71	6/4/2010	5,73	-
80	26/9/2012	1,07	-
91	4/5/2016	0,28	Terbagi dalam 2 kali operasi 30 MW; masing-masing operasi 6 menit dan 11 menit
92	13/1/2017	3,00	Uji det. JKT02/03 CX811 dan pengukuran suhu EB dengan det.. IFE
96	15/5/2018	1,03	Uji keefektifan fungsi <i>cooling tower</i> pra-revitalisasi
Jumlah		177,22	

Sumber: Laporan operasi reaktor T-1 s/d T-95 dan rekaman operasi daya 30 MW T-96

Pengoperasian reaktor dengan daya 30 MW selama umur operasi hingga Agustus 2018 (31 tahun) telah diuji dengan total durasi waktu 177,22 jam. Pengoperasian reaktor dengan daya 30 MW terpanjang, yaitu 23,9 jam pada Teras operasi ke-6 tanggal 25 Maret 1992 sedangkan operasi tersingkat, yaitu 6 menit pada Teras operasi ke-91 tanggal 4 Mei 2016. Pengoperasian dengan daya 30 MW, dilakukan sebagai uji coba kemampuan dari seluruh parameter pendukung operasi. Pengoperasian dilakukan secara bertahap dari mulai daya rendah hingga daya tinggi. Tahapan dari 15 MW menuju daya 20

MW, 25 MW, hingga 30 MW biasanya dilakukan dalam durasi 30 menit. Pertimbangan lain, sesuai skema dan perhitungan batasan fraksi bakar yang akan dicapai ataupun tergantung pada kondisi parameter pemantau sistem keselamatan. Begitu pula, durasi pengoperasian daya nominal dipengaruhi oleh tujuan dari pengujian dan kemampuan sistem penunjang serta sistem keselamatan reaktornya.

#### B. Tinjauan parameter desain termohidrolik reaktor RSG-GAS

Tabel 3. Data desain parameter termohidrolik reaktor RSG-GAS pada LAK

Parameter Termohidrolika	Nilai desain pada SAR/LAK			
	Rev 7 & 8	Rev 10	Rev 10.1	Rev 11
Pembangkitan panas di teras reaktor, MW	30	30	30	30
Pembangkitan panas dari bahan bakar, %	100	100	100	100
Tekanan masuk teras reaktor, bar	1,997	1,997	1,997	1,997
Total laju alir sistem primer, kg/s	860	860	860	860
Laju alir minimum, kg/s	800	800	800	800
Laju alir efektif pendinginan pelat bahan bakar, kg/s	618	618	618	618
Luas aliran efektif untuk perpindahan panas, m <sup>2</sup>	0,1643	0,1643	0,1643	0,1643
Kecepatan rerata pendingin sepanjang bahan bakar, m/s	3,7	3,7	3,7	3,7
Kecepatan massa rata-rata di teras reaktor, kg/m <sup>2</sup> s	3,761	3,761	3,761	3,761
Penurunan tekanan di dalam teras reaktor, bar	0,50	0,50	0,50	0,50
Suhu pendingin masuk, °C	40,5	40,5	40,5	40,5
Kenaikan suhu pendingin rerata di dalam teras reaktor, °C	10	10,1	10,07	10,07
Suhu pendingin rata-rata di keluaran teras reaktor, °C	50,5	50,6	50,57	50,57
Suhu pendingin maks. di keluaran kanal terpanas, °C	74,4	75,3	75,3	75,3
Luas permukaan pelat bahan bakar, m <sup>2</sup>	72,29	72,29	72,29	72,29
Fluks panas rerata, W/m <sup>2</sup>	4,15e+05	4,15e+05	4,15e+05	4,15e+05
Fluks panas maks. untuk operasi normal, W/m <sup>2</sup>	2,217e+06	2,217e+06	2,63e+06	2,63e+06
Suhu maks. permukaan pelat, °C	145	146	150	150
Suhu maks. di tengah bahan bakar (awal siklus), °C	175	154	157	157
Suhu maks. di tengah bahan bakar (akhir siklus), °C	200	187	193	193
Suhu maks. di tengah bahan bakar pada daya lebih, °C	207	192	203	203
Marjin keselamatan min. pada daya nominal	3,38	3,01	2,94	2,94
Marjin keselamatan min. pada daya lebih	2,67	2,31	2,31	2,31
Marjin keselamatan min. untuk desain transien	1,48	1,48	1,48	1,48

Sumber: SAR & LAK RSG-GAS dan Ref-[9]

Nilai parameter termohidrolis reaktor RSG-GAS didesain dapat menghasilkan daya 30 MW dan membangkitkan fluks neutron termal di posisi pusat iradiasi sebesar  $5,38e+14$  n/cm<sup>2</sup>/s. Nilai parameter secara perhitungan ulang yang dilaporkan pada LAK teramati ada yang mengalami perubahan, diantaranya nilai suhu pendingin pada kanal terpanas naik 1 K, fluks panas yang terbangkitkan pada operasi normal naik  $0,413e+6$  W/m<sup>2</sup>, suhu pada permukaan pelat naik 5 K, sedangkan

suhu di tengah bahan bakar mengalami penurunan pada awal siklus sebesar 18 K, di akhir siklus sebesar 7 K, dan pada daya lebih 4 K. Kondisi ini dapat diakibatkan karena fungsi yang efektif dari pergantian pelat Oksida ke Silisida namun juga terindikasi adanya peningkatan suhu pendingin di teras yang kurang optimal dikonveksikan.

### C. Parameter Proses pada operasi 30 MW

Tabel 4. Pemantauan parameter operasi sistem proses reaktor pada daya 30 MW

No.	Parameter <sup>[6]</sup>	KKS	Nilai batas acuan	Nilai operasi dicapai	
				6/9/2002	13/1/2017
Pendingin primer					
1.	Suhu keluar Teras, °C	JE-01 CT001/002/004	≤ 49,0	48 .. 49	43 .. 44
2.	Suhu masuk Teras, °C	JE-01 CT811, CT003/005/006	< 42,0	40	38 .. 39
3.	Laju alir, m <sup>3</sup> /jam	JE-01 CF811/821/831	>2.820	3.150 .. 3.200	3.150
4.	Ph air	KBE01	≥ 5,2	5,8	6,1
5.	Konduktivitas air, μS/cm	KBE01	≤ 8	0,6	1,36
6.	Level kolam reaktor, m	JAA01 CL811/821/831, CL001	> 12,25	12,47..12,5	12,51 .. 12,55
Lapisan air hangat					
1.	Suhu air sebelum Heater, °C	KBE02 CT001	≤ 50,0	39,5	37
2.	Suhu air setelah Heater, °C	KBE02 CT002	≤ 60,0	54	56
3.	Suhu air kolam (bwh), °C	JAA01 CT001	≤ 42,0	41,9	43
4.	Suhu air kolam (atas), °C	JAA01 CT002	≤ 50,0	50	52
5.	Beda suhu air kolam (bawah), °C	JAA01 CT003	≈ 8	8,3	8
Sistem ventilasi					
1.	Suhu udara luar, °C	KLA10 CT001	< 32	30	32
2.	Kelembaban udara luar, %	KLA10 CM001	< 99	84	95
3.	Suhu Balai Operasi, °C	KLA31 CT001	≤ 26,0	20	24
4.	Kelembaban udara Balai Operasi, %	KLA31 CM001	≤ 60,0	52	70

Sumber: Lap operasi T-45 dan lap operasi T-92

Hasil pengamatan pada parameter proses, secara keseluruhan kondisi sistem proses (sistem pendingin dan kolam reaktor) beroperasi normal sesuai BKO. Parameter pada sistem pendingin yang diseting langsung pada SPR, yaitu parameter suhu masuk teras yang dibatasi pada nilai 42°C, laju alir pendingin yang dibatasi pada 2.820 m<sup>3</sup>/jam, dan tinggi permukaan air kolam reaktor yang dibatasi pada 12,25 m. Konduktivitas (kualitas) air tidak diseting pada sistem pembatas,

terpantau mengalami tren kenaikan hingga di atas 1 μS/cm.

Sistem lapisan air hangat berfungsi untuk menahan air dari teras reaktor mencapai permukaan sehingga secara tidak langsung juga mengurangi paparan radiasi di balai operasi. Pada prinsipnya suhu permukaan air kolam harus lebih tinggi dari suhu air 1,5 m di bawahnya. Beda suhu diperoleh sekitar 8 K. Diperlukan revisi data pada LAK (LAK Rev.10.1,

Tabel XV-14) supaya dinyatakan bahwa unit lapisan air hangat KBE02 sudah terbentuk dan berfungsi.

Sistem ventilasi di dalam gedung reaktor juga tetap harus dapat memberikan kondisi yang baik terhadap peralatan instrumentasi, kenyamanan operator, dan

menjaga sistem tekanan negatif atau mengungkung radiasi. Sistem ventilasi selalu dirawat dan harus memenuhi persyaratan sebelum reaktor beroperasi.

#### D. Pemantauan BKO 15 MW dan 30 MW

Tabel 5. A. Data pemantauan parameter BKO daya 15 MW dan 30 MW pada Teras ke-96 (2018)

No	Parameter	Nilai Batasan	Nilai Aktual			
			Daya 15 MW, [Apr-Jun 2018]		Daya 30 MW, [15-05-2018]	
			Panel tegak SPR	Monitor lain RKU	Panel tegak SPR	Monitor lain RKU
1	JRE/F/G10 FX804	$S_{az} \geq 16\%$	5 .. 30%	3 .. 9%	5 .. 10%	2 .. 4%
2	JRE/F/G10 FX801	$\Phi_{corr} \geq 109\%$	25 .. 35%	40 .. 50%	60%	100%
3	JAC01 CR811, 821, 831	$D_{\gamma} \geq 0,36 \text{ rad/h}$	30 .. 35%	50%	60%	50%
4	JE-01 CF811, 821, 831	$m_N \leq 90\%$	90 .. 95%	3100 .. 3200 m <sup>3</sup> /h	95%	3200 m <sup>3</sup> /h
5	JE-01 CT811, 821, 831	$T \geq 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$	25 .. 30%	34 .. 38 $^{\circ}\text{C}$	30%	38 .. 40 $^{\circ}\text{C}$
6	JAA01 CL811, 821, 831	$h \leq 12,25 \text{ m}$	90 .. 95%	12,44 .. 12,52 m	95%	12,50 .. 12,52 m
7	KLA60 CR811	$D_{\gamma} \geq 125e-3 \text{ Gy/h}$	10 .. 15%	$< 5 \times 10^{-6} \text{ Gy/h}$	10 .. 15%	$< 5 \times 10^{-6} \text{ Gy/h}$
8	JE-01 CP811	$\Delta P \geq 0,6 \text{ bar}$	10 .. 15%	0,15 .. 0,3 bar	10 .. 20%	0,15 bar

Sumber: Rekaman pemantauan BKO pada operasi daya 30 MW tahap III teras ke-96

Tabel 5. B. Data pemantauan aktivitas radiasi pada operasi daya 30 MW Teras ke-96 (2018)

No	Parameter	Satuan	Nilai Aktual	
			14.21-14.31 WIB	14.31-15.02 WIB
1	UJA07 CR004	mR/h	0,9, 1, 10	10, 20, 20
2	FFD CR001/002	%	34,2 / 20,4	36,4 / 22,6

Parameter BKO yang akan dievaluasi adalah pemantau ketidakseimbangan beban di teras (JRE/F/G FX804), pemantau daya maksimal (JRE/F/G FX801), pemantau aktivitas radiasi pada sistem pendingin primer (JAC01 CR), pemantau laju alir pendingin (JE-01 CF), pemantau suhu pendingin (JE-01 CT), pemantau level permukaan air kolam (JE-01 CL), pemantau paparan radiasi di atas kolam

reaktor (KLA60 CR), dan pemantau tekanan pendingin/katup sirkulasi alam (JE-01 CP). Data diambil dari dua kelompok monitor yaitu pada panel tegak khusus sistem proteksi reaktor (SPR) dan monitor lain di RKU misalnya pada meja kendali. Pada panel tegak SPR pembacaan nilai sebenarnya masih harus dikonversi terhadap skala jangkau ukur. Tetapi dengan bantuan monitor lainnya yang redundan maka pengamatan terhadap nilai yang

mendekati seting SPR dapat terus terpantau untuk diwaspadai.

Nilai ketidakseimbangan beban relatif masih kecil, yaitu 4% dari batasan 16%. Namun demikian kondisi keseimbangan fluks di teras telah menjadi perhatian karena kondisi yang sering menimbulkan *scram*. Sehingga diperlukan proses penyesuaian nilai batas. Kondisi keseimbangan di teras saat operasi juga dipengaruhi oleh kondisi fasilitas tabung berkas neutron. Laju alir pendingin dan level permukaan air kolam dalam kondisi normal. Begitupun tekanan pada pendingin di bawah teras atau posisi katup sirkulasi alam dalam kondisi normal. Sedangkan aktivitas radiasi mengalami peningkatan akan tetapi masih setara dengan operasi 15 MW. Peningkatan aktivitas radiasi akibat operasi 30 MW dapat diamati dari pemantau laju paparan di atas kolam reaktor dari UJA07 CR004, dengan nilai terus meningkat dari 1 – 20 mR/h atau dari pemantau aktivitas radiasi pada saluran pendingin primer (FFD CR001). Nilai pemantau daya mendekati batasan tetapi wajar karena operasi 30 MW sehingga terpantau 100%, yang mana batasannya adalah 109%.

Terkait dengan rencana pengujian fungsi *cooling tower* maka pemantau suhu keluaran *heat exchanger* sangat diperhatikan. Teramati pada operasi 15 MW suhu terpantau JE-01 CT811 adalah maks 38 °C sedangkan pada daya 30 MW suhu masuk ke teras reaktor terpantau hingga 40 °C dan terindikasi secara perlahan adanya peningkatan.

Reaktor RSG-GAS yang didesain dengan daya nominal 30 MW, hingga agustus 2018 telah berumur 31 tahun dan masuk tahap perpanjangan izin operasi baru. Dalam perjalanan pengoperasiannya selalu berpedoman kepada nilai batas keselamatan dan BKO yang tertuang pada LAK RSG-GAS. LAK memberikan jaminan penilaian kesiapan pengoperasian sesuai BKO, tersedianya analisis

kecelakaan baik yang terantisipasi ataupun kecelakaan yang melampaui desain, hingga rencana penanggulangan kondisi kedaruratan nuklir. Parameter neutronik, termohidrolik, kinetik, dan radiologi telah dihitung dan dapat terus menjadi acuan yang tertuang pada LAK.

Pengoperasian dengan daya 15 MW bertujuan untuk keselamatan, efektivitas, dan efisiensi. Namun untuk uji kemampuan, penelitian, dan inspeksi maka daya nominal dapat tetap dilaksanakan. Dari beberapa pengujian daya nominal maka hanya pada teras operasi ke-6 yang mampu hingga 23,9 jam tanpa gangguan (sebagai standar tipe teras kerja, TWC). Sedangkan selanjutnya, uji dengan daya nominal dibatasi sekitar 1 s/d 3 jam. Hal ini karena beberapa pendukung sistem telah mengalami penggantian dan *service*. Fungsi sistem yang tetap harus optimal, yaitu fungsi dari sistem pengendalian reaktivitas, fungsi pemindahan panas, fungsi pengungkung/penahan radiasi serta fungsi peralatan pendukung seperti komponen sistem proses, sistem kelistrikan, sistem instrumentasi, dan sistem penampungan limbah cair.

Pengujian 30 MW pada teras operasi ke-96, dimaksudkan untuk menguji efektivitas dari sistem pendingin sekunder khususnya pada Menara pendingin . Dalam waktu dekat Menara pendingin akan diganti untuk lebih mengefektifkan pembuangan panas pada pendingin sekunder dan diharapkan hingga tahun 2030 reaktor RSG-GAS masih dapat beroperasi optimal.

## KESIMPULAN

Operasi reaktor RSG-GAS dengan daya 30 MW hingga Agustus 2018 adalah 177,22 jam dan operasi terpanjang adalah 23,9 jam. Pengoperasian 30 MW dilakukan sebagai uji fungsi kemampuan beberapa parameter penunjang keselamatan dan

inspeksi Badan Pengawas. Untuk mengantisipasi penurunan kemampuan sistem penunjang dan efektivitas maka reaktor RSG-GAS dioperasikan pada daya 15 MW.

Nilai parameter termohidrolik dari pengoperasian reaktor RSG-GAS yang tertuang pada LAK awal desain hingga perpanjangan izin baru pada dasarnya tidak banyak perubahan.

Pemantauan pada pengoperasian 30 MW dari parameter proses dan parameter BKO menunjukkan bahwa variabel proses dan termohidrolik masih mampu memberikan kinerja operasi normal. Hal yang diwaspadai karena mengalami perubahan/penurunan fungsi yaitu fasilitas tabung berkas neutron yang berdampak pada ketidakseimbangan fluks neutron dan efektifitas pembuangan panas pada pendingin sekunder (Menara pendingin).

#### REFERENSI:

- [1] PRSG-Batan, Laporan analisis keselamatan (LAK) RSG-GAS, Rev. 10.1. Serpong, 2011.
- [2] J. Sukmana, "Kajian Kinerja Sistem Proteksi Reaktor dan Batas Keselamatan Operasi pada Pengendalian Operasi RSG-GAS," Pros. Semin. II SDM Teknol. Nukl., 2006.
- [3] J. Sukmana, "Evaluasi Unjuk Kerja Keselamatan Operasi RSG-GAS Teras LXII-LXVI," Pros. Semin. Nas. Teknol. dan Apl. Reakt. Nukl., 2009.
- [4] J. Sukmana and R. Triharto, "Evaluasi Kinerja Operasi Reaktor GA Siwabessy Teras 45-Teras 82," Pros. Semin. Nas. Teknol. dan Apl. Reakt. Nukl., 2013.
- [5] Bapeten, Perka Bapeten No. 8 tahun 2012 tentang penyusunan laporan analisis keselamatan reaktor nondaya. Jakarta, 2012.
- [6] Batan, *G.A. Siwabessy-MPR of Safety Analysis Report*, Rev. 7. Serpong: PRSG-Batan, 1989.
- [7] J. Sukmana, R. Triharto, and Irwan, "Evaluasi Penyebab *Scram* pada Kanal UBL - Sistem Proteksi Reaktor dalam Pengoperasian Reaktor RSG-GAS," Bul. Pengelolaan Reakt. Nukl., vol. Vol. XII, 2017.
- [8] T. Surbakti and dkk, "*Reactivity characteristic of RSG-GAS working core 30 years operation*," J. Penelit. Fis. dan Apl., vol. Unesa-Sema, 2017.
- [9] D. B. Owen, "*Factors for One-sided Tolerance Limits and for Variables Sampling Plans*," vol. SCR-607, 1963.

#### DISKUSI

- 1) Selama 31 tahun beroperasi, apakah sudah ada modifikasi? Dan apakah akan ada modifikasi untuk meningkatkan kemampuan operasi 30 MW? [Penanya: Muhtadan, STTN]  
Penjelasan:  
Pernah dilakukan modifikasi pada kanal daya (th. 1989) dan konfigurasi pelat bahan bakar Oksida ke Silisida (th. 1999-2003). Untuk mempertahankan kemampuan operasi, akan dilakukan refungsionalisasi terhadap sistem pembuang panas (Menara pendingin) dan sistem proteksi reaktor.
- 2) Apakah saat terjadi gempa bumi sistem tetap aman? [Penanya: Rini Indrati, Poltekkes Semarang]  
Penjelasan:  
SSK reaktor RSG-GAS didesain tahan terhadap gempa 0,25G (setara 6-7 skala Richter atau VIII¼ skala MMI). Pada LAK, tapak reaktor RSG-GAS aman dari kejadian kegempaan dan analisis keselamatan telah dilakukan hingga kecelakaan yang melampaui dasar desain (BDBA).
- 3) Apakah penyebab waktu operasi pada 30 MW hanya rata-rata 1 jam, padahal sebelumnya pernah sampai 23,9 jam? [Penanya: Yeti Kartikasari, Poltekkes Semarang]

Penjelasan:

Sebagai efisiensi kebutuhan fluks neutron (tercukupi) dan keselamatan pada sistem transfer panas. Artinya kebutuhan fluks neutron untuk iradiasi tetap terpenuhi dengan daya operasi 15 MW. Sedangkan pada daya 30 MW, panas yang ditimbulkan yang harus

dibuang akan menimbulkan rentan *safety margin* dan parameter pembatas suhu akan menghentikan operasi. Uji operasi 30 MW tetap dilakukan untuk penilaian kemampuan sistem keselamatan dan permintaan Bapeten.