

PEMBELAJARAN DARI KEJADIAN SCRAM PADA KANAL JKT03 MENGUNAKAN FAULT TREE ANALYSIS DI REAKTOR RSG-GAS

LESSON LEARN FROM SCRAM AT JKT03 CHANNEL USING FAULT TREE ANALYSIS IN RSG-GAS REACTOR

Jaja Sukmana¹, Rachmat Triharto²

^{1,2}PRSG-BATAN Kawasan Puspipstek Gd. 30 Serpong, 15310

E-mail: jsukmana@batan.go.id

Diterima: 12 April 2018, diperbaiki : 16 April 2018, disetujui : 19 April 2018

ABSTRAK

PEMBELAJARAN DARI KEJADIAN SCRAM PADA KANAL JKT03 MENGGUNAKAN FAULT TREE ANALYSIS DI REAKTOR RSG-GAS. Kejadian scram merupakan tindakan pencegahan dini terhadap kecelakaan pengoperasian reaktor RSG-GAS. Perangkat pemantau parameter keselamatan pada pengoperasian reaktor memiliki kinerja untuk melakukan fail-safe technics pada operasi start-up range, operasi intermediate range, dan operasi power range. Namun scram yang sering terjadi merupakan kegagalan operasi dan menimbulkan risiko lain. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui penyebab dasar terjadinya scram dan sebagai pembelajaran dengan metode deskriptif analitik melalui wawancara, observasi, dan telaah dokumen yang dipadukan dengan metode analisis pohon kegagalan. Dari hasil deskriptif analitik diperoleh bahwa kejadian scram lebih sering terindikasi oleh pemantau fluks neutron daerah daya kanal JKT03, sebesar 13,6%. Penyebab dasarnya, terdiri dari kegagalan switch bridging on, kegagalan switch take over, dan sinyal karena kegagalan sistem instrumentasi, gangguan handling sampel iradiasi, serta kondisi ketidakrataan fluks neutron yang diproses oleh kanal logik lainnya. Dengan diketahuinya penyebab scram akan memberikan pembelajaran bernilai untuk pemenuhan keselamatan selama umur operasi reaktor RSG-GAS selanjutnya.

Kata kunci: Sistem proteksi reaktor, Scram reaktor, analisis pohon kegagalan, pemantau fluks neutron.

ABSTRACT

LESSON LEARN FROM SCRAM AT JKT03 CHANNEL USING FAULT TREE ANALYSIS IN RSG-GAS REACTOR. Scram event is a precautionary measure against accident operation RSG-GAS reactor. The safety parameters monitoring device on the operation of the reactor has the performance to perform fail-safe technics on start-up range operations, intermediate range operations, and power range operations. However, frequent scram is an operation failure and pose another risk. The purpose of this study to determine the basic causes of scram and as a learning by analytical descriptive method through interviews, observation, and document review combined with the method of fault tree analysis. From analytic descriptive result, it was found that scram event was more frequently indicated by neutron flux monitor of JKT03 channel power area, that is 13.6%. The underlying causes, consisting of bridging switch failures, switch take over failures, and signals due to instrumentation system failures, interference when handling irradiation targets, and neutron flux unevenness conditions processed by other logical channels. Knowing the cause of the scram will provide valuable lesson learn for safety fulfillment over the life of the RSG-GAS reactor operation.

Keywords: Reactor protection system; Scram of reactor; fault tree analysis, neutron flux of detector.

PENDAHULUAN

Pada dasarnya reaktor nuklir dibangun dan dioperasikan dengan keharusan menerapkan tujuan keselamatannya. Fungsi keselamatan utama yang harus dijamin yaitu kemampuan dalam mengendalikan reaktivitas di teras reaktor, kemampuan untuk memindahkan panas dari teras reaktor, dan kemampuan untuk mengungkung serta menahan zat radioaktif yang ditimbulkannya. Untuk mencapai tujuan dan fungsi sistem keselamatan tersebut maka pada tahap desain reaktor nuklir sudah memperhitungkan persyaratan dari sistem keselamatannya yaitu *inherent safety feature*, redundansi dan diversity, *fail-safe technics*, *multiple barriers*, dan antisipasi terhadap pengaruh kejadian luar^[1]. Dalam pemenuhan persyaratan-persyaratan untuk pengoperasian yang aman dan selamat maka prinsip pertahanan berlapis (*depends in depth*) diterapkan baik untuk reaktor daya ataupun reaktor riset. Dengan pemenuhan persyaratan sejak desain hingga operasi diharapkan insiden nuklir yang pernah terjadi, seperti kecelakaan reaktor nuklir di Windscale, Mayak, Chernobyl, Three Mile Island, dan Fukushima^[2] yang memiliki dampak kesehatan, ekonomi, sosial dan psikologis dalam jangka pendek maupun jangka panjang yang berbahaya bagi manusia tidak terulang kembali.

Beberapa kejadian yang terekam dari penelusuran dan evaluasi pengalaman pada operasi reaktor RSG-GAS, diantaranya terjadi kontaminasi ke luar gedung reaktor, terjadi kerusakan dan kebocoran sampel iradiasi Uranium pengkayaan rendah, terjadinya kerusakan bahan bakar, dan terjadinya kenaikan radioaktivitas udara di gedung reaktor, merupakan bentuk penyimpangan atau kejadian *anomaly*^[3] yang tetap harus terkendali.

Sistem Proteksi Reaktor (SPR) merupakan *feature* keselamatan teknis dalam menerapkan seting batasan dan kondisi operasi^[4] untuk mencegah terjadinya kondisi abnormal hingga kecelakaan. Perangkat pemantau parameter keselamatan pada pengoperasian reaktor RSG-GAS memiliki kinerja untuk melakukan *fail-safe technics* oleh SPR berupa *scram* reaktor baik pada daerah operasi *start-up range*, operasi *intermediate range*, dan operasi *power range*, ataupun *feature* keselamatan lainnya^[5]. Instruksi *scram* oleh SPR dipengaruhi oleh kondisi terlampauinya nilai batasan dari fluks neutron, reaktivitas di teras, lepasan radioaktivitas, suhu, aliran, tekanan, dan level air pendingin.

Melalui analisis terhadap pemicu kejadian yang dirangkai dengan metode pohon kegagalan maka penyebab dasar *scram* dapat dideskripsikan dan dijadikan sebagai pengalaman operasi untuk dapat lebih antisipatif. Terutama saat pengoperasian reaktor pada daya tinggi, diharapkan dapat dideskripsikan kondisi yang menjadi penyebabnya. Dengan demikian, maka tujuan khusus yang ingin dicapai dalam penyajian makalah ini, yaitu:

1. Mendeskripsikan perbandingan jumlah kejadian *scram* pada operasi reaktor.
2. Mencari penyebab dasar dari *scram* oleh kanal pemantau fluks neutron daerah daya.
3. Melakukan evaluasi dan pembelajaran terhadap faktor penyebab kejadian *scram*.

TINJAUAN TEORITIS

Operasi normal adalah pengoperasian instalasi nuklir dalam kondisi batas untuk operasi yang selamat. Kejadian operasi terantisipasi adalah proses operasi yang menyimpang dari operasi normal, yang diperkirakan

terjadi paling kurang satu kali selama umur instalasi nuklir, tetapi dari pertimbangan desain tidak menyebabkan kerusakan berarti pada peralatan yang penting untuk keselamatan atau mengarah pada kondisi kecelakaan. Kondisi kecelakaan adalah penyimpangan dari kondisi operasi normal yang melebihi kejadian operasi terantisipasi, yang mencakup kecelakaan dasar desain (*design basic accident*, DBA)^[6] dan kecelakaan yang melampaui dasar desain (*Beyond design basic accident*, BDBA). BDBA telah diperhitungkan pada Laporan Analisis Keselamatan reaktor RSG-GAS^[7].

Menurut IAEA dalam skala kejadian INES (*International Nuclear and Radiological Event Scale*)^[8], suatu peristiwa pada instalasi nuklir dibagi dalam 7 level. Suatu peristiwa yang masuk dalam level 1-3 disebut kategori insiden (*incident*). Sedangkan jika sudah masuk ke level 4-7 disebut kategori kecelakaan (*accident*). Peristiwa terkait nuklir yang tidak membahayakan keselamatan disebut sebagai penyimpangan (*deviation*) dan masuk dalam klasifikasi skala level 0.

RSG-GAS, ditunjukkan pada Tabel 1^[9]

Sistem proteksi reaktor harus didesain mampu menginisiasi tindakan protektif secara otomatis untuk menghentikan kejadian lebih dini dan untuk mempertahankan reaktor tetap dalam kondisi selamat serta mencegah tidak terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan. Jenis tindakan protektif yang dipicu oleh SPR reaktor RSG-GAS adalah saling kunci pengoperasian reaktor; pemadaman tiba-tiba (*scram*); dan pengaktifan *features* keselamatan^[5]. *Scram* reaktor merupakan proses penghentian operasi reaktor secara tiba-tiba, apabila seting parameter batasan dan kondisi operasi (BKO) reaktor terlampaui. Variabel pemantau parameter operasi reaktor pada SPR, membandingkan nilai terukur terhadap seting SPR yang didesain dalam 2 atau 3 unit *redundant*. Kanal pemantau fluks neutron merupakan sistem instrumentasi yang mendeteksi, mengukur, dan mengolah data besaran atau populasi neutron di teras reaktor. Berikut data kanal pemantau dan pemroses fluks neutron di teras reaktor

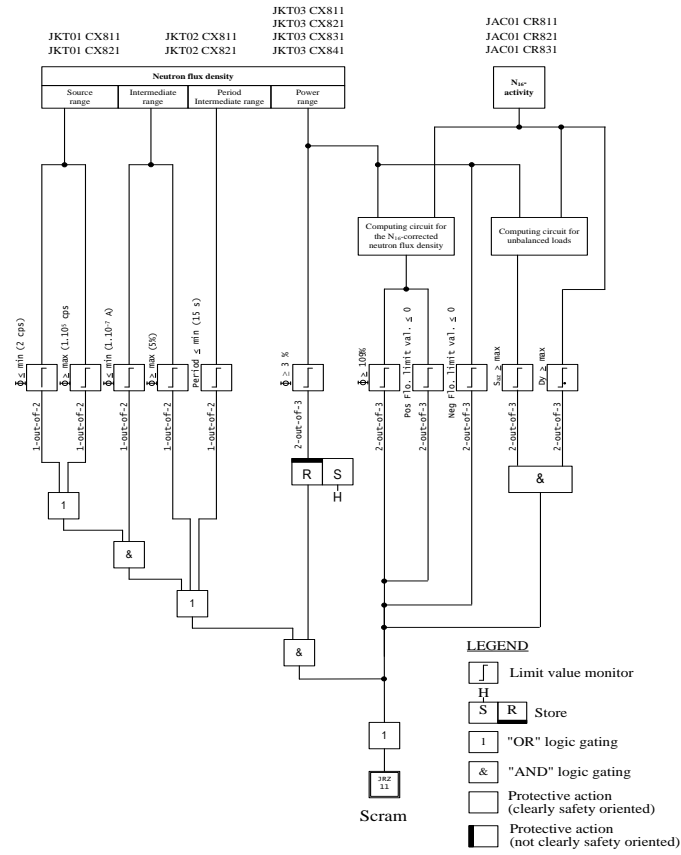
Tabel 1. Variabel pemantau kerapatan fluks neutron di reaktor RSG-GAS

No.	Variabel Proses		Nilai Batasan	Jumlah Unit Logik
	Parameter Kerapatan Fluks-n	Kode Kanal		
1	Rentang awal (batas bawah)	JKT01 CX811/821	$n\text{-flux} \leq 2 \text{ cps}$	1 dari 2
	Rentang awal (batas atas)	JKT01 CX811/821	$n\text{-flux} \geq 10^5 \text{ cps}$	1 dari 2
2	Rentang menengah, respon periode	JKT02 CX811/821	$T_{\text{periode}} \leq 15 \text{ detik}$	1 dari 2
	Rentang menengah, respon daya	JKT02 CX811/821	$\text{Daya} > 5 \times 10^{-4} \text{ A}$	1 dari 2
3	Rentang daya (setelah <i>take over</i>)	JKT03 CX811/821/831, & CX841	$\Phi \geq 3\% P_N$	2 dari 3
4	Rentang daya - <i>unbalanced load</i>	JRE/JRF/JRG10 FX804	$S_{az} \geq 0,16$	2 dari 3
5	Rentang menengah/daya - <i>negative floating</i> ($-\Delta\phi/\Delta t$)	JRE/JRF/JRG10 FX803	$Fl.\text{lim.val.} \approx 0 \text{ neg.},$ $\rho \geq -1,5\%$	2 dari 3
6	Rentang daya - <i>positive floating</i> ($+\Delta\phi/\Delta t$)	JRE/JRF/JRG10 FX802	$Fl.\text{lim.val.} \approx 0 \text{ pos.},$ $\rho \geq +0,5\%$	2 dari 3
7	Rentang daya – daya maks terkoreksi N_{I6}	JRE/JRF/JRG10 FX801 & JRF10 FX805	$\Phi \text{ corr.} \geq 109\%$	2 dari 3
8	Pemantau aktivitas $\gamma\text{-}N_{I6}$ - koreksi daya	JAC01 CR811/821/831	$D\gamma \geq 0,36 \text{ rad/jam}$	2 dari 3

Sumber: Bab XVII, LAK RSG Rev. 10.1 (edit)

Metode identifikasi penyebab suatu kejadian dalam penelitian ini, digunakan *Fault tree analysis* (FTA). FTA merupakan diagram logika yang digunakan untuk mewakili masing-masing penyebab dan dampak dari suatu peristiwa. Diagram ini juga menyatakan

ilustrasi bebas dari rangkaian potensi kegagalan peralatan atau kesalahan manusia yang dapat menimbulkan kerugian. Istilah-istilah dan simbol dalam FTA mengacu pada *Fault Tree Handbook*^[10], misalnya logik OR, logik AND, *Basic & Conditioning EVENT*.



Sumber: Bab VIII, LAK RSG Rev. 10.1 (edit)

Gambar 1. Gerbang logik pemantau fluks neutron-aktivitas N₁₆ SPR reaktor RSG-GAS.

Untuk dapat mendeskripsikan diagram logik suatu kejadian pada operasi daya reaktor RSG-GAS, maka pada Gambar 1 ditunjukkan diagram gerbang logik sistem pemantau fluks neutron SPR yang berfungsi menghentikan operasi apabila terdapat parameter yang melampaui seting nilai batasan atau gangguan lainnya.

METODOLOGI

Penyajian makalah ini menggunakan metode penelitian deskriptif analitik, yaitu menggambarkan kondisi dan mencari penyebab terjadinya *scram* pada kanal JKT03. Pengumpulan data menggunakan sumber primer melalui penjelasan narasumber terkait atau literatur dan sumber sekunder melalui dokumen resmi, laporan, dan rekaman. Dokumen

yang dijadikan sumber data, terutama adalah Laporan Operasi Reaktor mulai tahun 2012 s/d 2017. Data yang diperoleh selanjutnya dapat dideskripsikan kondisi operasi dengan kejadian *scram*nya melalui tabel ataupun grafik, dan melalui metode FTA akan dievaluasi penyebab dasar pemicu *scram* pada pemantau fluks neutron daerah daya JKT03.

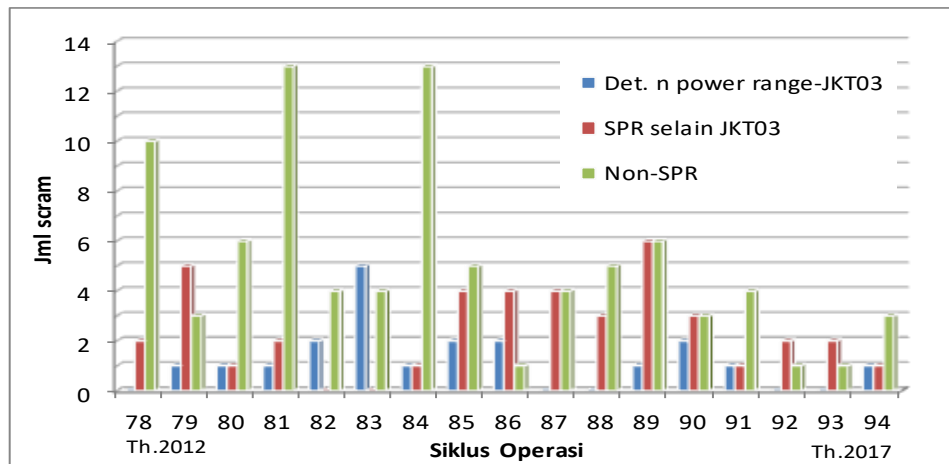
HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian diperoleh melalui data rekaman laporan operasi mulai operasi teras ke-78 s/d 94^[11], kejadian *scram* yang terindikasi pada kanal pemantau fluks neutron *power range* JKT03 dan lainnya dapat ditunjukkan, seperti pada Tabel 2, Gambar 2, dan 3 berikut:

Tabel 2. Jumlah kejadian *scram* di reaktor RSG-GAS pada Operasi ke-78 s/d 94

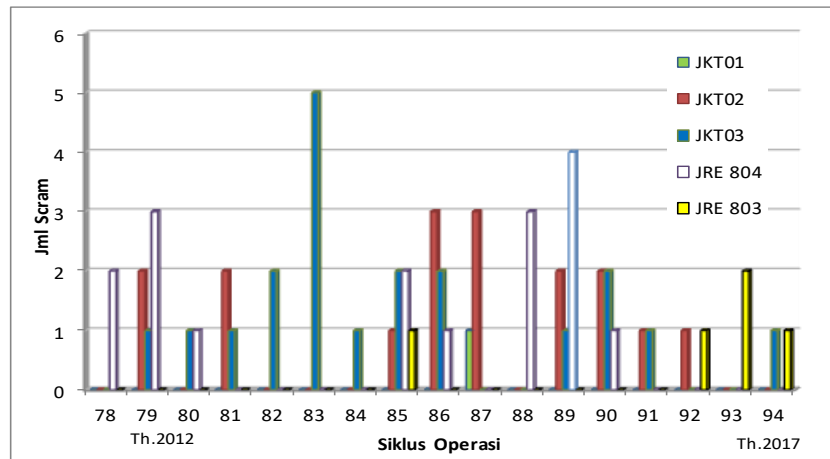
No.	Kanal Pemantau Parameter Batasan & Kondisi Operasi	Jumlah <i>Scram</i>
1.	Kanal fluks n daerah daya (<i>power range</i>)	JKT03 CX 20 kali 13,6%
2.	Kanal SPR lainnya	- 41 kali 27,9%
3.	Kanal selain SPR	- 86 kali 58,5%
	Jumlah	147 kali 100%

Sumber: Hasil Telaah Dokumen Laporan Operasi, PRSG.



Sumber: Hasil Telaah Dokumen Laporan Operasi Siklus ke 78-94

Gambar 2. Jumlah *scram* di reaktor RSG-GAS pada tiap siklus operasi



Sumber: Hasil Telaah Dokumen Laporan Operasi Siklus ke 78-94

Gambar 3. Jumlah kejadian *scram* di reaktor RSG-GAS pada Operasi ke-78 s/d 94, terindikasi oleh det. fluks neutron

Berikut ini, penjelasan kondisi pelaksanaan operasi ketika kejadian *scram* yang terekam pada laporan operasi menurut pantauan operator reaktor, yaitu:

- a) Kejadian *scram* 58,5% diakibatkan kondisi parameter sistem di luar instruksi SPR. Sedangkan kejadian yang terpantau SPR (khusus pada kajian ini di bagi dua), yaitu 13,6% terindikasi dari kanal pemantau fluks neutron *power range* JKT03 dan 27,9% terpantau oleh kanal SPR lainnya (lihat Tabel 2 dan Gambar 2). Dari Gambar 3 terlihat bahwa kejadian *scram* karena kanal pemantau/pengolah fluks neutron secara berurut terindikasi dari kanal *power range* JKT03 (jumlah 20 kali), kanal *unbalanced load* JRE FX804 (jumlah 17 kali), kanal *intermediate range* JKT02 (jumlah 17 kali), kanal *floating negatif* JRE FX803 (jumlah 5 kali), dan kanal *startup range* JKT01 (jumlah 1 kali).
- b) *Scram* pada indikator JKT03; dari 20 kejadian dilaporkan bahwa: terindikasi sebanyak 8 kali pada JKT03 CX811, 6 kali pada JKT03 CX821, 1 kali pada JKT03 CX831, dan 4 kali pada JKT03 CX841, serta 1 kali karena kondisi *bridging off*¹¹⁾. Sedangkan penyebab gangguannya dapat diasumsikan sebagai berikut:
- 5 (lima) kejadian karena kondisi gangguan SIK (sistem instrumentasi dan kendali) dari JKT03 CX811-841 yang dibuktikan dengan adanya perbaikan atau penggantian komponen dan saat itu di teras reaktor sedang melakukan iradiasi FPM dan Topaz secara bersamaan.
 - 4 (empat) kejadian karena kondisi gangguan SIK dari JKT03 CX811-821 yang dibuktikan dengan adanya perbaikan unit dan saat itu di teras reaktor sedang melakukan iradiasi

Topaz dan target lainnya (selain FPM) secara bersamaan.

- 2 (dua) kejadian karena kondisi gangguan SIK dari JKT03 CX831-841 yang dibuktikan dengan adanya perbaikan atau pengecekan dan saat itu di teras reaktor sedang melakukan iradiasi target FPM dan lainnya (selain Topaz) secara bersamaan.
- 6 (enam) kejadian karena kondisi gangguan SIK (seperti osilasi, gangguan HV) dari JKT03 CX811-841 yang dibuktikan dengan adanya perbaikan atau penggantian komponen dan saat itu di teras reaktor sedang melakukan iradiasi tetapi tanpa FPM ataupun Topaz.
- 2 (dua) kejadian karena kondisi gangguan SIK dari JKT03 CX811 dan CX841, reaktor tidak sedang melakukan iradiasi.
- 1 (satu) kejadian terbaca sebagai sinyal *bridging off* karena pada daya rendah seharusnya *switch bridging* pada posisi ON.

Deskripsi pemicu timbulnya *scram* di reaktor, khusus pada operasi daerah daya mengacu pada LAK reaktor RSG-GAS, yaitu:

- a. Pada daerah operasi daya (*power range*), dipantau oleh unit JKT03, yaitu:
1. Operasi pada daya rendah dengan moda konveksi alam, apabila P_N lebih dari 1%.
 2. Operasi masih pada daya rendah P_N kurang dari 1%, apabila *switch bridging off*.
 3. Operasi pada tingkat daya *intermediate* ($\phi \approx 3\%$), apabila *switch take over* dari unit pemantau fluks neutron *intermediate* ke *power range* belum dilakukan.
- b. Pada operasi *power range*, sinyal dari unit JKT03 dan JAC01, diolah JRE/F/G10, yaitu:

1. Kerapatan fluks neutron maks terkoreksi N_{16} terlalu tinggi, maksimal 109%.
 2. Transien reaktivitas positif, kerapatan fluks neutron terkoreksi N_{16} , maks 0,5%.
 3. Transien reaktivitas negatif, kerapatan fluks neutron drop cepat, maks -1,5%.
 4. Sinyal pengukuran beban tak seimbang melebihi nilai batas sebesar 16%.
- Sedangkan dari hasil wawancara (narasumber berinisial RSG-1 s/d RSG-5) terkait penyebab *scram* yang terpantau oleh JKT03, diperoleh penjelasan yang dirangkum pada Tabel 3, berikut ini.

Tabel 3. Penyebab *scram* pada JKT03 dari pernyataan narasumber

No.	Narasumber	Penjelasan Penyebab Scram pada JKT03
1.	RSG-1	Perubahan reaktivitas yang terlalu besar: <ul style="list-style-type: none">- penarikan atau pemasukan batang kendali yang terlalu cepat- masuk/keluarnya material iradiasi (sampel bergerak melebihi batasan 0,5%), misalnya batu Topaz
2.	RSG-2	Kondisi fluks neutron pada suatu posisi lebih dari kondisi normalnya
3.	RSG-3	<ul style="list-style-type: none">- Kondisi fluks neutron di dekat JKT03 CX821 sudah lebih besar- Unbalanced load dari JKT03 yang dekat dengan posisi iradiasi
4.	RSG-4	<ul style="list-style-type: none">- Penyumbatan kanal sehingga terjadi <i>local hot spot</i>- Handling batang kendali di akhir siklus- Pengaruh target iradiasi
5.	RSG-5	<ul style="list-style-type: none">- Hasil pengukuran diproses oleh kanal pengolah data lain- Parameter lain lebih cepat menginstruksikan <i>scram</i>

Data hasil telaah dokumen dan hasil wawancara secara keseluruhan dipadukan urutan penyebab kejadiannya pada Tabel 4 berikut ini

Tabel 4. Kejadian *scram* pada indikator rapat fluks neutron rentang daya JKT03

No.	Indikasi dan Batasan	Penyebab Pertama	Penyebab Kedua
1.	Fluks neutron pada daerah menengah terlalu tinggi.*(1) Batasan: $P_{int} \geq 3\%$	Terjadi transien reaktivitas BK <i>bank</i> pada <i>intermediate</i> .*(1)	-
		<i>Handling</i> detektor daerah menengah ke daerah daya oleh operator.*(2)	Belum dilakukan <i>takeover</i> detektor.*(2)
2.	Fluks neutron pada daerah awal, konveksi alam terlalu tinggi.*(1) Batasan: $P_{nc} \geq 1\%$	Terjadi transien reaktivitas BK <i>bank</i> pada <i>start-up</i> .*(1)	-
		<i>Handling switch bridge</i> terhadap sensor laju alir oleh operator.*(2)	Belum dilakukan <i>bridging On</i> .*(2)
		Tidak ada laju aliran pendingin primer.*(1)	-
3.	Unit pemroses sinyal logik fluks n daerah daya (tersendiri)	<i>floating limit value, unbalanced load, dan terjadinya over power</i> .*(1)	Kegagalan SIK, iradiasi FPM dan atau Topaz bersamaan di CIP & IP.*(1) <i>Handling target</i> , kondisi fluks n di teras tidak rata, <i>handling BK</i> di akhir siklus, penyumbatan, <i>local hot spot</i> .*(2)

Ket: * (1): hasil telaah dokumen LAK & Lap. Operasi
 (2): hasil wawancara

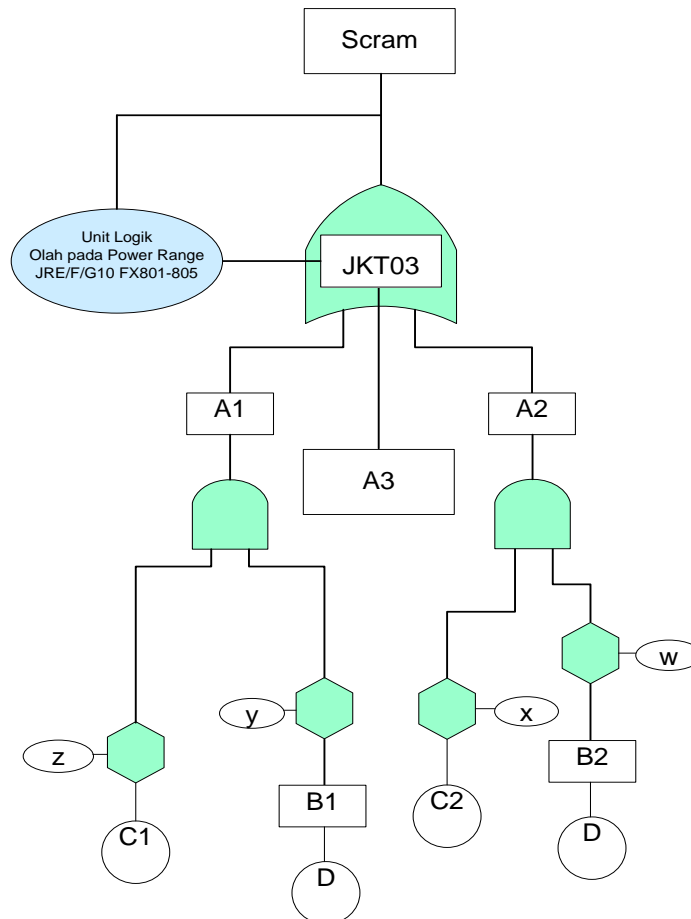


Keterangan Gambar 4:
 Meter pemantau fluks neutron JKT03. Ketika operasi daya 15 MW; Redundan ke-1, 2, & 4 merespon daya 50% tetapi Redundan ke-3 tidak merespon.

Gambar 4. Foto indikator JKT03 dalam satuan persen (%)

Sebagaimana langkah dalam membangun FTA yang dirangkai berdasar paduan berbagai penyebab (lihat Tabel 3 dan Tabel 4), maka

diperoleh diagram FTA sebagai deskripsi dari kejadian *scram* yang terindikasi oleh detektor pemantau fluks neutron pada rentang daya (JKT03), sebagai berikut:



Keterangan:

- A1 = Gangguan kondisi fluks n pada operasi *start-up*
- A2 = Gangguan kondisi fluks n pada operasi *intermediate*
- B1 = Fluks neutron rentang awal, pada konveksi alam terlalu tinggi
- B2 = Fluks neutron rentang menengah terlalu tinggi
- C1 = Tidak ada laju aliran pendingin primer
- C2 = Gangguan saat *handling* detektor menengah ke daya
- D = Terjadi transien ρ BK *bank*
- w = $\Phi_n \geq 3\%$
- x = Belum dilakukan *takeover* detektor
- y = $\Phi_n \geq 1\%$
- z = Belum dilakukan *bridging switch ON*
- A3 = [kegagalan SIK, pengaruh target iradiasi dan *handling*nya, ketidakrataan fluks, *handling* BK, penyumbatan/*local hot spot*]

Gambar 5. Diagram logik FTA penyebab kejadian *scram* pada JKT03

PEMBAHASAN

Kejadian *scram* lebih dominan disebabkan karena kondisi di luar dari pengaruh sistem proteksi reaktor, yaitu 58,5%. Sedangkan sisanya adalah *scram* yang terindikasi dipicu karena kondisi *features* keselamatan atau terlampauinya parameter BKO pada SPR. Kejadian *scram* yang tercatat terjadi karena terindikasi oleh JKT03 lebih banyak dibandingkan yang terindikasi oleh JKT02 ataupun JRE10 FX804, dan lainnya. Indikasi awal setiap kejadian ini sesuai dengan fungsi dari masing-masing unit sensor *features*, namun sebagian masih merupakan asumsi dari petugas pengoperasi reaktor yang dituangkan dalam laporan kejadian operasi reaktor. Sebagaimana misi pelayanan kualitas operasi pada program sistem manajemen: diharapkan kejadian *scram* (*unplanned shutdown reactor*) karena faktor internal boleh terjadi kurang dari 5 kali per tahun. Dari data mulai tahun 2012 s/d 2017 ini, *scram* terjadi pada *features* keselamatan terhitung rata-rata 10 kali/tahun. Walaupun kejadian *scram* sebagai fungsi dari SPR dalam mencegah kecelakaan operasi reaktor, tetapi bahwa kejadian *scram* merupakan gangguan yang harus dievaluasi dan diketahui penyebabnya (Narasumber: RSG-6). Penghentian operasi (*scram*) yang tidak diketahui penyebabnya dianggap sebagai kegagalan operasi.

Terlewatinya fluks maksimum pada operasi daya rendah ($\Phi_n \geq 1\%$, *event A1*; Gambar 5) dengan tidak menghidupkan pendingin primer (moda konveksi alam). Perubahan kondisi daya yang tidak diharapkan pada operasi ini disebabkan karena adanya transien reaktivitas batang kendali *bank*. JKT03 juga selalu memberikan sinyal *scram* saat operasi daya rendah kecuali dilakukan *bridging on*. *Bridging on* berarti

tidak mengizinkan sinyal *scram* dari JKT03 walaupun sistem pendingin belum dioperasikan (*event C1*) dan operasi daya rendah tetap bisa berjalan. Untuk operasi daya normal biasanya tombol *bridging* dalam posisi *Off* sehingga sistem pendingin sudah harus dihidupkan dengan laju alir normal (pendinginan konveksi paksa).

Terlewatinya daya maksimum pada operasi daerah *intermediate* ($\Phi_n \geq 3\%$, *event A2*; Gambar 5). Pada daerah operasi *intermediate*, JKT03 selalu memberikan sinyal *scram* kecuali dilakukan *take over* antara kanal *intermediate range* ke kanal *power range* (*event C2*). Kondisi daya maksimal pada daerah ini disebabkan terjadinya perubahan reaktivitas di teras (*transient*) karena pengaruh perubahan posisi *bank* dari batang kendali atau ketidakseragaman kenaikan BK. Namun demikian karena gerbang logika difungsikan secara AND dengan *switch take over*, maka sinyal *scram* dapat disebabkan tergantung pada kanal *intermediate range* JKT02 baik terlewatinya periode ataupun transien daya.

Terlewatinya kondisi nilai batasan fluks neutron *power range* (*event A3*; Gambar 5), tetapi sinyal *scram* diinisiasi dan diolah terlebih dahulu oleh unit pemroses lainnya. Dari fungsi logik ini, JKT03 dapat dianggap sebagai hanya sensor atau pengukur kerapatan fluks neutron dari keempat posisi di teras reaktor saja. Kondisi dan perbedaan hasil ukur masing-masing serta kemungkinan kerusakan dari SIK-nya kemudian diolah oleh pengolah data logik, yaitu JRE/F/G10 FX801, FX802, FX803, dan FX804.

Penyebab kejadian *scram* yang mengakibatkan gangguan operasi, penurunan kualitas pelayanan, kegiatan riset reaktor^[12] sebagai asumsi dari

indikasi yang tertuang pada laporan operasi secara umum, sebagai berikut:

1. Kegagalan sistem instrumentasi dan kendali (SIK).
2. Pengaruh gangguan dari sampel iradiasi, terutama iradiasi di posisi CIP dan IP, iradiasi bersamaan antara FPM (U-235) dengan sampel Topaz, atau tersendiri.
3. Penanganan saklar *bridging on* saat operasi daya rendah ($P \leq 1\%$) konveksi alam dan penanganan sistem *take over* pada operasi daya menengah ($P \leq 3\%$).

Hal yang perlu mendapat evaluasi, yaitu bahwa:

Pelaksanaan iradiasi harus lebih mengikuti LAK dan *standard operational procedur* (SOP) dan belajar dari pengalaman operasi, diantaranya memperhitungkan reaktivitas kombinasi target, posisi iradiasi, lama iradiasi, jenis dan jumlah sampel, serta wadah sampelnya (*cladding*). Pemeliharaan SIK yang meliputi perawatan rutin, perbaikan, dan penggantian komponen standar harus dilakukan sesuai surveilan/BKO atau spesifikasi teknis yang sesuai. Penanganan operasi daya rendah dengan pendinginan konveksi alam dan penanganan operasi *intermediate* menjelang 3% daya, dengan pengetatan SOP dan pelatihan khusus kepada para petugasnya. Penyebab dasar lainnya adalah terindikasinya kondisi fluks neutron di teras RSG-GAS tidak merata (di suatu titik terdapat lebih tinggi dari lainnya) memerlukan kajian dan validasi selanjutnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Kejadian *scram* yang terindikasi dipicu karena kondisi *features* keselamatan atau terlampauinya

parameter BKO pada SPR berasal dari kanal JKT03 lebih banyak dibandingkan yang terindikasi oleh JKT02 ataupun JRE10 FX804, dan lainnya. Kejadian *scram*, walaupun merupakan tindakan pencegahan dini terhadap kecelakaan namun penyebabnya harus diantisipasi dan dievaluasi agar tidak menghambat dan mengganggu layanan kinerja dan proses operasi reaktor.

Penyebab dari setiap kejadian *scram* (oleh JKT03) pada operasi reaktor RSG-GAS, adalah sebagai berikut:

- Pada daya rendah dengan tidak menghidupkan pendingin primer, selalu memberikan sinyal *scram* kecuali dilakukan *bridging on*.
- Pada daya rendah (kurang dari 3% daya) selalu memberikan sinyal *scram* kecuali dilakukan *take over* dari kanal pemantau *intermediate* ke *power range*.
- Sinyal *scram* karena kegagalan SIK, pengaruh *handling* target ataupun batang kendali, dan terlampauinya parameter BKO di teras reaktor diinisiasi oleh pengolah data logik *power range* untuk *unbalanced load*, negatif dan positif *floating*, dan daya maksimum N_{16} .

Terjadinya kegagalan dari sistem instrumentasi dan kendali, kesalahan *handling* sampel iradiasi, kegagalan pada *handling* batang kendali, dan kondisi fluks neutron di teras tidak merata sebagai penyebab dasar akan memberikan pembelajaran bernilai untuk antisipasi dalam pemenuhan keselamatan selama umur operasi reaktor RSG-GAS selanjutnya.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Bapeten, *Peraturan Kepala No. 1 tahun 2011 tentang ketentuan*
- [2] E. D. Blandford and J. Ahn, "Examining the Nuclear Accident at Fukushima Daiichi," *Elements*, vol. 8, no. 3, pp. 189–194, 2012.
- [3] I. Kuntoro, "Evaluasi kinerja sistem keselamatan reaktor RSG-GAS selama beroperasi 25 tahun," *Bul. Pengelolaan Reakt. Nukl.*, vol. XI, 2014.
- [4] Bapeten, *Peraturan Kepala No. 9 tahun 2013 tentang batasan dan kondisi operasi reaktor nondaya*. Jakarta, 2013.
- [5] J. Sukmana, "Thesis: Evaluasi penyebab scram dari kanal pemantau fluks neutron-sistem proteksi reaktor dalam mengantisipasi kecelakaan pada pengoperasian reaktor nuklir RSG-GAS," Universitas Indonesia, 2016.
- [6] Bapeten, *Perka Bapeten No. 2 tahun 2011 tentang ketentuan keselamatan operasi reaktor nondaya*. Jakarta, 2011.
- [7] PRSG-Batan, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS, Rev. 11," Serpong, 2017.
- [8] IAEA, *The international nuclear and radiological event scale User's Manual*. 2013.
- [9] PRSG-Batan, *Laporan analisis keselamatan (LAK) RSG-GAS, Rev. 10.1*. Serpong, 2011.
- [10] G. E. Priminta, "Metode fault tree analysis," <http://www.galihkapriminta.blogspot.co.id/2012/05/metode-fault-tree-analysis.html>, 2012. .
- [11] PRSG-Batan, "Laporan operasi reaktor RSG-GAS. Rekaman parameter operasi reaktor per siklus operasi, tahun 2012-2017.," Serpong, 2017.
- [12] S. Wiranto, "Gangguan operasi RSG-GAS pada siklus operasi 61-75," *Semin. Nas. SDM Teknol. Nukl.*, vol. VII, 2011.
-

