

KAJIAN KINERJA SISTEM PROTEKSI REAKTOR DAN BATAS PERSYARATAN OPERASI PADA PENGENDALIAN OPERASI RSG-GAS

JAJA SUKMANA, JONNIE A. KORUA, S. SUWARTO

Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN,

Kawasan PUSPIPTEK Gedung No. 31

Serpong, Tangerang 15310, Banten, Indonesia

Telp. +62-21-7560908, Fax. +62-21-7560573

E-mail :prsg@cbn.net.id

Abstrak

KAJIAN KINERJA SISTEM PROTEKSI REAKTOR DAN BATAS PERSYARATAN OPERASI PADA PENGENDALIAN OPERASI RSG-GAS. Telah dilakukan evaluasi kinerja SPR dan tinjauan terhadap kondisi batas pengoperasian RSG-GAS untuk mengendalikan operasi yang selamat. Tindakan keselamatan yang merupakan ragam keselamatan teknis diperintahkan dari SPR, diantaranya berupa scram. Seiring pemanfaatan RSG-GAS, SPR telah menempuh waktu dalam operasi yang dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, getaran, energi listrik, dan karakter media yang dipantaunya. Kajian ini dilakukan berdasar pada pemeliharaan, pengujian berkala, dan indikasi scram reaktor ketika operasi. Adanya sinyal scram menunjukkan fungsi keselamatan teknis optimal. Un-balance load dan floating limit N-16 yang sering menyebabkan scram diakibatkan adanya kegagalan pada pemantau fluks neutron (perangkat JKT03) yang terhubung ke bagian analog lainnya (JRE/JRF/JRG). Hasil pengujian pada resistansi insulasi beberapa unit SPR telah mengalami penurunan dari standar pada harga 10^{12} Ohm menjadi 10^8 Ohm. Beberapa karakter persyaratan operasi untuk keselamatan telah melampaui harga batasnya, yaitu siklus operasi dan daya terbangkitkan, tetapi fluens dan material Absorber masih optimal. Secara umum kinerja sistem proteksi reaktor dan batas persyaratan operasi masih handal dalam mengendalikan keselamatan RSG-GAS.

Kata-kata kunci: proteksi radiasi, reaktor, RSG-GAS

Abstract

EVALUATION PERFORMANCE REACTOR PROTECTION SYSTEM AND LIMITS CONDITION OPERATION TO CONTROLLING OF RSG-GAS. Have to evaluate performance of RPS and observation to limits condition operation of RSG-GAS for to controlling of operation safety. Safety action representing technical safety manner commanded from RPS, that is in the form of reactor scram. Along exploiting of RSG-GAS, RPS have gone through in operation is also influenced by temperature, humidity, vibration, electrics energi, and his monitored media character. Be evaluated from maintenance, periodic of test, and indication reactor scram. Un-balance Load and limits of floating N-16 which often cause scram resulted by the existence of failure at monitor of neutron flux (peripheral of JKT03) what incircuit to part of other analogue (JRE/JRF/JRG). Result of examination at insulation resistans some unit of RPS have experienced of degradation of standard at point 10^{12} Ohm become 10^8 Ohm. The Character of condition operation for safety have to over point limits, that is operation ciclus dan product of power bat fluens and material Absorber still optimum. The general of performance of RPS and limits condition of operation still goodness in to controlling safety of RSG-GAS.

Keywords: radiation protection, reactor, RSG GAS

PENDAHULUAN

Fungsi dari sistem instrumentasi dan kendali keselamatan ialah untuk menjaga agar reaktor tetap berada dalam keadaan selamat dan menjamin tidak terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan. Dengan demikian maka sistem keselamatan reaktor merupakan fasilitas yang sangat penting dan harus selalu berfungsi dengan baik. Tindakan keselamatan yang merupakan ragam keselamatan teknik diperintahkan dari Sistem Proteksi Reaktor (SPR) secara otomatis dan harus terkendali juga oleh persyaratan lain secara manajemen.

Kajian ini bertujuan untuk menunjukkan kinerja SPR setelah 20 tahun beroperasi di Reaktor Serba Guna-G.A. Siwabessy (RSG-GAS) dan melakukan tinjauan terhadap kondisi batas-batas dan persyaratan operasi dalam menjamin keselamatan.

Penyajian makalah ini dibatasi dalam lingkup sistem pengendalian operasi RSG-GAS, yang mencakup: Dasar sistem instrumentasi dan kendali reaktor terutama Sistem proteksi reaktor dan Batasan Persyaratan Operasi (BPO) RSG-GAS.

LANDASAN TEORI

Sistem Instrumentasi dan Kendali RSG-GAS

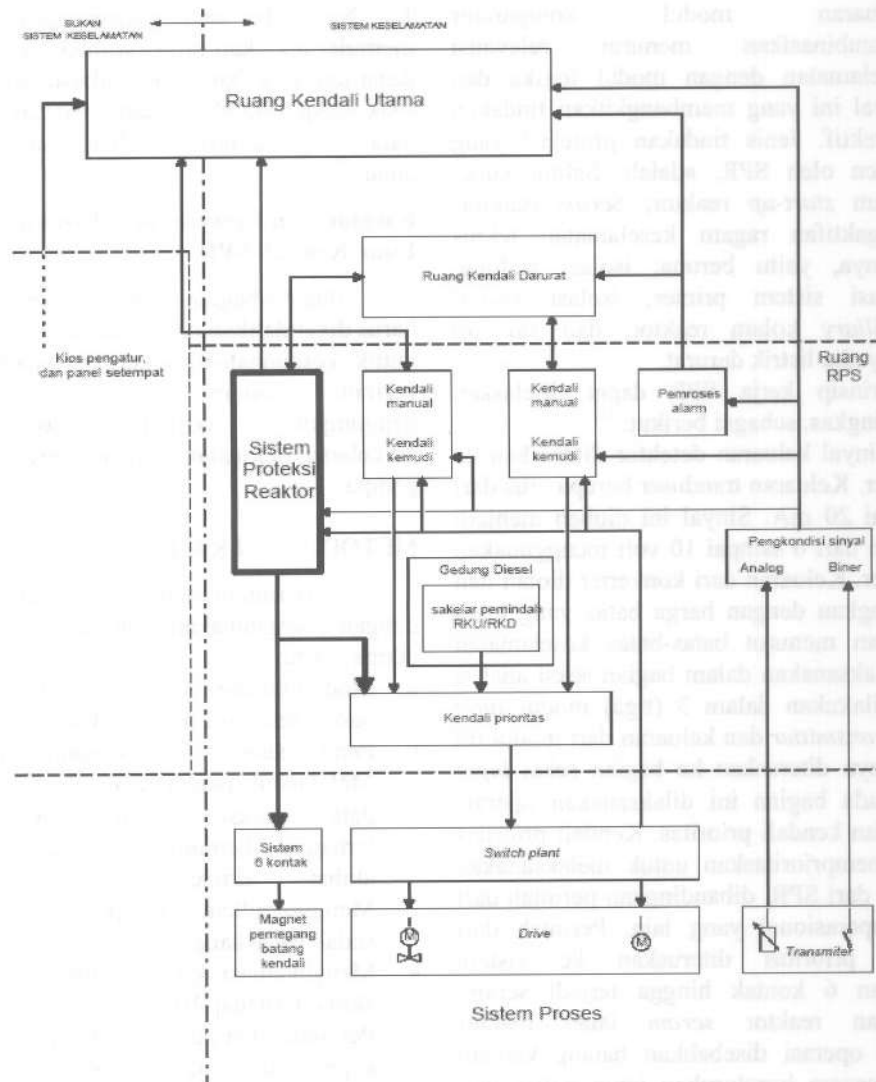
Sistem instrumentasi reaktor terdiri dari instrumen elektronik yang berfungsi untuk pengukuran, pemantauan, pengaturan, dan pengendalian parameter proses di reaktor.^[6] *Sensor* atau *detektor*, *transmitter*, dan *transducer* adalah bagian dari kanal pengukuran (mengindera) yang bertugas mengubah besaran fisis tertentu menjadi sinyal tegangan atau arus listrik analog yang diperkuat atau dibalik polaritasnya dengan *inverter*. Kemudian diubah menjadi sinyal digital dengan menggunakan piranti-piranti terpadu, dan dipadukan dengan sinyal pembanding dari komparator.

Variabel-variabel proses yang dipantau dengan beberapa peralatan ukur ini, ada yang dibuat secara *redundan* atau ada yang dibuat secara *diversiter*, dengan maksud agar diperoleh keandalan yang tinggi sesuai fungsi masing-masing. Sistem instrumentasi dan

kendali di RSG-GAS terdiri dari: Sistem instrumentasi dan kendali (SIK) keselamatan, Panel setempat di ruang kendali utama (RKU) dan di ruang kendali darurat (RKD) yang menyangkut sistem alarm terpadu, Sistem proses, Sistem pemantau radiasi, Instrumentasi pencatat gempa, Sistem alarm kebakaran, dan Sistem komunikasi.^[4,5] Dalam mengoperasikan reaktor, seluruh sistem penggerak diatur dan dikendalikan dari RKU sebagai konsep SIK atau oleh panel-panel setempat (darurat). Prinsip diagram SIK yang berhubungan dengan keselamatan diperlihatkan dalam Gambar 1, yang penempatan panel dan monitornya ada di RKU.^[1,2]

Dasar Desain Sistem Keselamatan Reaktor

Variabel operasi reaktor yang menjadi dasar desain sistem keselamatan dikelompokkan berdasar kepada hal-hal seperti berikut, yaitu ^[2,3] untuk mencegah kecelakaan reaktivitas dengan memantau fluks neutron. Mengupayakan agar kanal-kanal pendingin tidak tersumbat yang menimbulkan transien negatif fluks neutron. Mencegah penutupan katup isolasi primer yang akan mereduksi laju aliran pendingin. Mencegah kehilangan pendingin primer dengan memantau ketinggian air dalam kolam reaktor. Mengantisipasi kegagalan pompa primer yang langsung mereduksi laju aliran pendingin. Mengantisipasi kegagalan pompa sekunder yang menyebabkan gangguan pada proses perpindahan panas dalam tangki penukar panas sehingga mengakibatkan kenaikan temperatur pendingin primer. Mengantisipasi kehilangan catu daya reaktor dengan pembangkitan tenaga 3 (tiga) diesel darurat secara otomatis. Mencegah kelolosan zat radioaktif dari kolam reaktor dan secara otomatis mengisolasi gedung reaktor. Mencegah pembukaan katup-katup sirkulasi natural saat operasi supaya tidak mengganggu konveksi paksa pendingin primer.



Gambar 1. Prinsip Sistem Instrumentasi dan Kendali yang Berhubungan dengan Keselamatan

Sistem Proteksi Reaktor

Sistem Proteksi Reaktor yang dialih bahasa dari *Reactor Protection System (RPS)* dicatu oleh 3 sistem daya tak terputus, bertegangan ± 24 Volt dari lemari distribusi daya. Sistem proteksi reaktor terbagi dalam dua kelompok, sebagai berikut:^[1,2]

- 1 Bagian Analog, mengakuisisi data kualitatif dan mengolah sinyal-sinyal analog dari sensor melalui transmitter dan transduser dengan redundansi 3 hingga ke pemantau harga batas. Sensor difungsikan untuk memantau kesembilan parameter

keselamatan, yaitu: Kerapatan fluks neutron (JKT01, JKT02, JKT03), Laju dosis- γ pada pendingin primer (JAC01), Laju dosis- γ pada ventilasi kolam (KLA60), Laju alir pendingin primer (JE-01 CF), Ketinggian air kolam reaktor (JAA01 CL), Posisi katup isolasi primer (JE-01 CG), Posisi tertutup katup sirkulasi alam (JE-01 CP), Suhu pada keluaran HE (JE-01 CT), dan Tegangan catu daya darurat (BNA, BNB, BNC).

- 2 Bagian Logika, membandingkan sinyal-sinyal analog dan membangkitkan sinyal biner saat timbul perbedaan harga di

antara sinyal melebihi harga batasnya. Keluaran modul komparator dikombinasikan menurut relevansi keselamatan dengan modul logika dan sinyal ini yang membangkitkan tindakan protektif. Jenis tindakan protektif yang dipicu oleh SPR, adalah: Saling kunci dalam *start-up* reaktor; *Scram* reaktor; pengaktifan ragam keselamatan teknis lainnya, yaitu berupa: isolasi gedung, isolasi sistem primer, isolasi sistem *auxiliary* kolam reaktor, dan *start-up* penyedia listrik darurat.

Prinsip kerja SPR dapat dijelaskan secara ringkas, sebagai berikut:^[3] Sinyal-sinyal keluaran detektor diteruskan ke transduser. Keluaran transduser berupa arus dari 0 sampai 20 mA. Sinyal ini diubah menjadi tegangan dari 0 sampai 10 volt menggunakan konverter. Keluaran dari konverter diolah dan dibandingkan dengan harga batas yang telah ditetapkan menurut batas-batas keselamatan yang dilaksanakan dalam bagian seksi analog (AS). dilakukan dalam 3 (tiga) modul *limit signal transmitter* dan keluaran dari modul ini selanjutnya diteruskan ke bagian seksi logika (LS). Pada bagian ini dilaksanakan operasi logika dan kendali prioritas. Kendali prioritas selalu memprioritaskan untuk melaksanakan perintah dari SPR, dibandingkan perintah dari sinyal operasional yang lain. Perintah dari kendali prioritas diteruskan ke sistem pengaman 6 kontak hingga terjadi *scram*. Pengertian reaktor *scram* ialah reaktor berhenti operasi disebabkan batang kendali reaktor secara keseluruhan jatuh bebas dari tongkat pemegangnya. Reaktor dapat juga *scram* secara manual. Kabinet JRZ-11 adalah sistem pengaman 6 kontak yang merupakan sistem *switch-relay* yang bekerja dalam kondisi *normally-closed* (saat reaktor operasi) dan membuka jika ada sinyal (secara redundan) dari SPR. Pada Gambar 2, diperlihatkan gerbang logika SPR yang menunjukkan diagram proses sinyal aktuasi, di antaranya reaktor *scram* dan *scram* secara manual.^[2]

Syarat Batas Operasi Reaktor pada SPR

Batas keselamatan operasi RSG-GAS ditetapkan untuk variabel-variabel yang dapat diamati yang berkaitan dengan unjuk kerja 9

variabel proses seperti ditunjukkan pada Tabel 1.^[1] Nilai-nilai batas sebagai kriteria untuk memulai tindakan proteksi ditentukan sebagai dasar dari nilai batas yang dihasilkan dari nilai fisik yang diizinkan, dan merupakan batas-batas bagi kondisi-kondisi instalasi yang aman.^[4]

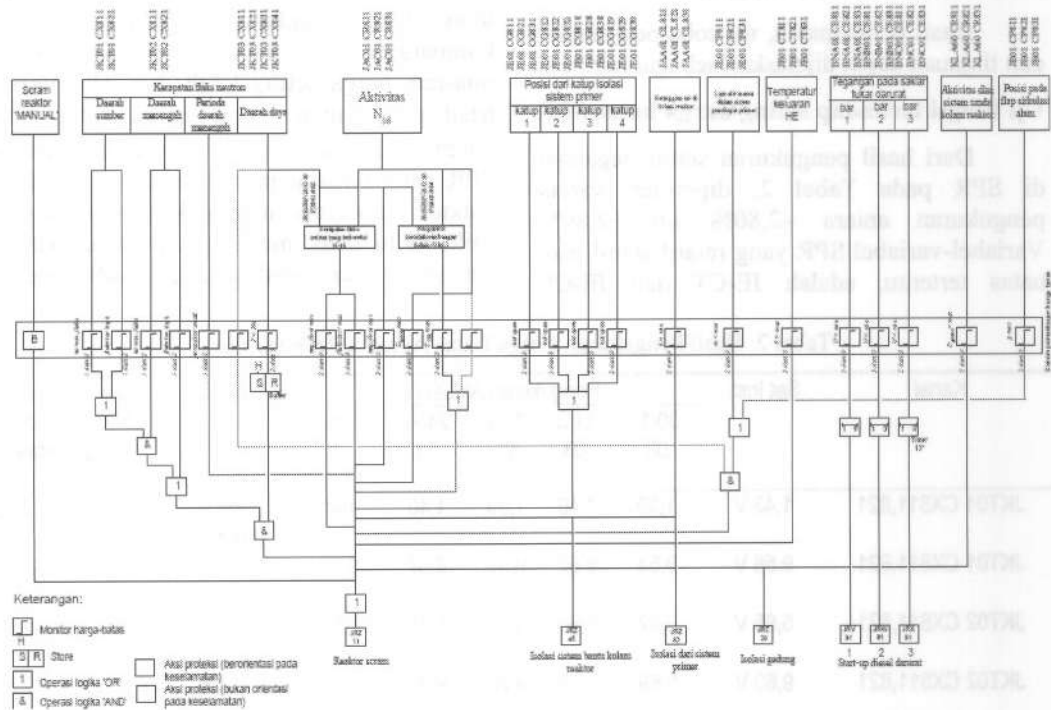
Batasan dan Persyaratan Operasi (BPO) Di Luar Kendali SPR

Bagian-bagian sistem reaktor yang harus dikendalikan dan dibatasi nilai (besaran) untuk keselamatannya terdapat pada sistem berikut: sistem reaktor, pendingin, pengungkung, ventilasi, daya listrik, percobaan, pemuatan elemen teras, dan sistem gempa.^[1]

METODOLOGI KAJIAN

Penyusunan makalah ini dilaksanakan dengan menggunakan tiga langkah kegiatan utama, yaitu:

- Studi literatur. Melakukan studi literatur sesuai referensi pada Pustaka.
- Pengamatan dan pengambilan data. Melakukan pengamatan dan pencatatan data operasi reaktor dengan kajian terhadap kemungkinan gagal operasi akibat aktuasi perangkat SPR. Mengumpulkan data operasi reaktor yang sudah terlaksana.
- Mengevaluasi kinerja SPR dan tinjauan aktual terhadap BPO. Peralatan dan perangkat komponen dalam kajian ini adalah semua peralatan instrumentasi dan kendali terpasang, terutama yang menyangkut sistem instrumentasi, sistem instalasi, parameter SPR, dan panel-panel dalam ruang SPR. Selain itu digunakan pula perangkat ukur umum, seperti AVO-meter digital untuk mengukur harga batas instrumen SPR, dan literatur dari kajian sejenis.



Gambar 2. Gerbang Logika Sistem Proteksi Reaktor G.A. Siwabessy

Tabel 1. Data Variabel SPR dan Syarat Batas Operasi Keselamatan

No	Variabel Proses	Syarat Batas Operasi	
		Proses	Setting
1	Kerapatan fluks neutron daerah start-up	min. 2 cps	1 cps
	Kerapatan fluks neutron daerah start-up	maks 1×10^5 cps	5E5 cps
	Kerapatan fluks neutron daerah menengah	min. 1×10^{-7} A	1E-7 A
	Kerapatan fluks neutron daerah menengah	Periode terlalu singkat ≤ 5 s	15 s
	Kerapatan fluks neutron daerah daya	$< 3\%$ Daya nominal (P_N)	$3\% P_N$
	Kerapatan fluks neutron daerah daya	Harga batas FI. $\leq 1,5 \%$ /det	0
	Kerapatan fluks neutron daerah daya	$S_{az} \geq 0,20$	$16\% P_N$
	Kerapatan fluks neutron daerah daya dan terkoreksi N-16, $+ \Delta\phi/\Delta t$ (Pos. Floating)	Harga batas FI. $\leq 0,5 \%$ /det	0
	Kerapatan fluks neutron terkoreksi N-16	Φ terkoreksi $\geq 109 \%$	$110\% P_N$
2	Laju dosis- γ di dalam sistem pendingin primer	$D_\gamma \geq 0,36$ rad/h	$110\% P_N$
3	Posisi katup isolasi primer	Membuka $86,5^\circ$	87°
4	Tinggi permukaan air kolam reaktor	$h \leq 12,5$ m	12,25 m
5	Laju aliran dalam sistem pendingin primer	$M_N \leq 662,5$ kg/det	800 kg/det
6	Suhu pada keluaran penukar panas	$T \geq 42^\circ\text{C}$	42°C
7	Tegangan pada bar daya darurat	$U \leq 0,8 U_N$	304 V
8	Laju dosis- γ di dalam sistem venting kolam reaktor	$D_\gamma \geq 125$ mR/h	$1,25\text{E}-3$ Gy/h
9	Penutupan sirip sirkulasi alam	$\Delta p \geq 0,60$ bar	0,7 bar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan, uji coba/pengukuran dan tinjauan dapat dijelaskan sebagai berikut:

Uji fungsi terhadap seting harga batas SPR

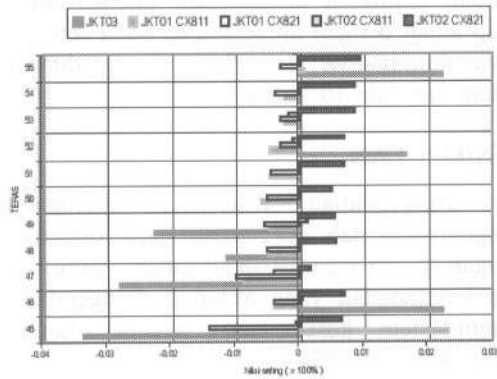
Dari hasil pengukuran seting tegangan di SPR pada Tabel 2, diperoleh variasi pengukuran antara -2,80% s/d +2,89%. Variabel-variabel SPR yang relatif stabil pada batas tertentu, adalah JE-CT dan JE-CP.

Menurut evaluasi mulai teras XLV hingga teras LV, Gambar 3), fluktuasi pada komparator untuk JKT03 mengalami 5 kali rata-rata harga seting lebih dari 2%. Variasi hasil pengukuran seting harga batas tidak boleh melampaui $\pm 5\%$. Parameter variabel SPR yang tercatat pada data operasi, selama reaktor beroperasi menunjukkan kinerja yang baik, yaitu tidak melebihi atau tidak kurang dari yang dipersyaratkan seperti pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Harga Batas Aktual SPR RSG-GAS

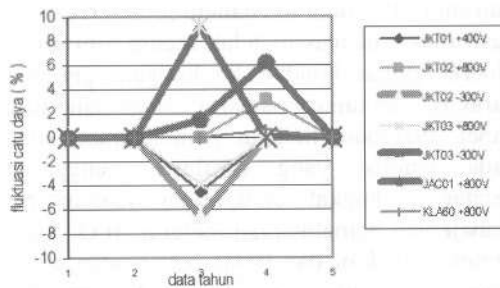
Kanal	Set Inst.	Pengukuran Aktual (V)					Rerata $\pm \sigma_s$ (V)	Variasi ukur aktual terhadap harga batas (%)
		30/1/ 03	11/3 /03	29/5 /03	24/7/ 03	25/9/0 3		
JKT01 CX811,821	1,43 V	1,39	1,40	1,39	1,40	1,40	1,396 \pm 0,0055	-2,80 s/d -2,10
JKT01 CX811,821	9,58 V	9,53	9,52	9,52	9,52	9,52	9,522 \pm 0,0045	-0,63 s/d -0,52
JKT02 CX811,821	5,85 V	5,82	5,80	5,81	5,81	5,81	5,810 \pm 0,0071	-0,86 s/d -0,51
JKT02 CX811,821	9,69 V	9,69	9,70	9,70	9,97	9,71	9,754 \pm 0,1210	0,0 s/d +2,89
JKT02 CX811,821	2,00 V	2,00	2,00	2,00	2,003	2,00	2,000 \pm 0,0013	0,0 s/d +0,15
JKT03 X811,821,831	0,06 V	0,061	0,06	0,06	0,060	0,06	0,060 \pm 0,0004	0,0 s/d +1,67
JAC01 CR811,821,831	0,62 V	0,62	0,62	0,61	0,618	0,62	0,618 \pm 0,0043	-1,61 s/d 0,0
JRE/JRF/JRG 10FX801	3,93 V	3,93	3,93	3,92	3,93	3,92	3,926 \pm 0,0055	-0,25 s/d 0,0
JRE/JRF/JRG 10FX804	6,67 V	6,65	6,64	6,64	6,62	6,65	6,640 \pm 0,0123	-0,75 s/d -0,30
JAC01 CR811,821,831	3,93 V	3,92	3,92	3,93	3,93	3,93	3,926 \pm 0,0055	-0,25 s/d 0,0
JE01 CG811,821,831, 812,822,832	8,50 V	8,50	8,49	8,50	8,50	8,50	8,498 \pm 0,0045	-0,12 s/d 0,0
CG819,829,839, CG818,828,838	8,50 V	8,48	8,47	8,47	8,47	8,46	8,470 \pm 0,0071	-0,47 s/d -0,24
JE01 CT811,821,831	3,66 V	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,660 \pm 0	0,0
JE01 CP811,821,831	5,38v	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,380 \pm 0	0,0
JAA01 CL811,821,831	5,00 V	4,98	4,92	4,97	4,97	4,97	4,962 \pm 0,0239	-1,60 s/d -0,40
KLA60 CR811,821,831	4,35V	4,35	4,34	4,35	4,35	4,35	4,348 \pm 0,0045	-0,23 s/d 0,0
JE01 CF811,821,831	7,01 V	7,00	6,99	7,00	7,00	7,00	6,998 \pm 0,0045	-0,29 s/d -0,14
BNA,BNB,BNC, 01/02/03 CE811/821/831	7,00 V	7,00	6,99	7,00	7,00	7,00	6,998 \pm 0,0045	-0,14 s/d 0,0
JKT03 X811,821,831	0,18 V	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,180 \pm 0	0,0

Data diambil mulai Januari 2003 sampai dengan September 2003, pada daya operasi nominal 15 M



Gambar 3. Seting Harga Batas (Komparator) SPR dalam Setiap Teras Operasi Uji fungsi Catu Daya Detektor SPR

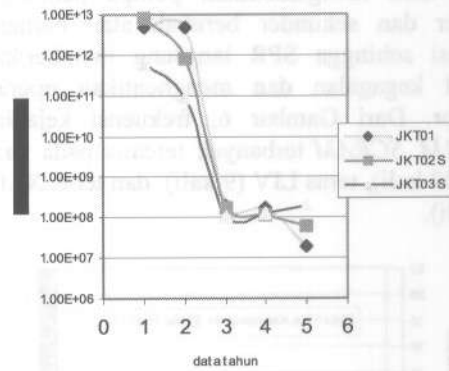
Fluktuasi catu daya dapat menyebabkan sensitivitas detektor tidak optimal, hal ini tidak diharapkan bila fluktuasi catu daya lebih dari 10%. Hasil pengujian terhadap catu daya detektor yang terkait dengan SPR, diperoleh bahwa fluktuasi catu daya 6-9% pernah dialami oleh detektor JKT03 CX831, detektor JKT02 CX821, dan detektor JAC01. Data hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 4.



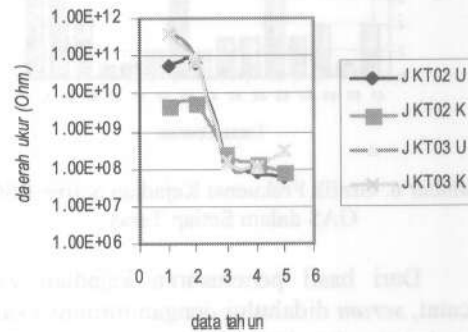
Gambar 4. Kurva Fluktuasi Catu Daya Detektor SPR sebagai Fungsi Waktu Uji Fungsi Keandalan Insulasi Detektor SPR

Hasil pengujian menunjukkan bahwa beberapa tahanan insulasi unit SPR yang dievaluasi telah mengalami penurunan. Harga resistansi terlalu rendah dapat mengakibatkan arus bocor sehingga sinyal pantauan (data kualitatif analog) tidak akurat. Penyebab utama dari turunnya tahanan insulasi dapat diakibatkan oleh adanya pengotoran pada sambungan disebabkan kelembaban media di sekitarnya. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 5, diperoleh penurunan resistansi telah dialami oleh KLA60 dan JAC01.

>1e+9 Ohm

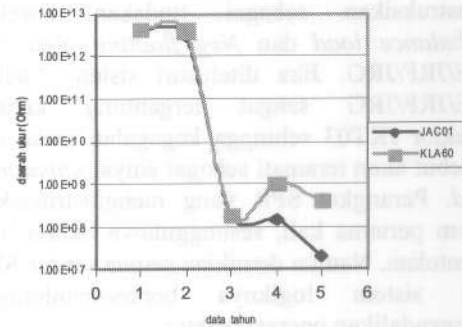


>1e+7 Ohm



data tahun

>1e+12 Ohm

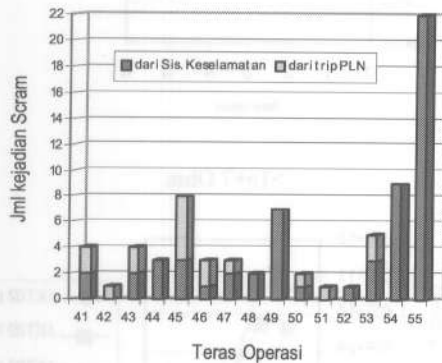


Gambar 5. Kurva Tahanan Insulasi SPR sebagai Fungsi Waktu (Ket.: data tahun sbb; 1=1996, 2=1997, 3=2003, 4=2004, 5=2005)

Evaluasi SPR dari Kejadian SCRAM

Dalam Tabel 4 (Lampiran), Penyebab SCRAM sebagian besar karena adanya trip daya PLN sebagai indikator yang teramati. Analisis terkait SPR adalah sensor JE-CF dan JE-CT, pada saat tegangan PLN berkurang 20% atau

PLN mati mengakibatkan pompa pendingin primer dan sekunder berubah atau berhenti operasi sehingga SPR langsung memberikan sinyal kegagalan dan menghentikan operasi reaktor. Dari Gambar 6, frekuensi kejadian *SCRAM*. *SCRAM* terbanyak tercatat pada teras LV (22 kali), teras LIV (9 kali), dan teras XLIX (7 kali).



Gambar 6. Grafik Frekuensi Kejadian *Scram* RSG-GAS dalam Setiap Teras

Dari hasil penelusuran kejadian yang tercatat, *scram* didahului dengan turunnya salah satu batang kendali sehingga kondisi fluks neutron tidak seimbang (*un-balance load*) atau terlampauinya batas *negatif floating* kemudian terjadi *SCRAM*. Sehingga *SCRAM* diinstruksikan sebagai tindakan korektif *Unbalance load* dan *Neg floating* oleh unit JRE/JRF/JRG. Jika ditelusuri sistem Analog JRE/JRF/JRG sangat tergantung kepada detektor JKT03 sehingga kegagalan pada unit tersebut akan teramati sebagai sinyal *unbalance load*. Perangkat SPR yang menginstruksikan *scram* pertama kali, sesungguhnya belum bisa ditentukan. Namun demikian semua sensor SPR dan sistem logiknya berkesinambungan mengendalikan operasi reaktor.

Tinjauan Aktual Batas Dan Persyaratan Operasi

Batasan keselamatan dan persyaratan pengoperasian RSG-GAS harus senantiasa tidak terlewati atau tidak dilanggar. Manajemen kendali, prosedur, dan pengawasan terkait dari Bidang atau Badan Pengawas sangat menentukan. Dari data pada Tabel 5 teramati bahwa batasan siklus operasi dan daya yang telah dihasilkan reaktor sudah terpenuhi.

Namun demikian kemampuan operasi dijaga tetap aman dengan dioperasikan pada setengah daya nominalnya dan *fluens* yang dimiliki belum melebihi 10^{22} n/cm².

KESIMPULAN

Pengendalian RSG-GAS merupakan pengontrolan dan pengaturan yang dilakukan dengan tujuan menghasilkan kinerja yang baik dan keselamatan yang terjamin. Pengendalian sistem-sistem keselamatan, secara otomatis dikerjakan oleh SPR.

SPR didesain sedemikian sehingga kegagalan paling buruk yang dapat terjadi selama operasi reaktor, mengakibatkan reaktor berada dalam kondisi gagal tetapi aman (*fail-safe*). SPR didesain hanya untuk mengatasi gangguan yang berasal dari dalam reaktor, sedangkan gangguan yang berasal dari luar dikontrol oleh sistem tersendiri di luar SPR.

Unit Sistem Proteksi Reaktor yang kemungkinan dapat memberikan kinerja kurang optimal di antaranya adalah JKT03 terutama CX831 yang terkait dengan sistem logik, JAC01, dan KLA60 dari tahanan insulasinya. Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa sebagian unit-unit SPR yang memantau proses reaksi dan hasil reaksi di reaktor telah mengalami gradasi kinerja akibat kondisi lingkungan, perlakuan karakter, dan umur operasi. Peningkatan kinerja dapat dilakukan melalui pemeliharaan sistem pada kondisi yang idealnya, penggantian dengan perangkat baru, pengendalian pada manajemen pemeliharaan melalui BPO. Sistem Proteksi Reaktor dan Batas persyaratan operasi yang selalu dikaji, terkendali dan mendapat pengawasan Bapeten, dinilai masih optimal.

Tabel 4. Scram Reaktor G.A. Siwabessy dan Penyebabnya

Tanggal	Pukul, WIB	Penyebab Scram	
		Indikator / pesan aktual	Analisis terkait SPR
03-05-2001	09.42	Daya PLN mati	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
27-04-2001	19.02	UBL maks, negatif floating melewati harga batas	Unbalance load terpantau JRE/JRF/JRG (respon sistem logik-respon kedua)
25-05-2001	17.58	Batang kendali pengatur macet	Scram manual
22-06-2001	16.44	Daya PLN trip	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
19-11-2001	05.34	Daya PLN mati	Scram manual
02-02-2002	18.00	Batang kendali pengatur macet	Scram manual
13-04-2002	02.23	UBL maks, negatif floating melewati harga batas	Unbalance load terpantau JRE/JRF/JRG (respon sistem logik-respon kedua)
07-04-2002	14.06	Daya PLN trip	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
31-05-2002	08.10	UBL maks, negatif floating melewati harga batas	Unbalance load terpantau JRE/JRF/JRG (respon sistem logik-respon kedua)
07-06-2002	15.03	UBL maks, negatif floating melewati harga batas	Unbalance load terpantau JRE/JRF/JRG (respon sistem logik-respon kedua)
01-07-2002	13.56	UBL maks, negatif floating melewati harga batas	Unbalance load terpantau JRE/JRF/JRG (respon sistem logik-respon kedua)
20-09-2002	15.07	Katup isolasi ditutup (ada percobaan NCT)	Terpantau oleh JE-CF
06-09-2002	10.17	Panel CWA01 tidak berfungsi	Scram manual
21-11-2002	15.27	Batang kendali jatuh sendiri	Unbalance load terpantau JRE/JRF/JRG (respon sistem logik-respon kedua)
08-11-2002	16.32	Daya PLN trip	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
04-11-2002	02.32	Daya PLN trip	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
19-12-2002	10.42	Daya PLN mati	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
31-01-2003	18.16	Daya PLN trip	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
04-02-2003	13.23	Daya PLN trip	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
25-03-2003	17.37	Daya PLN trip	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
19-05-2003	10.57	Daya PLN trip	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
05-06-2003	17.42	Merreset CQB02 (pompa sekunder)	Scram manual
11-07-2003	15.52	Daya PLN mati	Laju aliran pendingin terpantau JE-CF atau suhu keluaran HE terpantau JE-CT
21-08-2003	18.41	JKT03 CX821 tidak respon	Scram manual

Data reaktor discrum tidak dicantumkan, Sumber: Lembar Kegiatan Operasi / Evaluasi Operasi Reaktor

Tabel 5. Tinjauan Batasan dan Persyaratan Operasi RSG-GAS

No.	Sistem	Klasifikasi Persyaratan	Ketentuan Batasan	Kajian Aktual
1.	Usia batang kendali	Siklus	40 siklus,	Siklus 58 (Okt. 2006)
		Daya terbangkitkan	30.000 MWD	34.621 MWD (April 2006)
2.	Teras reaktor	Fluens	$\leq 10^{22}$ n/cm ²	Fluens 10^{18} n/cm ² (Juli 2005)
		Reaktivitas padam	$\Delta\rho \geq 0,5\%$	> 3%
3.	Sistem pendingin	Kualitas air	≤ 8 μ S/m	Rata-rata 0,5 μ S/cm (kinerja resin)
4.	Sistem pengungkung	Beda tekanan dalam gedung dengan luar gedung	0,5 mbar	Terkendali oleh sistem ventilasi
5.	Sistem ventilasi	Laju kebocoran	< 2000 m ³ /h	- (Terkendali)
		di RKD, ruang pengukuran, di B. Operasi	Harus operasi	Terkendali oleh sistem ventilasi
6.	Sistem daya listrik	Suhu di B. Operasi, B. Eksp, G. Bantu, Pimary cell	Maks suhu ruang	Terkendali oleh sistem ventilasi
		Tiga diesel keselamatan	Siap operasi	Di cek setiap akan operasi (PSO)
7.	Percobaan	Catu daya 24 V DC	Harus operasi	Siap selalu (PSO)
		Material masuk teras	Tidak meledak/korosif, reaktivitas lebih maks 0,5%/sampel	Terkendali

DAFTAR PUSTAKA

1. SAFETY ANALYSIS RAPORT MPR-30 Rev. 7, 1989, PRSG-Batan.
2. SYSTEM DESCRIPTION OF THE REACTOR PROTECTION SYSTEM (RPS), 1986, I&C, O.M. MPR 30, Interatom, Bebsberg.
3. J. SUKMANA, 2003, Pengendalian Operasi RSG-GAS dengan Sistem Proteksi Reaktor, Skripsi, STTN, Yogyakarta.
4. SETYONO, 2003, Management of Maintenance, Training Course, Batan-JAERI.
5. NABABAN N., 1987, Sistem Proteksi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy, Prosiding Seminar Teknologi Daur Bahan Bakar dan Keselamatan Nuklir, Bandung, 2-3 Desember 1987.
6. NUCLEAR POWER PLANT INSTRUMENTATION AND CONTROL A guide Book, 1984, Technical report & series No. 239, IAEA.

TANYA JAWAB
TIDAK ADA

LAMPIRAN

Tabel 3. Hasil Pencatatan Parameter SPR dalam Lembar Data Operasi Selama Reaktor Operasi

Parameter sistem (SPR)	Satuan	Harga operasi	Rata-rata pencatatan dalam 24 jam operasi														\bar{X}
			Tanggal, September 2003							Tanggal, Oktober 2003							
Hal 1: Daya reaktor	MW	> 0, < 30	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	15 ± 0
Suhu masuk teras	°C	< 42	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	37,7 ± 0,4
Red.2	°C	< 42	37	37,3	37,3	37,8	37,3	37,7	38,0	38,0	37,9	38,2	38,0	38,0	37,8	37,5	37,6 ± 0,4
Red.3	°C	< 42	36,9	37,3	37,2	37,6	37,25	37,32	38,00	37,75	38,00	37,90	37,85	37,90	37,80	37,32	37,6 ± 0,4
Laju alir pendingin primer	m ³ /jam	> 2820	3100	3100	3100	3100	3120	3100	3100	3110	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3102 ± 6
Red.2	m ³ /jam	> 2820	3100	3100	3100	3100	3120	3100	3100	3110	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3102 ± 6
Red.3	m ³ /jam	> 2820	3100	3100	3100	3100	3120	3100	3100	3110	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3102 ± 6
Kontrol level air kolam	m	> 12,41	12,47	12,5	12,5	12,5	12,5	12,47	12,47	12,47	12,47	12,47	12,47	12,47	12,47	12,47	12,5 ± 0,1
Red.2	m	> 12,41	12,5	12,5	12,5	12,49	12,5	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,5 ± 0,1
Red.3	m	> 12,41	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,51	12,5 ± 0,1
Kontrol tekanan pendingin primer	bar	< 0,56	0,12	0,113	0,11	0,110	0,10	0,094	0,081	0,069	0,065	0,068	0,064	0,050	0,050	0,048	0,082 ± 0,03
Hal 2: Ventilasi kolam reaktor	Gy/jam	< 1,25E-3	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6	5E-6 ± 0

Data diambil rata-rata selama 24 jam operasi pada daya nominal 15 MW selama satu siklus operasi reaktor.

T: \bar{X} : rata-rata dalam 1 sik