

## MODIFIKASI MODUL AMPLIFIER KANAL PENGUKURAN JKT03 CX821

Hari Prijanto, Heri Suherkiman, Edison <sup>1)</sup>

1) Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN, Gd. 31 Kawasan Puspiptek Serpong,  
Tangerang-Banten, 15310  
[hyanto@batan.go.id](mailto:hyanto@batan.go.id)

### ABSTRAK

**MODIFIKASI MODUL AMPLIFIER KANAL PENGUKURAN JKT03 CX821.** Telah dilakukan modifikasi modul amplifier kanal pengukuran JKT03 CX821 untuk mengembalikan fungsi sistem pengukuran fluks neutron pada daerah daya sebagaimana desainnya. Modifikasi didasarkan pada pengukuran fluks neutron menggunakan metode foil emas yang didapat hasil bahwa kondisi fluks neutron di teras RSG-GAS masih setimbang. Metode lain adalah dengan melakukan pengukuran arus detektor secara langsung menggunakan picoammeter untuk mengetahui linieritas arus keluaran detektor terhadap rentang daya 0 sampai 30 mega watt. Sebelum modifikasi, pengukuran fluks neutron pada kanal JKT03 CX821 mulai respon setelah detektor ditarik kurang lebih 1 meter dari posisi bawah. Setelah modifikasi dengan menambahkan resistor 10 kilo ohm pada modul amplifier dan dilakukan kalibrasi dengan pengaturan potensiometer, penunjukan kanal pengukuran JKT03 CX821 respon pada posisi bawah dan setimbang dengan penunjukan kanal lainnya (JKT03 CX811/831/841).

*Kata kunci : Modifikasi, Modul Amplifier*

### ABSTRACT

**MODIFICATION OF THE AMPLIFIER MODULE FOR JKT03 CX821 MEASURING CHANNEL**  
*Modification of the amplifier module for JKT03 CX821 measuring channel has been done to restore the function of the neutron flux measuring system in the power range as the design. Modification are based on neutron flux measurement using gold foil that got conditions of the neutron flux in the RSG-GAS's core is still balanced. Another Method is by measuring detector currents directly using picoammeter to determine the linearity of the output current detector to the power range of 0 to 30 mega watt. Before modification, the channel of the JKT03 CX821 can not measure the neutron flux in the power range without withdrawal of the neutron detector approximately 1 meter from the bottom position. After modification by adding a 10 kilo ohm resistor at the amplifier module and calibration with potentiometer setting, measurement channel JKT03 CX821 response at down position and balance with another channels (JKT03 CX811 / 831/841).*

*Keywords : Modification, Amplifier Module*

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) adalah reaktor nuklir non daya milik bangsa Indonesia yang digunakan untuk penelitian, melayani kegiatan iradiasi, pendidikan dan pelatihan. Fasilitas RSG-GAS dibangun berdasarkan konsep reaktor kolam terbuka dengan menggunakan air sebagai pendingin dan moderator serta menggunakan Beryllium sebagai reflektor. Fasilitas RSG-GAS didesain dengan prinsip paparan minimum terhadap masyarakat dan operator reaktor selama operasi normal dan kondisi kecelakaan serta disesain dengan daya termal nominal 30 MW dan fluks neutron maksimum di CIP (Central Irradiation Position) sebesar  $5,38 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2\text{s}$ .<sup>[1]</sup>

Dalam pengoperasiannya RSG-GAS dilengkapi dengan sistem/kanal pengukuran fluks neutron, yaitu :

1. Kanal pengukuran fluks neutron pada daerah *Start-Up*

2. Kanal pengukuran fluks neutron pada daerah menengah/*Intermediate-Range*

3. Kanal pengukuran fluks neutron pada daerah daya/*Power-Range*

Pada daerah *Start-Up* fluks neutron diukur oleh 2 buah kanal pengukuran, yaitu JKT01 CX811/821 yang masing-masing menggunakan detektor jenis FC (*Fission Chamber*). Pada daerah *Intermediate* fluks neutron diukur oleh 2 buah kanal pengukuran, yaitu JKT02 CX811/821 yang masing-masing menggunakan detektor jenis CIC (*Compensated Ionisation Chamber*). Pada daerah daya (*Power-Range*) fluks neutron diukur oleh 4 buah kanal pengukuran, yaitu JKT03 CX811/821/831/841 yang masing-masing menggunakan detektor jenis CIC (*Compensated Ionisation Chamber*). Selain ketiga daerah pengukuran tersebut diatas, RSG-GAS dilengkapi pula dengan sistem pengukur daya otomatis yang dikendalikan secara *close-loop*. Pada mode pengendalian secara otomatis, keluaran pengukur sistem ini dibandingkan dengan *setting*

yang diberikan oleh operator untuk mengendalikan naik turunnya batang kendali secara otomatis.

Seiring bertambahnya waktu, kanal pengukuran JKT03 CX821 mengalami kegagalan fungsi dalam melakukan pengukuran fluks neutron, sehingga perlu dilakukan perbaikan. Sebelum dilakukan perbaikan terlebih dahulu dilakukan percobaan dengan 2 cara/metode. Metode pertama adalah dengan melakukan pengukuran arus keluaran detektor secara langsung tanpa melalui kanal pengukuran untuk mengetahui linieritasnya terhadap rentang daya reaktor. Metode kedua adalah dengan melakukan pengukuran fluks neutron pada teras reaktor menggunakan foil emas untuk mengetahui kesetimbangan distribusi fluks neutron. Apabila hasil dari metode kedua menunjukkan bahwa distribusi fluks neutron di teras reaktor adalah setimbang, maka tindakan perbaikan pada kanal pengukuran perlu dilakukan. Dari kegiatan ini diharapkan pengukuran fluks neutron pada kanal JKT03 CX821 dapat berfungsi sebagaimana desainnya.

## TEORI

Kerapatan fluks neutron di teras reaktor sebanding dengan daya reaktor yang dibangkitkan. Daya reaktor harus dikalibrasi untuk mengetahui dengan tepat berapa daya reaktor yang dibangkitkan. Metode perhitungan yang dipakai untuk kalibrasi daya reaktor adalah metode kalorimetri. Metode kalorimetri mengukur beda suhu air pendingin antara suhu masukan dan suhu keluaran teras reaktor. Besarnya beda suhu bergantung kepada besarnya panas pada teras reaktor, massa aliran pendingin dan panas spesifik.

Besarnya daya reaktor dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = \epsilon Cp. (Tk - Tm) \quad 1)$$

atau

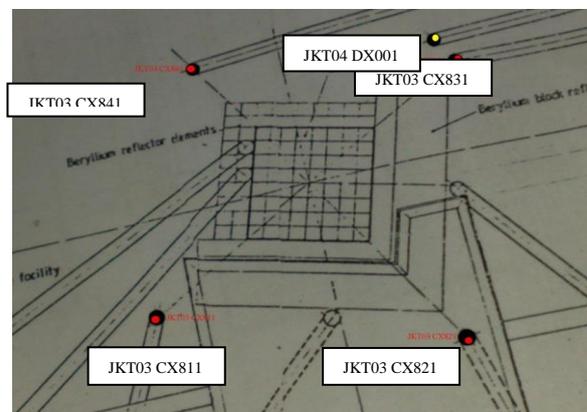
$$Q = W. \rho. Cp. \Delta T \quad 2)$$

Dimana :

- Q = Daya reaktor (kW)
- W = Laju alir volumetrik (m<sup>3</sup>/s)
- € = Massa alir pendingin (kg/s)
- P = Massa jenis pendingin (kg/m<sup>3</sup>)
- ΔT = Beda suhu keluaran dan masukan teras reaktor (°C)
- Cp = Panas spesifik pendingin (KJ/kg.°K)
- Tm = masukan teras reaktor (°C)
- Tk = Suhu keluaran teras reaktor (°C)

Dengan mengukur besarnya laju alir sistem pendingin primer (W), suhu masukan teras Tm dan suhu keluaran Tk, serta memasukkan dalam persamaan di atas, maka dapat dihitung besar daya reaktor yang dibangkitkan.

Dalam pengoperasian reaktor RSG-GAS, operator dalam membaca daya reaktor berpedoman pada penunjukan daya di ruang kendali utama (RKU). RSG-GAS mempunyai beberapa jenis kanal pengukuran yang dapat digunakan untuk memantau daya reaktor. Posisi detektor di teras reaktor ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem tersebut antara lain sistem pengukuran fluks neutron JKT01 CX811/821, JKT02 CX811/821, JKT03 CX811/821/831/841 dan JKT04 DX001. Masing-masing detektor tersebut memiliki daerah kerja tertentu. Selain itu terdapat sistem pengukuran daya JRF10 FX805 yang merupakan hasil rerata gabungan sistem pengukuran daya JKT03 CX811/821/831/841 dan JAC CR811/821/831 yang bekerja berdasarkan hasil pengukuran radiasi gamma dari isotop N-16 yang dipasang pada ujung pipa pendingin primer sebelum *delay chamber*.



Gambar 1. Posisi detektor neutron pada teras RSG-GAS.

Sistem kanal pengukuran JKT03 CX811/821/831/841 dan JRF10 FX805 merupakan kanal yang digunakan sebagai acuan pembacaan daya reaktor untuk operasi daya tinggi. Kedua sistem pengukuran daya tersebut menunjukkan persen daya dari daya nominal yang diijinkan untuk konfigurasi daya suatu teras. Kedua sistem pengukuran daya tersebut mempunyai daya jangkauan 0-160% secara linear.

Sistem kanal pengukuran JKT04 DX001 adalah kanal pengukur fluks yang mempunyai jangkauan kerja linear dengan penunjukan arus (*ampere*), mulai batas bawah 10<sup>-8</sup>A hingga batas atas 10<sup>-4</sup>A. Sistem ini digunakan sebagai acuan untuk operasi reaktor daya rendah sampai daya tinggi, selain digunakan sebagai pengendalian daya reaktor otomatis. Untuk mendapatkan satuan daya dalam Watt atau MegaWatt digunakan faktor konversi tertentu dari hasil kalibrasi daya secara kalorimetri stasioner.<sup>[2]</sup>

Untuk mendeteksi keseimbangan kerapatan fluks neutron di teras reaktor, RSG-GAS dilengkapi dengan sistem pendeteksi keseimbangan kerapatan fluks neutron yaitu JRE10 FX804, JRF10 FX804

dan JRG10 FX804 (3 redundan). Sistem ini bekerja dengan cara membandingkan keluaran dari kanal pengukuran JKT03 CX811/821/831/841. Apabila keluaran dari kanal pengukuran JKT03 CX811/821/831/841 sama/setimbang, maka hasil pengukuran pendeteksi beban tidak seimbang adalah nol persen (0%). Tetapi apabila sebaliknya, maka hasil pengukuran pendeteksi beban tidak seimbang adalah lebih besar dari pada nol persen (>0%). Apabila pengukuran beban tidak seimbang mencapai 16% maka reaktor akan scram secara otomatis.

**METODE**

Dari latar belakang masalah tersebut di atas, maka dilakukan langkah-langkah percobaan antara lain :

1. Melakukan pengukuran arus keluaran detektor secara langsung menggunakan picoammeter tanpa melalui kanal pengukuran pada rentang daya 0 sampai 30 mega watt. Metode ini dilakukan untuk mengetahui linieritas arus keluaran detektor. Apabila linier maka detektor tersebut masih dalam kondisi baik. Tetapi apabila sebaliknya maka detektor tersebut tidak dapat digunakan.
2. Melakukan pengukuran fluks neutron menggunakan foil emas yang dimasukkan di dalam teras reaktor. Selanjutnya dilakukan pencacahan terhadap foil emas menggunakan spektroskopi gamma untuk mengetahui kerapatan fluks neutron dimana foil emas tersebut diletakkan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

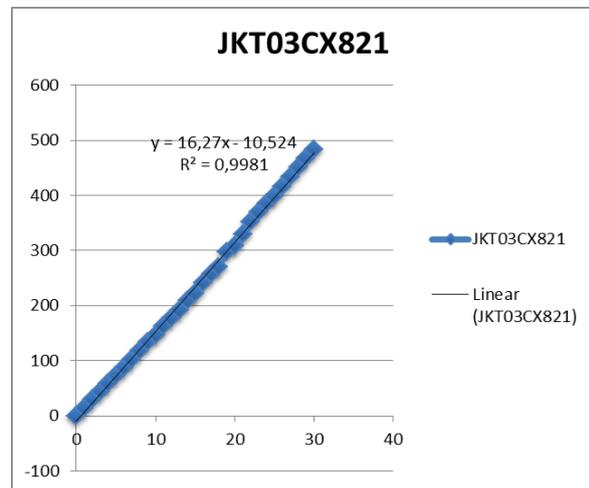
Dari metode percobaan pertama didapat hasil yang ditampilkan pada Tabel 1-1.<sup>[3]</sup>

**Tabel 1-1. Data hasil pengukuran arus detektor neutron JKT03 CX821 dengan picoammeter**

DAYA REAKTOR (MW)	ARUS DETEKTOR (µA)
0	0
1	14.47
2	29.60
3	43.48
4	58.82
5	73.53
6	87.78
7	102.34
8	118.53
9	133.40
10	147.48
11	163.60
12	177.88
13	192.36
14	209.10
15	221.60
16	242

17	258
18	271
19	297
20	309
21	330
22	352
23	370
24	386
25	399
26	416
27	433
28	452
29	467
30	483

Dari Tabel 1-1 di atas, kemudian dibuat grafik linieritas arus keluaran detektor terhadap rentang daya tanpa melalui kanal pengukuran yang ditampilkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Gambar grafik linieritas arus keluaran detektor neutron JKT03 CX821 terhadap rentang daya tanpa melalui kanal pengukuran**

Metode percobaan kedua yang dilakukan oleh Bidang Keselamatan dan Bidang Operasi mendapatkan hasil bahwa fluks neutron di teras reaktor RSG-GAS adalah setimbang. Dari Tabel 1-1 dapat diketahui bahwa detektor neutron JKT03 CX821 tidak mengalami kerusakan atau perubahan sensitivitas ukur karena dengan pengukuran secara langsung, arus keluaran detektor adalah linier terhadap rentang daya reaktor. Berarti terdapat kegagalan fungsi pada kanal pengukurannya. Setelah dilakukan *troubleshooting*, kecurigaan mengerucut pada kegagalan modul *power amplifier* seperti terlihat pada Gambar 3. Gambar 3 adalah gambar rangkaian modul amplifier JKT03 CX821 (M35101-A5011) yang tersusun dari 3 buah papan rangkaian, yaitu :<sup>[4]</sup>

1. Rangkaian *Fixed-Voltage Regulator* (C72421-A131-B2) yang berfungsi memberikan suplai tegangan

- tetap/konstan DC +15 volt dan -15 ke seluruh rangkaian.
- Rangkaian *Calibration Amplifier and Impedance Converter* (C75421-A150-L1) yang berfungsi menyesuaikan rentang pengukuran arus keluaran detektor dengan mengatur saklar pemilih dari 1 sampai 5 dan untuk kalibrasi penguatan arus keluaran detektor dengan mengatur potensiometer (R22).
  - Rangkaian *Current to Voltage Converter* yang berfungsi mengubah arus keluaran detektor menjadi tegangan DC 0 sampai 10 volt (C72421-A130-B2). Modifikasi dilakukan pada papan rangkaian *Calibration Amplifier and Impedance Converter* (C75421-A150-L1) dengan menambahkan saklar pemilih ke-6 (M6). Penambahan saklar pemilih M6 didasarkan pada tidak responnya detektor pada posisi pengukuran paling bawah meskipun saklar pemilih sudah pada posisi M5, sehingga penguatannya perlu dikecilkan. Jika dilihat dari penurunan penguatan mulai dari M1 sampai M5 sebesar 50% (Tabel 1-2), maka untuk menghitung nilai resistor pada M6, penguatan pada M5 (=22.737) diturunkan setengahnya menjadi 11. Dengan penguatan sebesar 11, maka diperoleh R. TOTAL sebesar :

$$R.TOTAL = (A-1) \times R. Ref.$$

Dimana :

A = Penguatan (=11)  
R. Ref = Resistor Referensi (1K ohm)

Jadi :  
R. TOTAL = (11-1) x 1000 ohm  
= 10 x 1000 ohm  
= 10000 ohm  
= **10K ohm**

Hasil perhitungan resistor M6 dari rangkaian pada Gambar 3 ditampilkan pada Tabel 1-2.

**Tabel 1-2. Tabel hasil perhitungan penguatan rangkaian *Calibration Amplifier and Impedance Converter* (C75421-A150-L1) dan nilai resistor M6**

Saklar Pemilih	R. TOTAL	A (Penguatan)
M1	475K+10k	486
M2	200K+17.4k	218.4
M3	102K+2.15k	105.15
M4	47.5K+1k	49.5
M5	21.5K+237ohm	22.737
<b>M6</b>	<b>10k</b>	<b>11</b>

Setelah dilakukan modifikasi pada modul amplifier dengan menambahkan jalur M6 yang dirangkai dengan komponen resistor sebesar 10K ohm, tahapan selanjutnya adalah :

- Mengoperasikan reaktor pada rentang daya 0 sampai 15 MW (daya operasional) dengan meletakkan detektor neutron JKT03 CX821 pada posisi paling bawah.
- Melakukan kalibrasi penunjukkan JKT03 CX821 dengan memutar potensiometer R22 sampai tercapai kesetaraan penunjukkan dari ke-4 kanal pengukuran daerah daya (JKT03 CX811/821/831/841).

## KESIMPULAN

Dari data dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

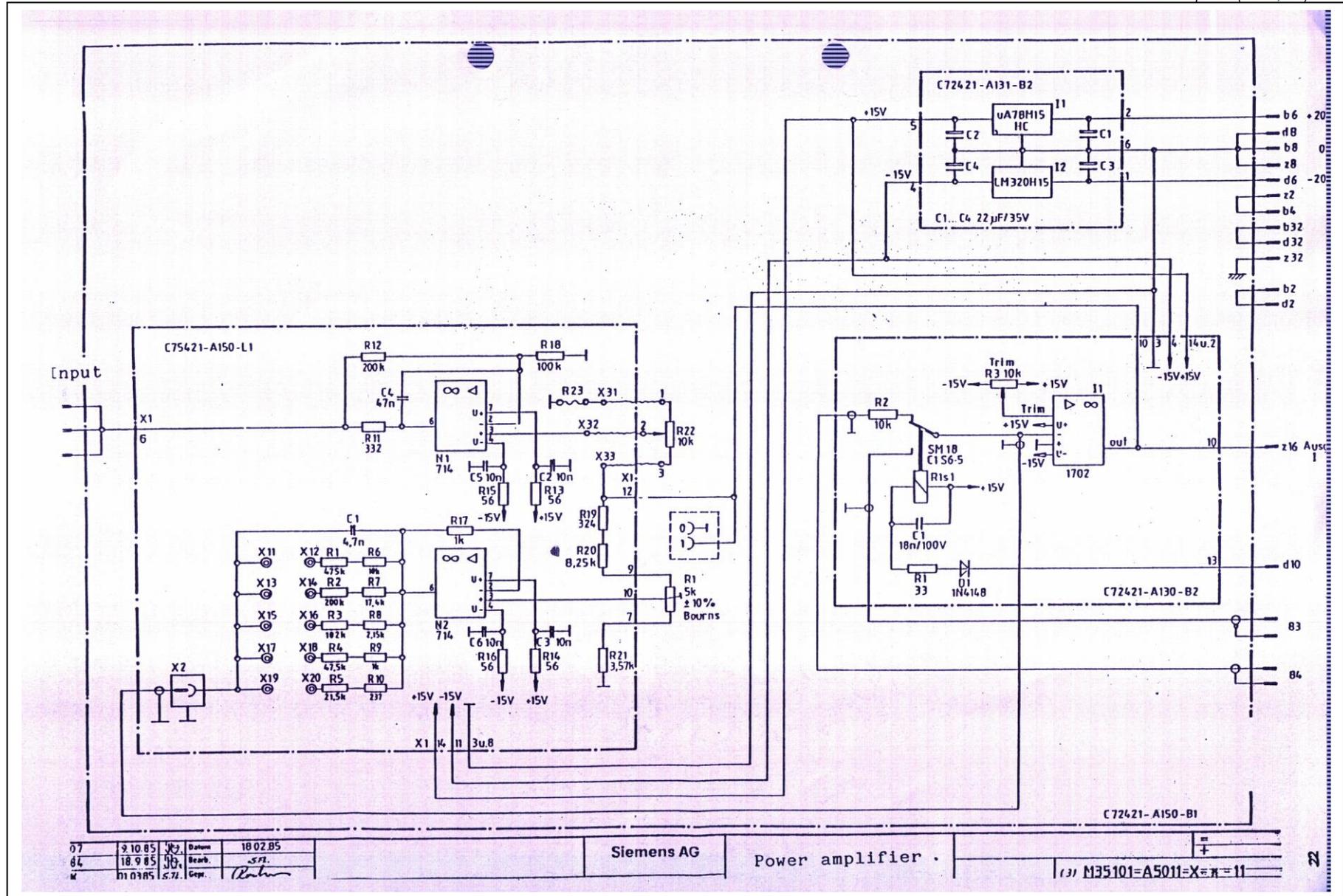
- Kondisi fluks neutron di teras reaktor RSG-GAS sampai dengan tulisan ini dibuat adalah masih setimbang
- Detektor neutron JKT03 CX821 masih berfungsi baik
- Setelah modifikasi dengan menambahkan rentang input pengukuran (M6) yang dirangkai dengan resistor 10 kilo ohm, kanal pengukuran JKT03 CX821 dapat berfungsi sebagaimana desainnya

## DAFTAR PUSTAKA

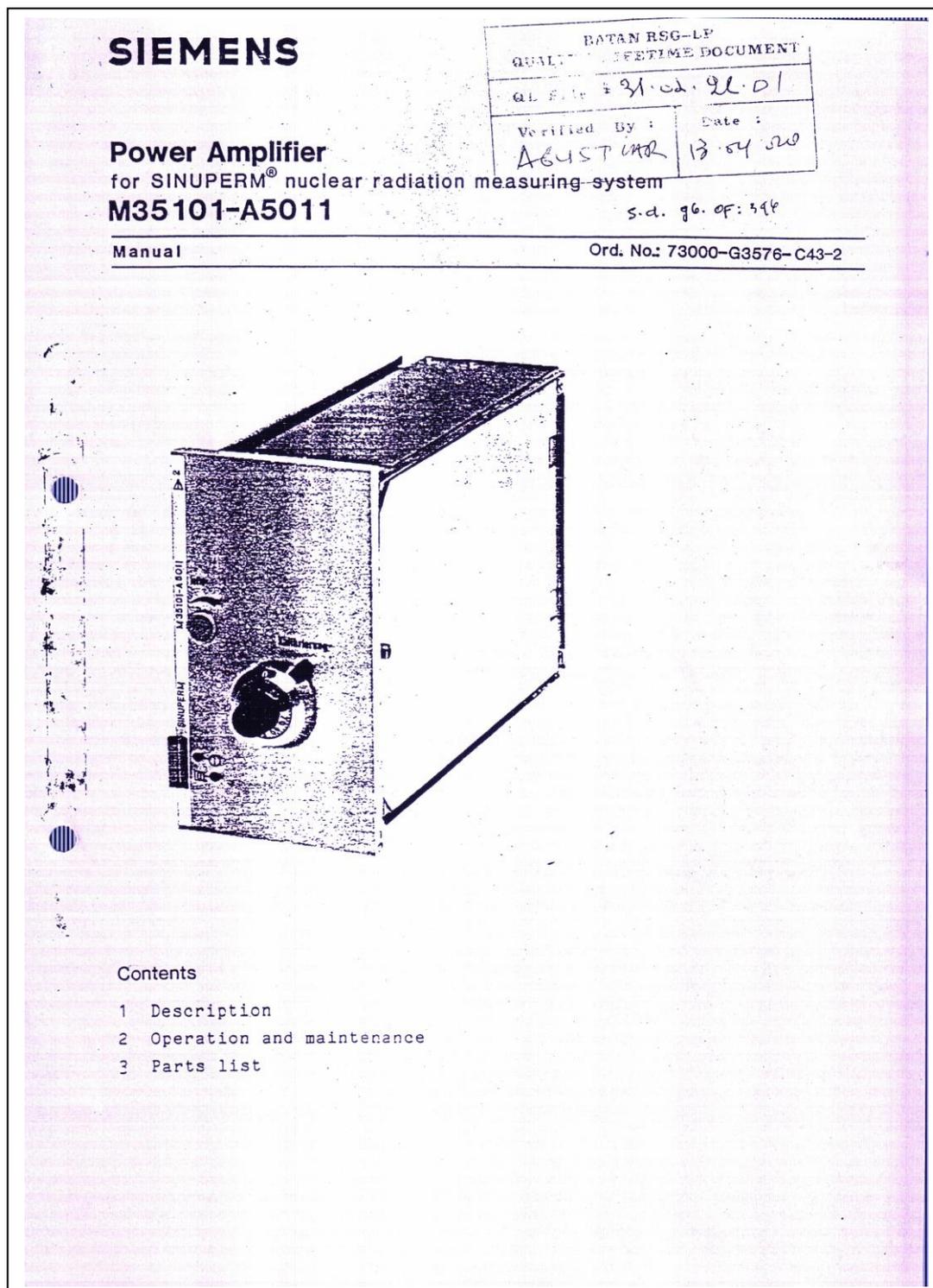
- PRSG, "Laporan Analisis Keselamatan", BAB VIII, Revisi ke-10
- LILY SUPARLINA, Pengembangan sistem monitoring daya online reaktor untuk peningkatan efisiensi operasi dan mutu iradiasi RSG-GAS", 2009
- PRSG, "Data percobaan pengukuran arus detektor JKT03 CX821 dari 0 sampai 30 mega watt", April 2016
- SIEMENS, "Spesifikasi teknis modul power amplifier M35101-A5011", 1986

## LAMPIRAN

- Gambar 1. Gambar posisi detektor neutron pada teras RSG-GAS
- Gambar 2. Gambar grafik linieritas arus keluaran detektor neutron JKT03 CX821 terhadap rentang daya tanpa melalui kanal pengukuran
- Gambar 3. Gambar rangkaian modul amplifier kanal JKT03 CX821 (M35101-A5011)
- Gambar 4. Gambar modul amplifier kanal JKT03 CX821 (M35101-A5011)



Gambar 3. Gambar rangkaian modul power amplifier kanal JKT03 CX821 (M35101-A5011)



Gambar 4. Gambar modul power amplifier kanal JKT03 CX821 (M35101-A5011)