
EVALUASI KINERJA SISTEM PROTEKSI REAKTOR (SPR) TERHADAP KESELAMATAN OPERASI RSG-GAS

J. Sukmana, Jonnie A. Korua, Cahyana
Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset - BATAN

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA SISTEM PROTEKSI REAKTOR (SPR) TERHADAP KESELAMATAN OPERASI RSG-GAS. Telah dilakukan evaluasi kinerja SPR ditinjau dari keselamatan reaktor dalam menunjang operasi sesuai tujuannya. Tindakan keselamatan yang merupakan ragam keselamatan teknis diperintahkan dari SPR, yaitu berupa *scram* reaktor, isolasi gedung, isolasi sistem primer, isolasi sistem kolam reaktor, dan *start-up* penyedia listrik darurat. Sistem proteksi reaktor merupakan sistem instrumentasi yang terintegrasi dari berbagai karakter dan fungsi berbeda namun untuk tujuan keselamatan reaktor. Seiring pemanfaatan RSG-GAS, SPR telah menempuh periode dan frekuensi pengoperasian hingga 19 tahun. Sistem ini juga dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, getaran, energi listrik, dan karakter media yang dipantaunya. Kinerja SPR dapat ditinjau dari kesesuaian hasil-hasil pengujian dengan hasil komisioning dan tinjauan terhadap penyebab gangguan operasi. Kajian menyeluruh dilakukan berdasar pada pemeliharaan, pengujian berkala, dan indikasi *scram* reaktor. Adanya sinyal *scram* menunjukkan penyelamatan teknis dari SPR masih berfungsi secara aktif. *Un-balance load* dan *negatif 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 sistem catu daya dan kanal keluaran beberapa transmiter masih optimal, sedangkan *resistansi* insulasi beberapa unit SPR telah mengalami penurunan dari standar pada harga 10^{12} Ohm menjadi 10^8 Ohm. Hasil evaluasi secara berurutan-sistematis menunjukkan bahwa kinerja SPR masih baik tetapi umur, pemeliharaan, dan ketersediaan komponen harus mendapat prioritas kajian keselamatan lebih lanjut.

ABSTRACT

EVALUATION PERFORMANCE OF REACTOR PROTECTION SYSTEM (RPS) TO OPERATION SAFETY OF RSG-GAS. Have to evaluated performance of RPS from safety of reactor in supporting operation according to its destination. Safety action representing engineered safety future commanded from RPS, that is in the reactor *scram*, isolation building, isolation primary system, isolation reactor pool system, start-up of emergency power supply. Reactor Protection System represent integrated instrumentation system from various function and character differ but for the purpose of reactor safety. Along exploiting of RSG-GAS, RPS have gone through operation frequency and period till 19 year. This system also influenced by temperature, humidity, vibration, electric energy, and its detected media character. Performance of RPS can be evaluated from according to examination pickings with result of komisioning and evaluation to cause trouble of operation. Analysis totally base on maintenance, periodic examination, and indication of reactor *scram*. Existence of *scram* to safety of future function of RPS still is optimal. *Un-balance Load* and *limit floating N-16* which often cause *scram* resulted by the existence of failure at neutron flux detector (Unit of JKT03) what incircuit to part of other analogue (JRE/JRF/JRG). Result of examination at output canal and system power supply some transmitter still is optimal, while insulation of *resistansi* some unit of RPS have experienced of degradation of standard at value 10^{12} Ohm become 10^8 Ohm. Result of evaluation with sistematic-sequential indicate that performance of RPS still goodness but age, maintenance, and availability of component have to get furthermore safety analysis priority.

PENDAHULUAN

Tindakan keselamatan yang merupakan ragam keselamatan teknis diperintahkan dari sistem proteksi reaktor, yaitu berupa *scram* reaktor, isolasi gedung, isolasi sistem primer, isolasi sistem kolam reaktor, dan *start-up* penyedia listrik darurat. Dengan demikian maka sistem keselamatan reaktor adalah fasilitas yang sangat penting dan harus selalu berfungsi dengan baik selama reaktor beroperasi.

Untuk dapat menjamin terlaksananya operasi reaktor dengan selamat maka pengujian parameter sistem proteksi reaktor menjadi bagian dari prosedur operasi yang harus dilaksanakan terlebih dahulu. Parameter-parameter pengukur harga batas, instalasi sistem instrumentasi keselamatan, dan pemasok tegangan ke sistem proteksi dalam persiapan sarana operasi harus benar-benar mendapat perhatian dan pengendalian yang memadai.

Seiring pemanfaatan RSG-GAS, sistem inipun telah menempuh periode, dan frekuensi pengoperasian yang sama. Hingga tahun 2005 usia sistem ini adalah > 19 tahun. Sistem ini juga dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, getaran, energi listrik, dan karakter media yang dipantaunya. Dengan demikian tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah mengkaji dan mengevaluasi kinerja sistem proteksi reaktor terhadap jaminan beroperasinya RSG-GAS yang selamat.

Ruang lingkup kajian dan evaluasi mengacu pada manual dan standar keselamatan yang terkait dengan sistem pengendalian keselamatan operasi, pedoman perawatan dan perbaikan serta riwayat gangguan terhadap keselamatan operasi reaktor.

TEORI

Sistem proteksi reaktor (SPR) (dari *Reactor Protection System, RPS*) adalah serangkaian instrumentasi/sistem teknis yang memantau dan memproses variabel keselamatan reaktor dan memberikan instruksi tindakan protektif terhadap reaktor. SPR berbasis pada sistem redundansi yang ditempatkan di dalam gedung reaktor pada ketinggian 23,00 m, Ruang 0930, 0931, dan 0932. Sistem proteksi reaktor terbagi dalam dua kelompok, sebagai berikut:

1. Bagian Analog, mengakuisisi data kualitatif dan mengolah sinyal-sinyal analog dari sensor melalui transmiter dan transduser dengan redundansi 3 hingga ke pemantau harga batas. Sensor/detektor pada SPR difungsikan untuk memantau:

-
- a. Kerapatan fluks neutron di dalam teras reaktor (JKT01/JKT02/JKT03-CX).
 - b. Laju dosis- γ (Aktivitas N-16) pada sistem pendingin primer (JAC01-CR).
 - c. Laju dosis- γ pada sistem ventilasi kolam reaktor (KLA60-CR).
 - d. Laju alir/debit sistem pendingin primer (JE-01 CF).
 - e. Ketinggian permukaan air kolam reaktor (JAA01 CL).
 - f. Posisi katup isolasi sistem primer (JE-01 CG).
 - g. Posisi tertutup katup sirkulasi alam (JE-01 CP).
 - h. Suhu pada keluaran penukar panas (JE-01 CT).
 - i. Tegangan pada Bus-bar sistem catu daya darurat (BNA, BNB, BNC).
- Jangkauan sinyal listrik yang digunakan oleh setiap transduser variabel proses adalah 0 - 20 mA dan konverter-konverter mengubah ke tegangan 0 - 10 V. Pada Bagian Analog, pengolahan data disediakan untuk:
- a. Transformasi sinyal dari tegangan analog DC 0 - 10 V ke sinyal logika.
 - b. Pembebasan efek umpan balik dengan memisahkan transmisi sinyal ke perangkat lain.
 - c. Penghitungan variabel khusus yang terkait dengan keselamatan, misalnya dari sistem JRE/JRF/JRG-FX.

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:
 - a. Saling kunci (*interlock*) pengoperasian reaktor;
 - b. *Scram* reaktor; dan
 - c. Pengaktifan Ragam Keselamatan Teknis lainnya.

Manajemen atau pelaksanaan program pemeliharaan SPR dikembangkan sejalan dengan usia reaktor yang tentunya semakin banyak ditemukan sistem dan komponen yang mengalami penurunan kinerjanya. Tujuan pemeliharaan adalah untuk memverifikasi bahwa status reaktor dan dokumentasi pendukungnya memenuhi persyaratan sebagaimana yang diberikan dalam LAK, persyaratan Badan Perijinan,

manajemen reaktor, dan rekomendasi pabrikan. Pemeliharaan dibagi dalam dua katagori, yaitu perawatan (pencegahan dan perbaikan) dan pengujian berkala yang meliputi inspeksi, pemeriksaan kemampuan operasi, dan kalibrasi. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa reaktor dioperasikan pada Batas Persyaratan Operasi (BPO) dengan interval waktu yang tetap atau dengan interval waktu (khusus) berubah-ubah. Pengujian di antaranya dilakukan terhadap catu daya tegangan sistem kabinet +24 V, +/- 15 V, dan catu daya detektor neutron -300 V, +400 V, dan +800 V. Sedangkan uji fungsi sensor dan tranduser meliputi pengujian respon sensor-sensor SPR. Respon tranduser harus memberikan harga 0 s/d 20 mA dan keluaran transmiter berada pada tegangan 0 – 10 V DC. Pada kanal pemantau dilakukan pengukuran insulasi untuk menentukan keandalannya, yaitu batasan insulasi $>10^7$ Ohm, $>10^9$ Ohm, dan $>10^{12}$ Ohm.

METODOLOGI DAN TATA CARA

Metodologi pelaksanaan evaluasi dilakukan dalam 4 (empat) langkah kegiatan, yaitu:

- a. Studi pada sistem proteksi reaktor dan berbagai manual perawatan, dan pengujiannya.
- b. Mengumpulkan data hasil pengujian pelaksanaan persiapan sarana operasi (PSO), pemeliharaan RSG-GAS, dan LAK yang terkait.
- c. Menganalisis kondisi SPR dan meninjau penyebab gangguan operasi.
- d. Menyimpulkan kinerja SPR RSG-GAS.

Tata cara evaluasi terhadap kinerja SPR dilakukan dengan bantuan tampilan gambar Gerbang Logika SPR (Gambar 1). Sedangkan dokumen yang ditinjau di antaranya; dokumen hasil pemeliharaan tahunan Instrumentasi & Kendali RSG-GAS, Hasil uji PSO, dan *Log Book* operasi RSG-GAS. Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian adalah Multimeter Digital, Terra-Ohm Meter, Function-Generator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi terhadap SPR ini dilakukan dengan metode tidak berurut secara analitis (*non-sequential analysis*) dan metode berurut (*sequential systematic*) dari awal (Bagian

Analog) sampai ke bagian akhir (*scram* reaktor). Hasil pengukuran dan evaluasi uji fungsi ditunjukkan dengan Grafik 1 s/d Grafik 9.

Uji fungsi catu daya detektor SPR

Hasil pengujian terhadap catu daya detektor yang terkait dengan SPR, di antaranya detektor JKT01, JKT02, JKT03, JAC01, dan KLA60 dari tahun 1997 s/d tahun 2005 diperoleh keadaan bahwa catu daya hingga 9% tegangan nominalnya pernah dialami oleh detektor JKT03 CX831, hingga -7% oleh detektor JKT02 CX821, dan +6% oleh detektor JAC01. Fluktuasi catu daya dapat menyebabkan sensitivitas detektor tidak optimal, hal ini tidak diharapkan bila fluktuasi catu daya lebih dari 10%. Data hasil pengujian diperlihatkan pada Grafik 1.

Uji Fungsi Kanal Keluaran Transmitter Detektor SPR

Hasil pengujian terhadap kanal keluaran transmitter detektor yang terkait dengan SPR di antaranya detektor JKT01, JKT02, JKT03, JAC01, dan KLA60 dari tahun 1997 s/d tahun 2005 diperoleh keadaan bahwa kanal keluaran transmitter untuk +20 V dan -20 V masih stabil yakni $\pm 3,5\%$ dari tegangan seharusnya, sedangkan untuk kanal +10 V ada empat detektor yang memberikan tegangannya lebih dari 10%, yaitu oleh detektor JKT03, JAC01, KLA60, dan JKT02. Sedangkan fluktuasi terendah pernah diberikan pula oleh detektor JKT03 dan KLA60 masing-masing -0,5% dan -1%. Data hasil uji fungsi ditunjukkan pada Grafik 2, 3, dan 4.

Uji Fungsi Fluktuasi Harga Batas SPR

Hasil evaluasi terhadap seting harga batas beberapa sistem SPR, diperoleh bahwa seting harga batas tegangan pada komparator untuk JKT03 mengalami 5 kali rata-rata harga batas lebih dari 2% dan satu kali dialami oleh JKT01. Seting harga batas tegangan perbandingan tidak boleh lebih dari 2% (Hasil Uji Komisioning SPR). Perlakuan seting yang tepat (*ajustment*) dilakukan oleh Petugas Instrumentasi setiap pengujian PSO. Kelebihan harga seting mengakibatkan terlanggarnya harga batas keselamatan. Data hasil uji seting harga batas diperlihatkan dengan grafik batang, Grafik 5.

Uji Fungsi Keandalan Insulasi Detektor SPR

Hasil pengujian keandalan kanal pemantau menunjukkan bahwa beberapa tahanan insulasi unit SPR (yang dievaluasi) telah mengalami penurunan resistansi. Penurunan yang sudah melewati nilai standar di antaranya ialah kanal JKT01, JKT02 S, dan JKT03 S dari yang seharusnya harga resistansi $>1E+9$ Ohm terukur $1E+8$ Ohm. Penurunan dialami juga oleh instalasi JAC01 dan KLA60 dari yang seharusnya $>1E+12$ Ohm terukur $1E+8$ Ohm. 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 atau kontak dan kelembaban media di sekitarnya. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Grafik 6, 7, dan 8.

Evaluasi SPR dari *scram* reaktor

Dari frekuensi kejadian *scram* (Grafik 9), teramati bahwa SPR masih bekerja secara aktif dengan memberhentikan operasi reaktor jika timbul gangguan yang mendekati batas keselamatan reaktor. *Scram* dari sistem keselamatan pada 14 teras terakhir adalah terjadi rata-rata 2 – 3 kali (tanpa teras LV). Sedangkan *scram* terbanyak tercatat pada teras LV (22 kali), teras LIV (9 kali), dan teras XLIX (7 kali). Dari hasil penelusuran kejadian yang tercatat, *scram* didahului dengan turunnya salah satu batang kendali sehingga kondisi fluks neutron (daya radial) mengalami *un-balance load* atau terlampauinya batas *negatif floating* kemudian terjadi *scram* reaktor yang diinstruksikan sebagai tindakan korektif oleh unit JRE/JRF/JRG-FX. Jika ditelusuri sistem analog JRE/JRF/JRG-FX sangat bergantung kepada detektor JKT03-CX dan JAC01-CR. Selain itu perlu ditinjau bagian mekanik unit batang kendali yang sering terlebih dahulu jatuh yaitu JD05 sebanyak 19 kali, JDA06 dan JDA08 sebanyak 4 kali, (dan 5 kali tidak terdata nomor absorbernya).

Unit-unit SPR lainnya tidak secara implisit dievaluasi, sehubungan dengan kondisi pemantauan media fisik atau karakter sistemnya dan secara visual data pemeliharaan telah menunjukkan hasil yang sesuai standar uji.

KESIMPULAN

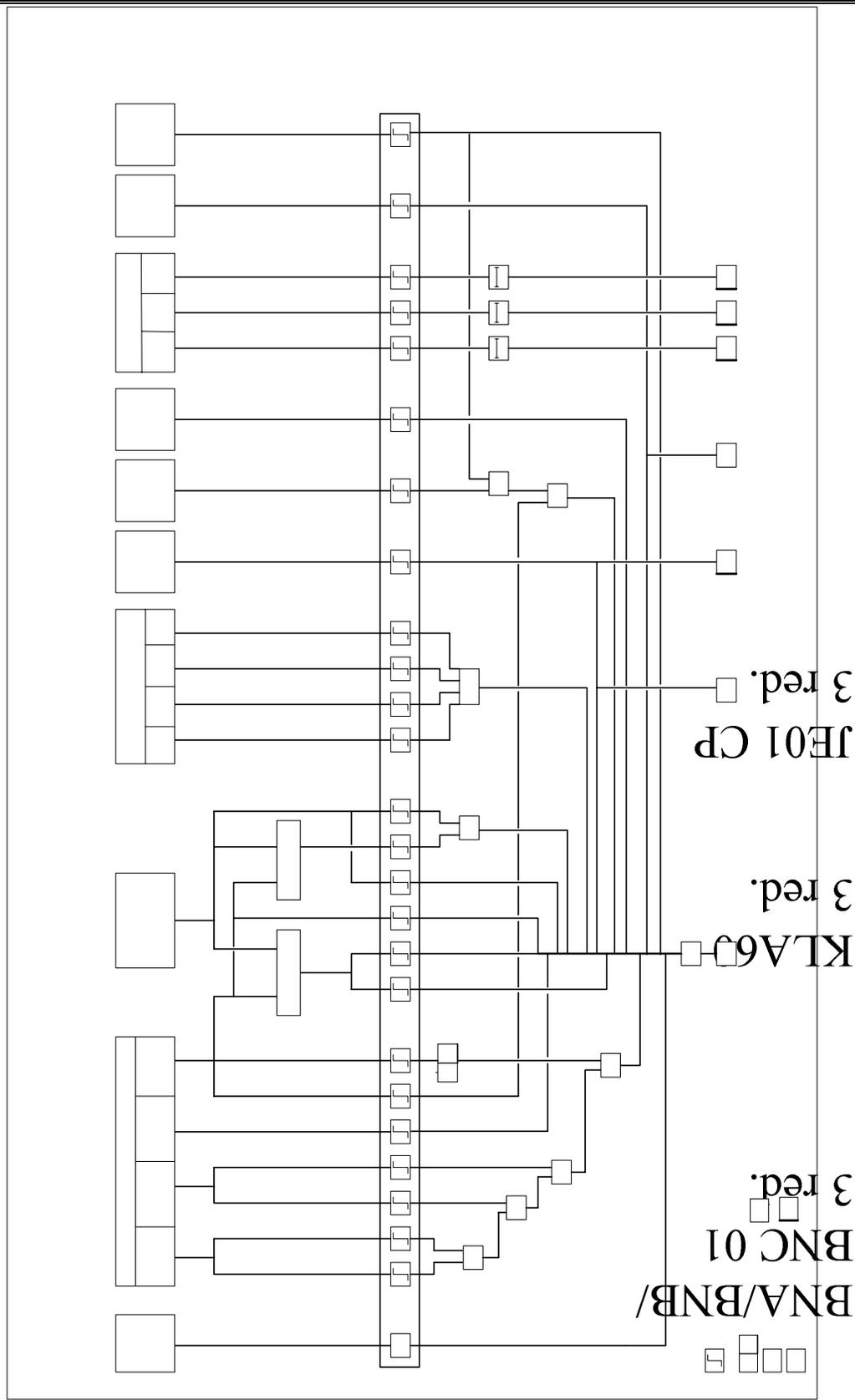
Evaluasi terhadap unit khusus pada sistem proteksi reaktor (SPR) dilakukan sehubungan dengan pentingnya sistem ini baik melalui metode sequensial-sistematis atau dengan metode non-sequensial-analitis untuk terjaminnya operasi yang selamat.

Unit sistem proteksi reaktor yang dapat memberikan kinerja kurang optimal dan perlu penanganan lebih lanjut dari hasil evaluasi adalah JKT03 terutama CX831, JAC01, dan KLA60.

Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa sebagian unit-unit SPR yang memantau proses reaksi dan hasil reaksi di reaktor telah mengalami gradasi (penurunan) kinerja akibat kondisi lingkungan, perlakuan karakter, dan umur operasi. Peningkatan kinerja dapat dilakukan melalui pemeliharaan sistem pada kondisi yang idealnya dan penggantian dengan perangkat baru (ketersediaan komponen dan perangkat) yang memenuhi kriteria keselamatan dan standar nuklir.

PUSTAKA

1. *Safety Analysis Raport MPR-30 Rev. 7*, PRSG-Batan, 1989.
2. *RPS, I&C, O.M. MPR-30, 1986*.
3. J. Sukmana, *Pengendalian Operasi RSG-GAS dengan Sistem Proteksi Reaktor*, Skripsi, STTN, Yogyakarta, 2003.
4. Setyono S., *Management of Maintenance, Training Course*, Batan-JAERI, 2003.



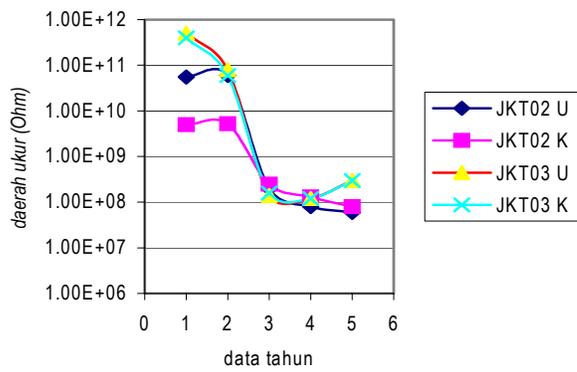
Tegangan pada saklar
tukar darurat
bar 1 bar 2 bar 3

Aktivitas dlm
sistem tunda
kolam reaktor

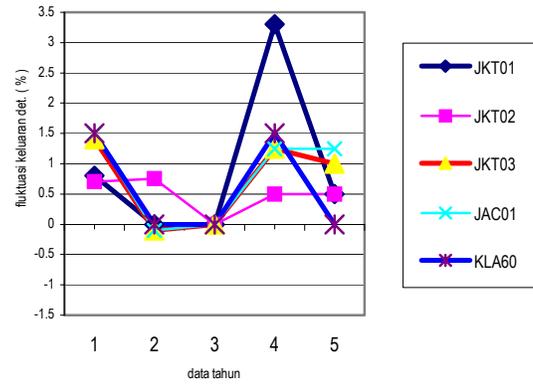
Posisi pada
flap sirkulasi
alam

JE01 CP
3 red.

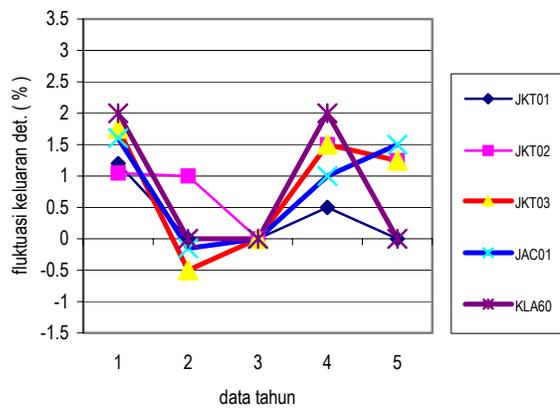
operator
uaran
HE



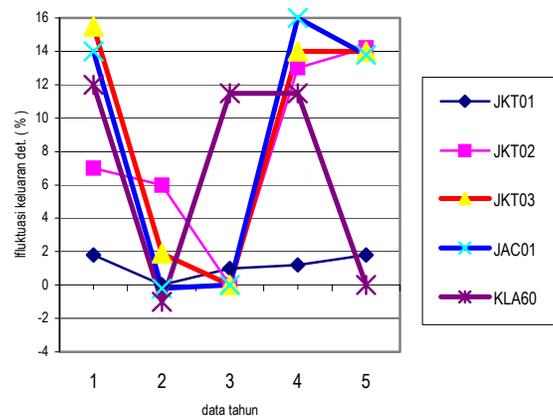
Grafik 1. Uji Fungsi Catu Daya Detektor



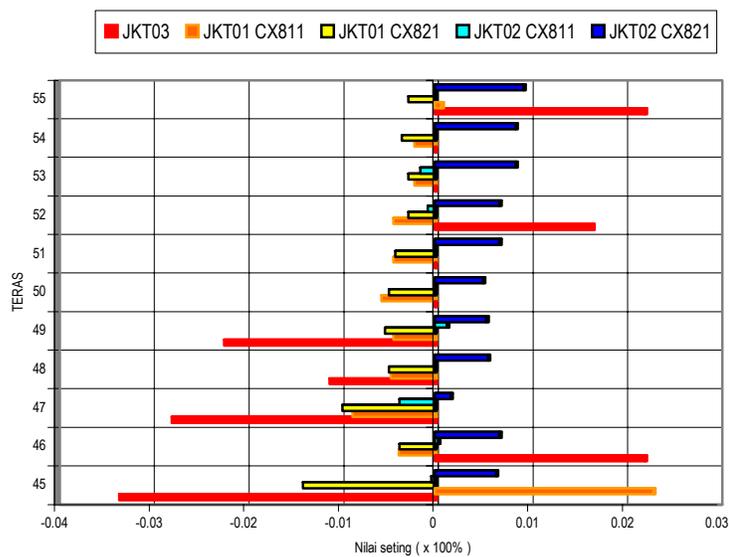
Grafik 2. Pengukuran Tegangan Kerja (+20V)



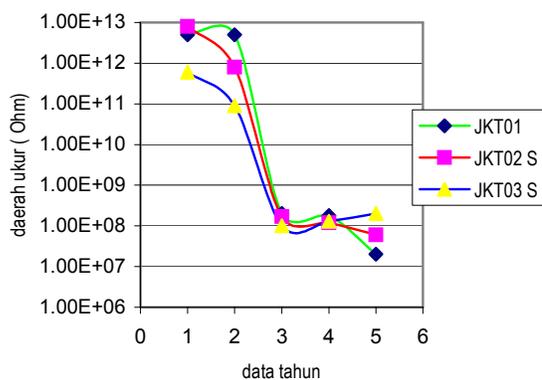
Grafik 3. Pengukuran Tegangan Kerja (-20V)



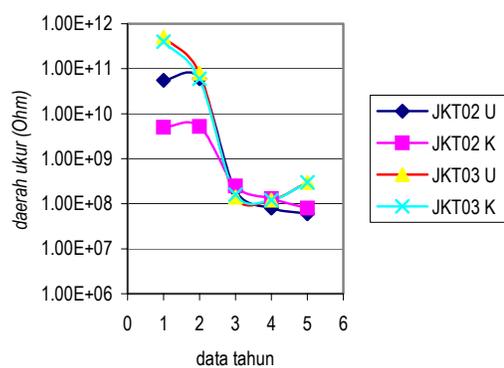
Grafik 4. Pengukuran Tegangan Kerja (+10V)



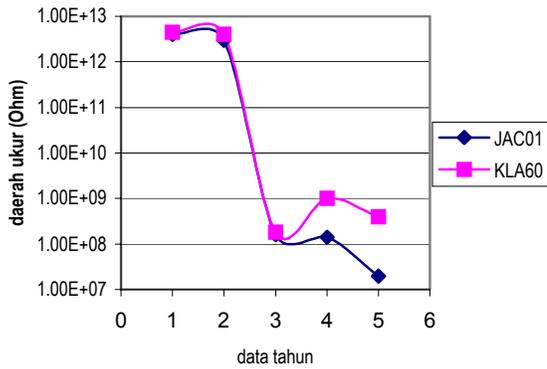
Grafik 5. Fluktuasi Seting Harga Batas (Komparator SPR)



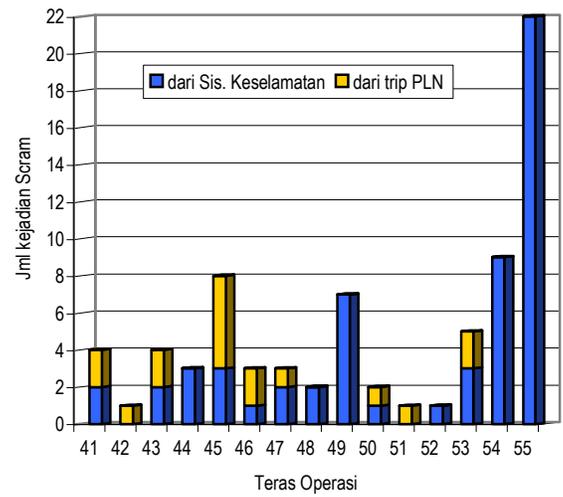
**Grafik 6.
Pengukuran Tahanan Insulasi, >1e+9 Ohm**



**Grafik 7.
Pengukuran Tahanan Insulasi, >1e+7 Ohm**



Grafik 8.
Pengukuran Tahanan Insulasi, >1e+12 Ohm



Grafik 9. Frekuensi Kejadian Scram RSG-GAS

Keterangan untuk Grafik 1,2,3,4,6,7, dan 8 :

Data Tahun, sbb:

- 1 : 1996
- 2 : 1997
- 3 : 2003
- 4 : 2004
- 5 : 2005