

## EVALUASI KINERJA KANAL PENGUKURAN DAERAH *START-UP* SECARA OTOMATIS DI REAKTOR RSG-GAS

Sriawan  
PRSG-BATAN  
sriawan@batan.go.id

### ABSTRAK

**EVALUASI KINERJA KANAL PENGUKURAN DAERAH *START-UP* SECARA OTOMATIS DI REAKTOR RSG-GAS.** Pengoperasian reaktor RSG-GAS dilakukan dengan manipulasi batang kendali secara perlahan-lahan. Pada kondisi ini di teras reaktor terjadi reaksi fisi yang dikendalikan oleh batang kendali. Perubahan fluks neutron di teras reaktor dideteksi/diukur dengan menggunakan kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01). Apabila JKT01 dioperasikan secara otomatis, maka daerah ukurnya dibatasi, dan JKT01 akan bergeser keluar secara otomatis menuju posisi yang telah ditentukan sehingga nilai pengukuran menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Kemudian secara otomatis mematikan fungsi pengukuran karena pengukuran selanjutnya dilakukan oleh kanal pengukuran jangkauan menengah (JKT02). Apabila JKT01 mencapai nilai batas maksimum ( $1 \times 10^5$  cps) tetapi JKT02 belum respon melampaui nilai batas minimum ( $1 \times 10^{-7}$  A) maka terjadi *scram*.<sup>2)</sup> Guna mengantisipasi kejadian *scram*, sistem pengoperasian kanal pengukuran JKT01 dioperasikan secara manual, sehingga mekanisme sistem otomatis perlu di re-set, sehingga mampu menyesuaikan karakteristik operasi reaktor.

**Kata kunci:** reaktor, kanal pengukuran, nilai batas.

### ABSTRACT

**PERFORMANCE EVALUATION OF MEASUREMENT CHANNEL *START-UP* AUTOMATICALLY RSG-GAS IN REACTOR.** RSG-GAS reactor operation is done by manipulation of the control rods slowly. In this condition occurs in the reactor core fission reaction is controlled by control rods. Changes in the neutron flux in the reactor core is detected/measured using the measurement channel *start-up* (JKT01). If JKT01 operated automatically, then the measuring area is limited, and JKT01 will be automatically shifted out towards a predetermined position so that the measurement value becomes smaller than before. Then automatically shut off function measurements because the measurement is then performed by channels, intermediate-range measurements (JKT02). If JKT01 reaches the maximum limit value ( $1 \times 10^5$  cps) but JKT02 not exceed the value of the minimum response ( $1 \times 10^{-7}$  A) then *scram*.<sup>2)</sup> To anticipate events *scram*, the operation of the canal system of measurement JKT01 operated manually, so mechanisms need to be in re-automated system sets, so as to adjust the operating characteristics of the reactor.

**Keywords:** reactor, channel measurement, the limit value.

### PENDAHULUAN

Pengoperasian reaktor RSG-GAS dilakukan dengan manipulasi batang kendali secara perlahan-lahan. Reaksi fisi yang terjadi akibat perubahan posisi penaikan batang kendali diukur dengan suatu sistem yang disebut kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01). Kanal tersebut melakukan pengukuran fluks neutron hanya di daerah *start-up*, selanjutnya pengukuran fluks neutron dilakukan oleh kanal pengukuran jangkauan menengah (JKT02) dan kanal pengukuran jangkauan daya (JKT03). Di samping itu masih terdapat kanal pengukuran radiasi lainnya yang menjadi bagian dari sistem proteksi reaktor.

Kanal pengukuran daerah *start-up* dapat dioperasikan secara manual dan otomatis. Apabila kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01) dikondisikan operasi otomatis, maka daerah ukurnya dibatasi dengan nilai tertentu, dalam hal ini kanal tersebut akan bergeser keluar menuju posisi yang

telah ditentukan. Posisi yang telah ditentukan adalah bergeser dari posisi 1 ke posisi 2, dan posisi 3 (posisi paling atas), nilai pengukuran menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Demikian seterusnya terjadi pergeseran posisi kanal pengukuran (JKT01) hingga mencapai posisi teratas dan secara otomatis dapat mematikan fungsi pengukuran daya rendah karena pengukuran selanjutnya dilakukan oleh kanal pengukuran daya menengah (JKT02). Oleh karena itu yang sangat penting diperhatikan selama pengendalian adalah apabila kanal pengukuran (JKT01) mendekati nilai batas maksimum ( $1 \times 10^5$  cps) tetapi kanal pengukuran (JKT02) belum merespon melampaui batas minimum ( $1 \times 10^{-7}$  A) maka operator harus melakukan tindakan agar tidak terjadi *scram*. Hal ini dilakukan dengan cara mengatur *switch* dari operasi otomatis ke operasi manual dan menarik posisi kanal pengukuran (JKT01) secara manual sehingga kinerjanya terbebas

dari nilai batas *scram* dan operasi reaktor berlangsung dengan selamat dan aman.

## DASAR TEORI

Reaktor RSG-GAS merupakan tempat berlangsungnya reaksi fisi nuklir yang menghasilkan interaksi neutron dengan U-235, proses fisi diawali dari gerakan neutron termal menumbuk inti U-235 yang menyebabkan inti atom menjadi tidak stabil, kemudian membelah menjadi unsur-unsur yang lebih kecil sambil melepaskan tenaga dalam bentuk panas dan membebaskan 2-3 neutron baru. Neutron baru mengalami proses moderasi di dalam moderator menjadi neutron termal. Neutron tersebut berdifusi dalam medium bahan bakar sebelum mengalami kemungkinan bereaksi dengan inti U-235 lainnya.

Pengukuran kerapatan fluks neutron memantau teras reaktor saat beroperasi pada tingkat daya rendah (*start-up*), tingkat daya menengah, tingkat daya tinggi, juga pada saat penurunan daya, dan pada kondisi teras reaktor subkritis. Sinyal-sinyal yang dikirim oleh kanal pengukuran adalah proporsional dengan tingkat daya reaktor, baik pada jangkauan daya rendah (*start-up*), jangkauan daya menengah, maupun jangkauan daya tinggi. Selain itu sinyal tersebut berkaitan dengan laju perubahan daya reaktor, disebut perioda reaktor untuk jangkauan daya rendah (*start-up*) dan jangkauan daya menengah, dan menampilkan pula kesetimbangan beban pada jangkauan daya tinggi. Sinyal-sinyal kanal pengukuran fluks neutron diperlukan sebagai besaran input oleh sistem proteksi reaktor. Jangkauan pengukuran yang dapat dicapai oleh kanal pengukuran fluks neutron tersebut mendekati 10 dekade, dimana setiap kanal pengukuran memiliki daerah tindhian 2 dekade, antara: jangkauan daya rendah (*start-up*), jangkauan daya menengah, dan jangkauan daya tinggi.

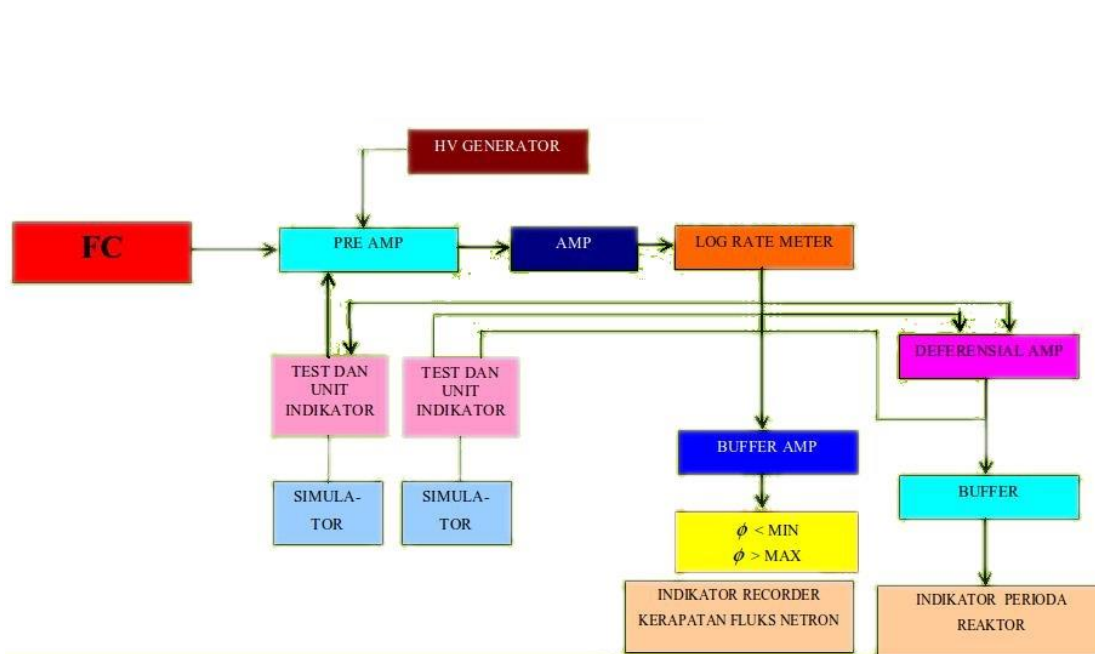
Ketiga daerah pengukuran (daerah daya *start-up*, daerah daya menengah, dan daerah daya tinggi) dirancang secara redundansi untuk tujuan keselamatan. Kanal pengukuran ini terdiri dari 2 jalur pengukuran jangkauan daya *start-up* dan jangkauan daya menengah yang terletak secara terpisah, dan empat jalur pengukuran jangkauan daya tinggi. Detektor dari seluruh kanal pengukuran dipasang di dalam tabung/pipa Aluminium menuju posisi teras reaktor. Tabung Aluminium untuk sistem jangkauan pengukuran daya menengah dan jangkauan daya tinggi terbentang dari kotak terminal di tepi kolam reaktor ke posisi pengukuran di sisi luar blok reflektor Beryllium dan untuk kanal jangkauan

pengukuran daya *start-up* terbentang sampai ke posisi pengukuran di atas elemen Beryllium. Detektor dan kabelnya (hingga ke kotak terminal) dapat diganti pada saat reaktor dalam pemeliharaan/perawatan. Detektor jangkauan *start-up* dapat digerakkan otomatis/manual ke arah aksial dengan menggunakan sistem penggerak. Pada daya reaktor >3% kedua detektor jangkauan daya (*start-up*) ditarik ke daerah paparan radiasi neutron thermal rendah secara otomatis. Pada kejadian daya reaktor <3%, kedua detektor secara otomatis diturunkan ke posisi pengukuran. Seluruh kanal pengukuran dari ketiga jangkauan daya dipadukan di dalam kabinet elektronik secara terpisah dengan redundansinya. Kanal pengukuran tersebut dipasang dalam kabinet CNE01, CNF01, dan CNG01 yang ditempatkan dalam ruang Sistem Proteksi Reaktor (SPR).

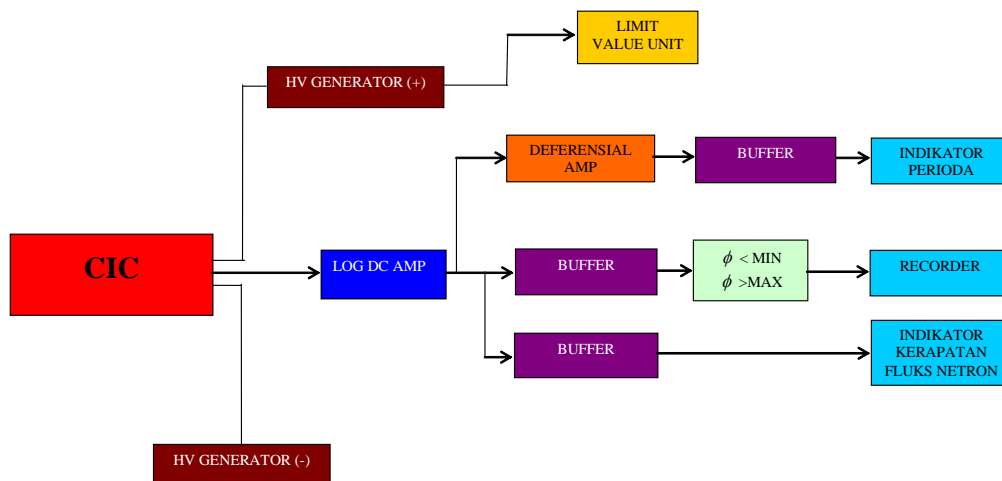
Kanal jangkauan daya *start-up* terdiri dari 2 kanal pengukuran redundansi: redundansi 1 (JKT01 CX811), dan redundansi 2 (JKT01 CX821). Kanal pengukuran tersebut meliputi hampir 6 s/d 7 dekade daya reaktor. Sebagai sensor digunakan detektor pencacah fisi (*fission counter*). Sensitivitasnya terhadap neutron thermal mendekati  $7.10^{-2}$  cps/nv. Diagram kanal jangkauan *start-up* diperlihatkan pada Gambar 1.

Kanal pengukuran pencacah fisi dirancang sebagai berikut: Sinyal (pulsa) dikirim dari detektor jangkauan daya *start-up* ke penguat awal (*pre-amplifier*) yang terpasang dalam kotak terminal di tepi kolam reaktor. *Pre-amplifier* memperkuat pulsa detektor pencacah fisi dan dikirim secara berurutan ke kabinet melalui kanal pengukuran rapat fluks neutron, sehingga diperoleh amplitudo yang cukup tinggi dibanding dengan derau yang mengikuti. Harga rata-rata kecepatan perubahan daya reaktor (perioda) diperoleh dari adanya sambungan serial antara penguat diferensial dan penampil laju logaritmis. Nilai pengukuran perioda juga dikirim ke penampil di Ruang Kendali Utama (RKU) melalui penguat penyangga.

Dua kanal logaritmik redundansi disediakan untuk pengukuran rapat fluks neutron jangkauan menengah, terdiri dari redundansi 1 (JKT01 CX811), dan redundansi 2 (JKT01 CX821). Kanal tersebut mencakup pengukuran hampir 7 dekade daya reaktor. Sebagai sensor digunakan detektor gamma-terkompensasi dan detektor kamar terionisasi berlapis Boron. Sensitivitas fluks neutron thermalnya mendekati  $1.10^{-15}$  A/n.v. Setiap kanal pengukuran dirancang sebagai berikut (lihat Gambar 2).



Gambar 1: Kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01).



Gambar 2: Kanal pengukuran jangkauan menengah (JKT02).

Sinyal DC (sinyal searah) dikirim dari detektor jangkauan daya menengah ke kabinet elektronik untuk jangkauan fluks neutron seperti halnya yang terjadi pada kanal jangkauan daya *start-up*, akan tetapi tidak diperlukan *pre-amplifier*. Di dalam kabinet elektronik untuk jangkauan kecepatan fluks neutron, sinyal detektor diperkuat dengan menggunakan penguat DC logaritmik, kemudian dikirim melalui penguat penyangga paralel ke SPR untuk pengolahan sinyal lanjut dan untuk tujuan penampilan dan perekaman (*recording*) di RKU. Penguat diferensial disambungkan secara serial dengan penguat DC logaritmik membentuk sinyal yang proporsional dengan konstanta waktu reaktor (*periode*). Sinyal tersebut merupakan masukan untuk SPR, selain itu harga pengukuran ini ditampilkan dan direkam di RKU.

Rapat fluks neutron jangkauan daya tinggi diukur dengan menggunakan kanal linier. Tiga

kanal yang lain bekerja satu dengan lainnya beredundansi adalah: JKT03 CX811 (redundan 1), JKT03 CX821 (redundan 2), JKT03 CX831 (redundan 3), dan kanal ke 4 (JKT03 CX841) adalah tambahan untuk penentuan beban tidak seimbang. Setiap kanal mencakup pengukuran dua dekade tertinggi dari pada jangkauan pengukuran daya reaktor. Detektor yang digunakan adalah kamar ionisasi terkompensasi berlapis Boron diisi dengan gas Nitrogen. Kinerja pengukuran detektor mencakupi dimensi ketinggian teras (dengan sensitivitas neutron thermal mendekati  $5.10^{-14}$  A/n.v).

Setiap kanal pengukuran dirancang sebagai berikut: sinyal DC dari detektor jangkauan daya ditransmisi ke kabinet elektronik di ruang SPR. Sinyal tersebut diperkuat oleh penguat linier dan dikonversikan ke dalam sinyal tegangan 0 - 10 V.

Sinyal tersebut kemudian dikirim melalui penguat penyangga (keluaran 0 - 20 mA) ke unit pembatas nilai SPR untuk membangkitkan tindakan pengamanan dan ke RKU untuk tampilan dan perekaman. Seperti halnya kanal jangkauan *start-up* dan jangkauan menengah, pada jangkauan daya disediakan sistem pemantau penyedia nilai tegangan tinggi. Adanya penyimpangan nilai tegangan tinggi dari nilai referensinya akan ditampilkan di RKU.

### TATA KERJA

Kegiatan ini dimulai dari studi literatur tentang deskripsi sistem pengukuran daerah *start-up* reaktor RSG-GAS mulai dasar teori, tujuan, prinsip kerja, dan kegunaannya. Setelah semua persyaratan operasi reaktor terpenuhi, kemudian dilakukan *start-up* reaktor dan dilakukan identifikasi data pengukuran yang direpson sistem pengukuran daerah *start-up* (JKT01) dan kanal pengukuran jangkauan menengah (JKT02). Dilakukan penentuan pilihan apakah posisi kanal pengukuran daerah *start-up* tetap pada posisi semula atau perlu dilakukan penggeseran ke atas baik secara manual ataupun secara otomatis. Penggeseran ke atas dilakukan secara manual apabila respon detektor 1 (JKT01) melewati nilai  $3 \times 10^4$  cps dan respon detektor 1 atau 2 (JKT02) masih lebih kecil dari pada nilai minimum ( $1 \times 10^{-7}$

A) tetapi kanal pengukuran daerah *start-up* tidak bergeser secara otomatis. Demikian seterusnya berlangsung berulang-ulang sehingga kanal pengukuran daerah *start-up* naik dari posisi 1 (225 mm) ke posisi 2 (793 mm) hingga sampai ke posisi paling atas (1748 mm) untuk detektor (JKT01) redundan 1, dan untuk detektor (JKT01) redundan 2 naik dari posisi 261 mm ke posisi 2 (758 mm) dan hingga ke posisi paling atas (1750 mm). Setelah kedua kanal pengukuran daerah *start-up* mencapai posisi teratas dan apabila dalam kondisi otomatis, maka harus diyakinkan bahwa kanal pengukuran detektor 1 (JKT01) berhenti melakukan pengukuran (*switch off*) sehingga pengukuran fluks neutron selanjutnya dilakukan oleh kanal pengukuran jangkauan menengah (JKT02), dan akhirnya pengukuran fluks neutron sampai pada kanal jangkauan daya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengumpulan data respon kanal pengukuran daerah *start-up* pada pengoperasian otomatis detektor jangkauan *start-up* (JKT01) pada uji coba tanggal 23 April 2014 diperlihatkan pada Tabel 1.<sup>3)</sup> Sedangkan meter kanal pengukuran daerah *start-up* diperlihatkan pada Gambar 3.

**Tabel 1.** Data respon kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01) dan kanal jangkauan menengah (JKT02) pada tgl 23 April 2014.

No.	JKT01				JKT02		Keterangan
	Red 1		Red 2		Red 1 (A)	Red 2 (A)	
	mm	Cps	mm	cps			
1.	225	$4 \times 10^2$	261	$2,5 \times 10^3$	$< 1 \times 10^{-7}$	$< 1 \times 10^{-7}$	Posisi 1
2.	793	$3 \times 10^4$	758	$3 \times 10^4$	$< 1 \times 10^{-7}$	$< 1 \times 10^{-7}$	Posisi 2
3.	1748	$> 3 \times 10^4$	1750	$> 3 \times 10^4$	$> 1 \times 10^{-7}$	$> 1 \times 10^{-7}$	Posisi (off)



**Gambar 3.** Meter kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01).

Selama uji fungsi kanal pengukuran jangkauan *start-up* yang dilakukan pada tgl 23 April 2014 diketahui bahwa respon otomatis kanal pengukuran *start-up* (JKT01) redundansi 1 tidak sama dengan respon kanal pengukuran redundansi 2, yaitu: kanal pengukuran daerah *start-up* redundansi 2 responnya lebih besar dari respon redundansi 1 sehingga terjadinya pergeseran posisi kanal pengukur secara otomatis redundansi 2 lebih dahulu dari pada redundansi 1, ini terjadi oleh karena posisi kanal JKT01 redundansi 2 dari letaknya memang lebih dekat ke elemen

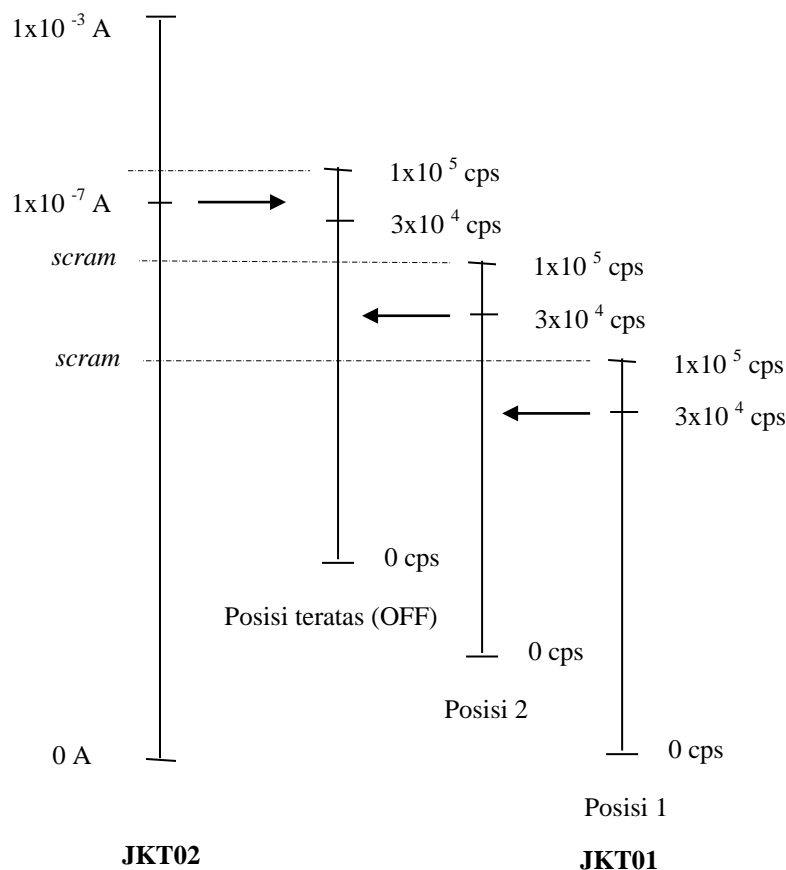
bakar di teras jika dibandingkan dengan posisi kanal redundansi 1. Pergeseran secara otomatis terjadi ketika respon redundansi 2 melampaui nilai  $3 \times 10^4$  cps. Demikian juga akan terjadi pergeseran JKT01 redundansi 1 apabila respon redundansi 1 melampaui nilai  $3 \times 10^4$  cps. Perbedaan nilai cacah redundansi 1 dengan redundansi 2 bisa terjadi cukup besar karena perpindahan posisi tidak secara bersamaan, namun demikian hal ini tidak mengakibatkan *scram* walaupun sistem otomatis dijalankan. Meter kanal pengukuran jangkauan menengah (JKT02) diperlihatkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Meter kanal pengukuran jangkauan menengah (JKT02).

*Scram* akan terjadi apabila respon pengukuran daerah *start-up* (JKT01) redundansi 2 melampaui nilai ( $1 \times 10^5$  cps) tetapi kanal pengukuran jangkauan menengah (JKT02) redundansi 2 belum melampaui batas minimum ( $1 \times 10^{-7}$  A), oleh karena itu bila terjadi kondisi seperti ini pengoperasian kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01) harus dikondisikan secara manual ditarik keluar ke posisi yang aman yaitu mencapai respon kurang dari  $3 \times 10^4$  cps. Selama reaktor masih memberikan reaktivitas positif maka nilai pengukuran akan bertambah naik terus menerus, oleh karena itu penarikan keluar kanal pengukuran daerah *start-up* baik secara otomatis maupun secara manual terus dilakukan. Penarikan keluar kanal pengukuran daerah *start-up* pada kondisi otomatis terjadi sebanyak 2 tahapan, yaitu: tahapan 1 dari posisi terbawah (posisi 1) ke

posisi 2, dan selanjutnya dari posisi 2 ke posisi teratas, dan selanjutnya pada posisi teratas kanal *start-up* akan *switch off* (tidak melakukan pengukuran lagi), karena pengukuran selanjutnya dilakukan oleh kanal pengukur jangkauan menengah (JKT02). Penarikan kanal pengukuran daerah *start-up* diperlihatkan pada Gambar 5. Kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01) redundansi 1 melakukan pengukuran seperti halnya pada kanal redundansi 2. Pada pengukuran kanal redundansi 1 responnya lebih kecil dari pada respon kanal redundansi 2 sehingga bergesernya kanal pengukuran tersebut secara bergantian dan terjadi kemungkinan bahwa redundansi 2 telah bergeser tetapi redundansi 1 tidak/belum bergeser. Hal ini terjadi karena letak kanal pengukurnya berbeda tempat dan tingkat fluks neutronnya.



**Gambar 5.** Penarikan kanal pengukuran daerah *start-up*.

Identifikasi selalu dilakukan dengan cara memperhatikan apakah respon kanal *start-up* masih belum melampaui atau sudah mencapai kondisi mendekati nilai  $3 \times 10^4$  cps. Pada saat respon JKT01 mencapai nilai  $3 \times 10^4$  cps, maka apabila *start-up* dalam kondisi otomatis akan bergeser ke atas dan nilai pengukuran menjadi mengecil, tetapi bila kanal *start-up* dalam kondisi manual maka responnya naik terus dan apabila respon kanal jangkauan menengah masih  $< 1 \times 10^{-7}$  A akan terjadi *scram* pada penunjukan JKT01  $1 \times 10^5$  cps. Pengoperasian reaktor pada kondisi *start-up* sangat penting diperhatikan bahwa moda pengoperasian kanal pengukuran dipilih kondisi otomatis atau kondisi manual. Ketetapan moda operasi harus diikuti dengan tindakan pengoperasian kanal pengukuran tersebut dengan baik dan benar agar kanal pengukuran mampu bekerja dengan baik dan benar sehingga reaktor dapat beroperasi tanpa terjadi *scram*.

## KESIMPULAN

Salah satu kunci sukses pengoperasian reaktor adalah memahami cara kerja kanal pengukuran daerah *start-up* (JKT01). Detektor kanal pengukuran tersebut (JKT01) dapat dioperasikan baik pada moda otomatis maupun manual. Moda otomatis mengandung resiko kesalahan kecil, sedangkan moda manual operator harus memahami dengan baik dan benar cara kerja dari pengoperasian kanal daya tersebut sehingga reaktor dapat dioperasikan tanpa terjadi *scram*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. IMAN KUNTORO, "Keselamatan Reaktor" Diktat Pelatihan Inspeksi Keselamatan Teknis, Pusdiklat-BATAN. Jakarta Th.2002.
2. ANONIM, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS" Revisi 10. 1, Jakarta Th 2010.
3. ANONIM, "Buku Induk Operasi Reaktor RSG-GAS No. 305". Jakarta Th. 2014.