

## APLIKASI RAPAT SPEKTRUM DAYA SILANG DALAM MENENTUKAN KONSTANTA PELURUHAN NEUTRON SEREMPAK RSG-GAS

Uju Jujuratisbela, Kristedjo, Lily Suparlina, Tukiran

### ABSTRAK

**APLIKASI RAPAT SPEKTRUM DAYA SILANG DALAM MENENTUKAN KONSTANTA PELURUHAN NEUTRON SERENTAK RSG-GAS.** Konstanta peluruhan neutron serempak ( $\alpha$ ) untuk teras RSG-GAS telah ditentukan dengan menggunakan rapat spektrum daya pribadi (RSDP). Untuk meningkatkan ketelitian hasil pengukuran dilakukan eksperimen derau dari pasangan dua buah detektor neutron. Dengan teknik korelasi diperoleh kurve rapat spektrum daya neutron silang (RSDS) dari data derau kedua pasangan tersebut. Tegangan/arus keluaran dari tiga buah detektor neutron pada daya tinggi dihubungkan ke penguat dan penyaring tegangan kemudian ke Penganalisis Sinyal Dinamik versi-2 (DSA-2) untuk dianalisis dengan menggunakan transformasi Fourier cepat. Dalam eksperimen derau tersebut diperoleh tiga buah RSDS yang masing-masing frekuensi patahnya dapat diestimasi dengan menggunakan teknik regresi linier. Dari frekuensi patah pada frekuensi tinggi dapat ditentukan konstanta peluruhan neutron serentak. Harga rerata konstanta peluruhan neutron serentak sebesar  $119,6 \text{ s}^{-1}$  dengan simpangan  $-4,2 \%$  dari harga desain.

### ABSTRACT

**APPLICATION OF CROSS POWER SPECTRAL DENSITY FOR PROMPT NEUTRON DECAY CONSTANT DETERMINATION OF RSG-GAS.** Prompt neutron delayed constant ( $\alpha$ ) of RSG-GAS core was determined from the auto power spectral density technique (APSD). In order to increase the accuracy of the experimental result, the noise experiment has been conducted to the pair of 2 neutron detectors. By using correlation method to the pair of 2 neutron detectors, cross correlation power spectral density (CPSD) has been obtained. Voltage or current output from 3 neutron detectors of JKT03 were connected to preamplifier, amplifier and then to dynamical signal analyzer (DSA-2) for mathematical manipulation using fast Fourier transform. In those noise experiments, three CPSDs were determined and the break frequency of each curve can be estimated using linear regression technique. Prompt neutron decay constant of each curve can be obtained from its break frequency. The average of prompt neutron decay constant is  $119.6 \text{ s}^{-1}$  which has  $-4.2 \%$  deviation from designed value.

### PENDAHULUAN

Penentuan konstanta peluruhan neutron serentak ( $\alpha$ ) RSG-GAS dengan menggunakan rapat spektrum daya pribadi yang dihasilkan dari data eksperimen derau makroskopik yang berasal dari satu detektor neutron telah dilakukan. Hasil yang diperoleh dengan simpangan  $+8,9 \%$  dari hitungan desain cukup baik<sup>(1)</sup>. Karena perannya yang sangat penting dalam keselamatan operasi reaktor, maka usaha peningkatan

ketelitian terus dilakukan. Dari segi evaluasi data eksperimen, telah dicoba menggunakan teknik perataan regresi bergerak otomatis (*Auto Regressive Moving Average*). Dengan teknik tersebut diperoleh harga  $\alpha = 130,7 \text{ s}^{-1}$  yang berarti penurunan simpangan dari harga desain sebesar  $4,2 \%$ <sup>(2)</sup>. Sedangkan dari segi metode eksperimen derau dengan cara melakukan eksperimen derau dari pasangan 2 buah detektor neutron untuk menghasilkan rapat spektrum daya neutron silang



(RSDS) yang diharapkan dapat mempertinggi ketelitian ( $\alpha$ ). Pengukuran dilakukan pada daya reaktor tinggi, selain menghindari pengaruh sumber neutron, juga sebagai tahap awal peninjauan eksperimen derau daya tinggi untuk menentukan dinamika reaktor<sup>(3)</sup>. Tegangan neutron dari beberapa detektor jenis kamar ionisasi gamma terkompensasi JKT03 yang biasa digunakan untuk operasi normal<sup>(4)</sup>, dimasukkan pada amplifier yang dihubungkan ke Penganalisis Sinyal Dinamik / Dynamic Signal Analyzer versi-2 (DSA-2)<sup>(5)</sup> yang berisi beberapa paket program transformasi Fourier cepat untuk memanipulasi data derau neutron. Dengan teknik ini diharapkan pengaruh rendahnya efisiensi detektor dapat dihindarkan, sehingga frekuensi patahan dari kurva RSDS dapat lebih jelas terlihat. Dengan demikian, parameter kinetik reaktor seperti harga umur generasi neutron dapat diestimasi lebih baik.

Dalam pengukuran RSDS pada RSG-GAS digunakan 3 buah detektor neutron kanal keselamatan JKT03 yang biasa digunakan dalam operasi normal. Oleh karena itu, posisi detektor tak dapat diubah-ubah sehingga posisi detektor belum tentu sesuai dengan konsentrasi fluks neutron pada tempat tersebut. Beberapa rapat spektrum daya silang RSG-GAS dari pasangan dua buah detektor akan ditunjukkan. Dengan mempergunakan regresi linier, estimasi frekuensi patahan dari RSDS jauh lebih baik dibanding dengan estimasi dari kurva RSDP. Harga rerata parameter kinetik RSG-GAS dapat diestimasi dari kanal-kanal pengukuran yang digunakan.

## TEORI

### 1. Rapat spektrum silang.

Secara analogi dengan rapat spektrum daya, didefinisikan rapat spektrum silang  $\Phi_{xy}(\omega)$  dari dua variabel  $x(t)$  dan  $y(t)$  sebagai transformasi

integral Fourier dari fungsi korelasi silang<sup>(6)</sup>:

$$\Phi_{xy}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{xy}(\tau) e^{j\omega\tau} d\tau \quad (1)$$

dan transformasi baliknya:

$$\phi_{xy}(\tau) = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{xy}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad (2)$$

Rapat spektrum silang merupakan suatu besaran kompleks yang mempunyai bagian nyata (amplitudo) dan bagian imajiner (sudut fasa).

### 2. Rapat Spektrum Silang keluaran dari dua detektor.

Transformasi Fourier dari fungsi korelasi silang menghasilkan rapat spektrum

$$\text{silang: } \Phi_{12}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{12}(\tau) e^{j\omega\tau} d\tau \quad (3)$$

Substitusikan perubah variabel  $\xi = \tau + \mu + \alpha - \zeta - \eta$ , maka didapatkan

$$\begin{aligned} \Phi_{12}(\omega) &= H_1^*(\omega) H_2(\omega) H^*(\omega) H(\omega) \\ \Phi_{ii}(\omega) &= H_1^*(\omega) H_2(\omega) |H(\omega)|^2 \Phi_{ii}(\omega) \end{aligned} \quad (4)$$

Bila kedua detektor identik, masing-masing dengan fungsi tanggap impuls  $h_1(t)$  dan fungsi pindah  $H_1(\omega)$ , maka:

$$\Phi_{12}(\omega) = |H_1(\omega)|^2 |H(\omega)|^2 \Phi_{ii}(\omega) \quad (5)$$

Semua suku pada persamaan (5) nyata, sehingga rapat spektrum silang  $\Phi_{12}(\omega)$  adalah nyata.

## TATA KERJA

Secara umum urutan proses eksperimen penentuan RSDS dan



estimasi  $\alpha$  adalah analog dengan urutan proses eksperimen derau untuk menentukan RSDP dan estimasi  $\alpha$ , yaitu seperti

berikut di bawah ini.

Ketiga sinyal tegangan fluks neutron keluaran dari ketiga JKT03 pada daya reaktor 23 MW, dihubungkan ketiga penguat sekaligus penyaring buatan ECN Petten, dan seterusnya dihubungkan ketiga terminal masukan dari DSA-2.

Penyaring frekuensi tinggi dan rendah, serta penguatan dari ECN diatur supaya tegangan keluaran dari Penguat ECN  $\pm 10.0$  Volt sehingga dapat diterima di DSA-2.

Tentukan laju cuplikan (*Sample rate, Hz*), jumlah cuplikan (*Number of samples*), tentukan jumlah blok yang dicuplik ( $1 < Learning Time < 1000$  blok), tentukan jumlah blok data yang akan dihitung rapat kebolehjadian amplitudo/RKA (NLearn default = 10 blok), tentukan konstanta titik ambang (Rsigma) untuk perhitungan harga minimum dan maksimum data derau tiap kanal (Rsigma default = 3,5), Periksa (lihat bentuk RKA) apakah derau yang masuk DSA-2 memenuhi distribusi Gauss atau tidak. Periksa pula apakah frekuensi 50 Hz dari PLN sudah dihindarkan.

Pilih perangkat lunak yang tersedia di DSA-2 yang sesuai dengan tujuan pengukuran, yaitu RSDP, RSDS, fungsi-fungsi koherensi, fasa, dll.

Estimasi letak frekuensi patah ( $f_b$ ) dari kurve-kurve RSDP dan RSDS dengan menggunakan teknik regresi liner yang ada di Quatro Profesional Versi 4, kemudian hitung harga  $\alpha$  dengan hubungan  $\alpha = 2\pi f_b$ .

Sistem instrumentasi untuk pengukuran derau neutron dan posisi

detektor neutron JKT03 CX811, JKT03 CX821, dan JKT03 CX841 yang digunakan pada teras RSG-GAS ke-17 dengan daya 23 MW, dapat dilihat pada **Gambar 2**.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Beberapa hasil rapat spektrum daya silang (RSDS) dari data eksperimen derau neutron RSG-GAS yang pengambilan datanya dilakukan di Kamar Sistem Proteksi.

RSDP 1, RSDP 2, dan RSDS (1,2) untuk JKT03 CX811 dan JKT03 CX821 dapat dilihat pada **Gambar 3**

RSDP 1, RSDP 4, dan RSDS (1,4) untuk JKT03 CX811 dan JKT03 CX841 dapat dilihat pada **Gambar 4**

RSDP 2, RSDP 4 dan RSDS (2,4) untuk JKT03 CX821 dan JKT03 CX841 dapat dilihat pada **Gambar 5**

### Pembahasan

Pada **Gambar 3** tampak bahwa bagian terkorelasi dari kurve RSDS (1,2) yang berasal dari pasangan detektor neutron JKT03 CX811 dan JKT03 CX821 mempunyai bentuk lengkungan yang lebih tajam dimulai pada frekuensi sekitar 20 rad/sec dibandingkan dengan bagian terkorelasi kedua kurve RSDP 1 dan RSDP 2. Hal ini akan menghasilkan perkiraan frekuensi patah pada frekuensi tinggi lebih baik, sehingga harga yang diperoleh akan lebih baik.

Hal serupa diperlihatkan oleh kurve-kurve RSDS (1,4) dan RSDS (2,4) pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**. Dengan melakukan eksperimen derau dari dua buah pasangan detektor neutron dapat diperoleh kurve RSDS yang memperlihatkan kecuraman patahan frekuensi yang lebih tajam pada sekitar frekuensi 20 rad/sec dibandingkan



dengan RSDP masing-masing.

Dengan menggunakan teknik regresi linier dari bagian kurve datar dan miring dari masing-masing kurve RSDS (1,2), RSDS (1,4) dan RSDS (2,4) yang merupakan pasangan dua buah detektor neutron dari kanal 1 (JKT03 CX811), kanal 2 (JKT03 CX821), dan kanal 4 (JKT03 CX841) diperoleh harga-harga frekuensi patah (titik-titik potong kedua garis linier)  $f_{b1}$ ,  $f_{b2}$  dan  $f_{b3}$  masing-masing adalah 20,6 rad/sec, 23,4 rad/sec, dan 20,9 rad/sec. Dengan menggunakan relasi konstanta peluruhan neutron serentak ( $\alpha$ ):  $\alpha = 2\pi f_b$  harga  $\alpha$  dapat diketahui. Dengan cara serupa, frekuensi patah ( $f_b$ ) dan  $\alpha$  dari kurve RSDP 1, RSDP 2, dan RSDP 4 dapat ditentukan. Harga-harga  $f_b$  dan  $\alpha$  untuk RSDP dan RSDS yang diperoleh dengan menggunakan teknik regresi linier untuk JKT03 CX811, JKT03 CX821, dan JKT03 CX841 dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Dengan memperhatikan besar penyimpangan rerata harga  $f_b$  hasil eksperimen RSDP dan RSDS terhadap hasil perhitungan desain yang masing-masing berharga +8,5 % dan -4,5 % (lihat pada Tabel 1), menunjukkan bahwa aplikasi metode analisis derau neutron dan RSDS lebih mendekati harga desain dibanding dengan menggunakan RSDP. Dengan memperhatikan besar penyimpangan rerata harga  $\alpha$  hasil eksperimen RSDP dan RSDS terhadap hasil perhitungan desain yang masing-masing berharga +8,9 % dan -4,2 % (lihat pada Tabel 1), menunjukkan bahwa aplikasi metode analisis derau neutron dan RSDS lebih mendekati harga desain dibanding dengan menggunakan RSDP. Hal ini berarti pula, bahwa kesalahan yang

diakibatkan oleh rendahnya efisiensi detektor pada RSDP dapat dikoreksi dengan menggunakan RSDS.

Dari pembahasan data hasil eksperimen derau neutron diperoleh bahwa simpangan rerata frekuensi patah dan konstanta peluruhan neutron serentak terhadap harga desain dengan menggunakan RSDS lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan RSDP. Terdapat peningkatan ketelitian hasil eksperimen dengan menggunakan RSDS.

Harga rerata konstanta peluruhan neutron serempak dari ketiga kanal JKT03 dengan menggunakan RSDS adalah  $119,6 \text{ s}^{-1}$  dengan simpangan dari perhitungan desain sebesar -4,2 %.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Aplikasi RSDS dalam metode eksperimen derau dapat meningkatkan ketelitian hasil eksperimen.

Harga rerata konstanta peluruhan neutron serentak dari ketiga kanal JKT03 dengan menggunakan RSDS adalah  $119,6 \text{ s}^{-1}$  dengan simpangan -4,2 % dari harga desain.

### Saran

Untuk penentuan parameter kinetik yang lebih teliti perlu dilakukan koreksi-koreksi yang berkaitan reaktivitas umpan balik yang timbul dari kondisi teras pada daya tinggi yang mengandung radiasi gamma yang lebih besar, getaran batang kendali dan struktur teras reaktor, dll. Selain dari itu, gabungan dari metode korelasi eksperimen derau dan penggunaan perangkat lunak yang lebih baik akan lebih meningkatkan lagi ketelitian hasil.



## DAFTAR PUSTAKA

1. UJU JUJURATISBELA, KRISTEDJO, TUKIRAN, SURIAN PINEM, JAKA IMAN, PURYONO, AGUS SANJAYA, SUWARNO, Estimasi Konstanta Peluruhan Neutron Serempak RSG-GAS pada Eksperimen Derau Daya tinggi, Disampaikan pada Seminar Hasil Penelitian PRSG, 19-20 MEI 1998.
2. UJU JUJURATISBELA, Aplikasi Teknik ARMA dalam Evaluasi Data Eksperimen Derau Daya Tinggi di RSG-GAS, Disampaikan pada Seminar PPNY, Yogyakarta 26-28 Mei 1998.
3. MO-CHEN HSU, Prompt-Neutron Decay Constant Estimation at Full-Power Operation, Nuclear Technology, Vol. 79, pp 274-283, Dec., 1987.
4. BATAN, Safety Analysis Report, Rev.7, Sept., 1987.
5. NN, ECN, Dynamic Signal Analyzer, DSA-2 (Version 1.0, March 1993).
6. ROBERT E. UHRIG, Random Noise Techniques in Nuclear Reactor System, The Ronald Press Company, New York, 1970.

## DISKUSI :

**Pertanyaan :** ( M. Dhandang P.)

Mohon dijelaskan secara fisis mengapa  $\alpha$  dapat ditentukan dengan metode analisis derau

**Jawaban:** (Uju J.)

Dari kebolehhadiah interaksi neutron dengan materi dalam reaktor dapat diturunkan persamaan - persamaan yang menggambarkan interaksi neutron kasip dan serempak dengan material dalam reaktor. Persamaan yang menggambarkan interaksi tersebut secara teoritis degambarkan dengan rapat spektrum daya neutron yang ternyata analog dengan persamaan fungsi pindah untuk reaktor. Kita ketahui fungsi pindah reaktor mengandung parameter kinetik termasuk  $\alpha$ .

**Pertanyaan :** (M. Darwis S.)

Suatu hal yang kondtradiktif, bahwa Bapak menganjurkan tidak menggunakan detektor JKT 821 (hasil RSOP2 = 147 ...Hz) tetapi pada metoda koreksi silang lebih cenderung pada korelasi 1 dan 2 dan korelasi 2 dan 4 yang mana justru menggunakan detektor JKT821. Apa pendapat Bapak ?

**Jawaban:** (Uju.J.)

Dari prosentase perbedaan hasil eksperimen dan teoritis, JKT 03 Cx821 menunjukkan adanya respon yang kurang baik yang mungkin disebabkan oleh efisiensi detektor tersebut. Oleh karena itu untuk keperluan /tujuan penelitian noise/derau lokal JKT 03 CX 821 tidak dianjurkan untuk dipakai. Selain dari kemungkinan respon yang sudah menurun dari JKT 03 CX821, juga letaknya yang dibelakang blok reflektor menyebabkan prosentase perbedaan yang cukup besar.

**Pertanyaan :** (Iman Kuntoro)

Dari sumber 3 & 4 tampak bahwa RSDS merupakan kombinasi (resultan) dari 2 RSDP yang dipasangkan diman masing-masing mengandung efek lokal dan hasilnya memberikan ketelitian yang lebih baik. Bagaimana menurut Bapak andaikata dalam meningkatkan ketelitian dilakukan dengan sebuah detektor neutron yang movable, kemudian diamati hasil di setiap posisi sampai ditemukan posisi dengan ketelitian



yang tinggi dalam arti optimasi antara efek lokal dan efisiensi detektor.

**Jawaban :** (Uju J.)

Terima kasih atas sarannya. Untuk penelitian yang lebih meningkatkan ketelitian dapat dilakukan seperti yang disarankan, tetapi pelaksanaannya perlu tenaga dan biaya tambahan yang tidak sedikit. Jika hanya menggunakan satu buah detektor yang digerakkan di seluruh bagian teras, ketelitian hasil tidak dijamin akan lebih meningkat, karena diperlukan waktu yang cukup lama yang mengakibatkan respon yang berbeda-beda yang cukup signifikan yang malah mengakibatkan penurunan ketelitian hasil. Dengan menggunakan 4 buah detektor statis dan mempunyai efisiensi sama akan menghasilkan data yang lebih akurat, sehingga ketelitian akan meningkat apalagi bila menggunakan perangkat lunak yang lebih canggih.

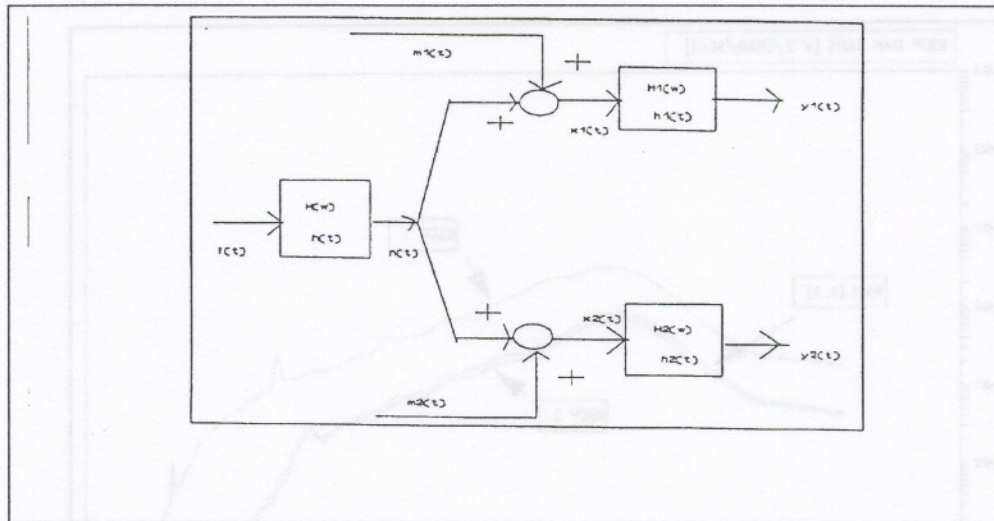
## LAMPIRAN

**Tabel 1 : Frekuensi patah ( $F_b$ ) dan konstanta peluruhan neutron serentak ( $\alpha$ ) dari kanal-kanal JKT03 CX811, JKT03 CX821, dan JKT03 CX841 dengan menggunakan teknik regresi linier pada RSDP dan RSDS yang berasal dari data eksperimen derau di RSG-GAS.**

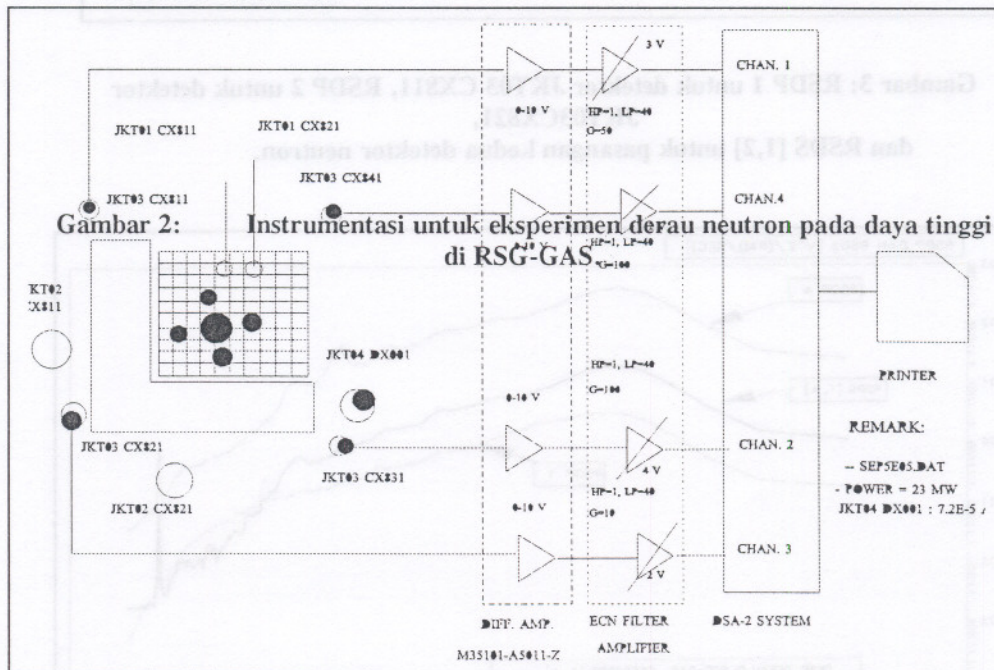
Kurve	Daerah Lebar Frekuensi [Hz]	Koefisien Regresi ( $R^2$ )	Koefisien -X (a)	Konstanta (b)	Frekuensi Patah ( $F_b$ ) [Rad/Sec]	Konst. Peluruhan Neutron Serentak ( $\alpha$ ) [ $s^{-1}$ ]
RSDP 1	10-16.75	0.909684	-0.02192 $\pm$ 6.2%	0,0508036 $\pm$ 2.9%	20.6	129,4(+3,7%)
	38.25-49.25	0.962592	-0.00187 $\pm$ 0.3%	0,094634 $\pm$ 1.3%		
RSDP 2	9.75-24	0.950543	-0.00299 $\pm$ 3.1%	0,071947 $\pm$ 4.0%	23.4	147,0(+17,8%)
	39.25-48.75	0.972366	-6.4E-5 $\pm$ 2.8%	0,00335 $\pm$ 0.9%		
RSDP 4	6.25-22.25	0.810656	-3.1351 $\pm$ 6.1%	66,93655 $\pm$ 10.8%	20.9	131,3(+5,2%)
	38.25-49.25	0.975576	-0.0343 $\pm$ 2.4%	1,798276 $\pm$ 0.1%	21,6(+8,5%)	135,9(+8,9%)
RSDS (1,2)	9.25-15.75	0.969869	-0.00505 $\approx$ 7%	0,101144 $\pm$ 1.7%	19.7	123,8(-0,8%)
	40.75-49.25	0.916488	-6E-5 $\pm$ 5.2%	0,00303 $\pm$ 1.6%		
RSDS (1,4)	9.25-15	0.964482	-0.1427 $\approx$ 3%	2,63333 $\pm$ 1.7%	18.1	113,7(-8,9%)
	40.75-48	0.939786	-0.03144 $\pm$ 5%	0,07176 $\pm$ 1.2%		
RSDS (2,4)	9.25-15.75	0.955036	-0.9946 $\pm$ 4.6%	1,9512 $\pm$ 2.1%	19.3	121,3(-2,8%)
	41.25-47.5	0.990772	-0.00106 $\pm$ 3.9%	0,052995 $\pm$ 3.9%	19,0(-4,5%)	119,6(-4,2%)*

Catatan : \*) - 119,6(-4,2 %) berarti ada penyimpangan (-4,2 %) dari harga desain pada awal siklus ( $\alpha = 124,8 s^{-1}$ )



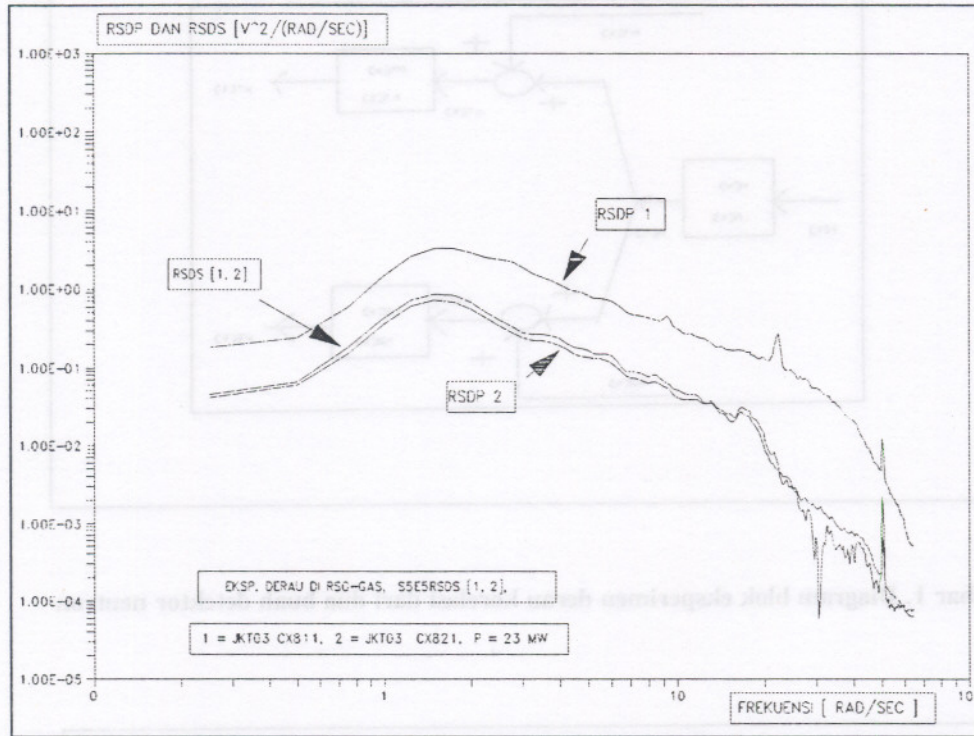


Gambar 1. Diagram blok eksperimen derau korelasi dari dua buah detektor neutron

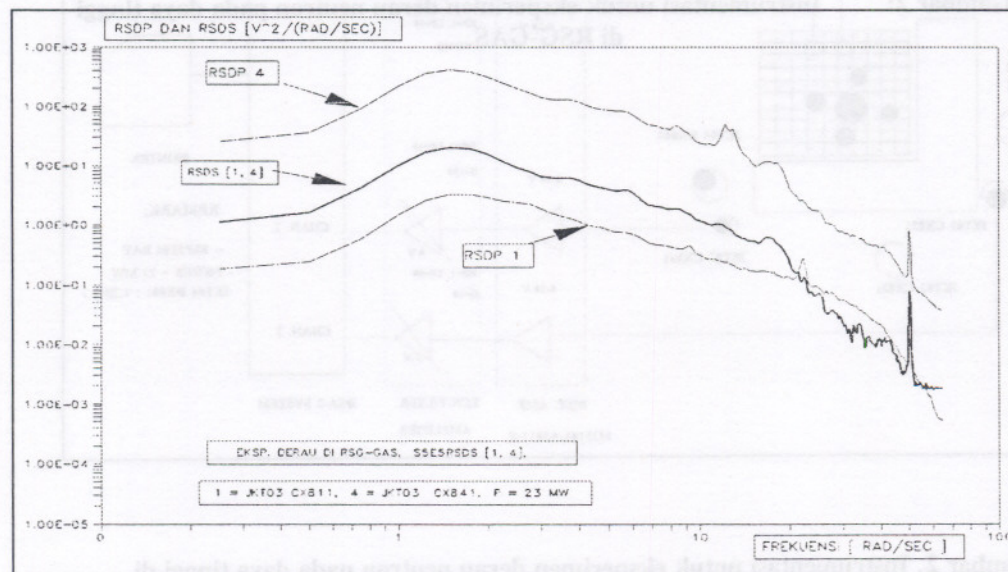


Gambar 2. Instrumentasi untuk eksperimen derau neutron pada daya tinggi di RSG-GAS.



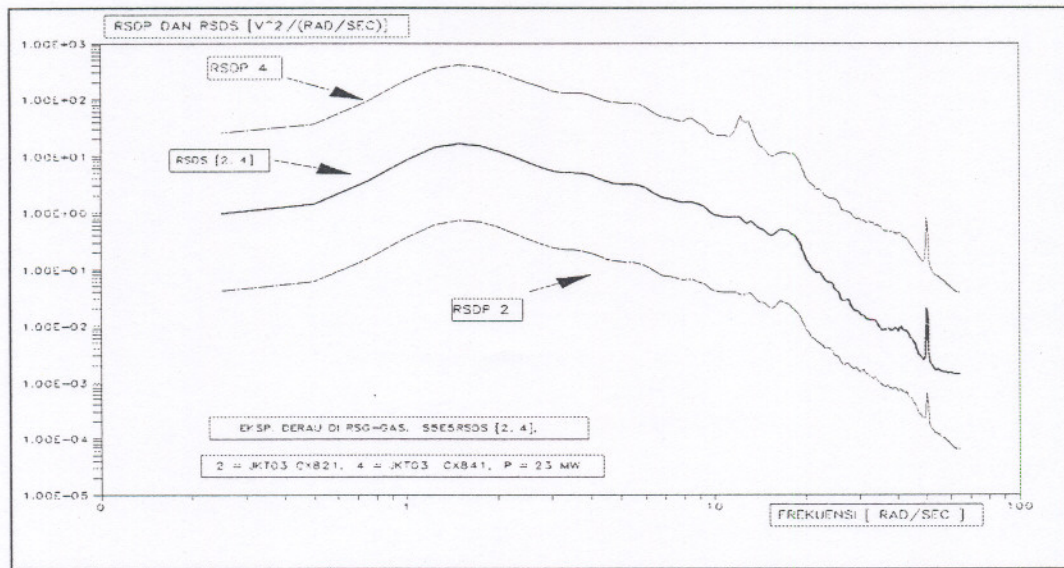


Gambar 3: RSDP 1 untuk detektor JKT03 CX811, RSDP 2 untuk detektor JKT03CX821, dan RSDS [1,2] untuk pasangan kedua detektor neutron.



Gambar 4: RSDP 1 untuk detektor JKT03 CX811, RSDP 4 untuk detektor JKT03 CX841, dan RSDS [1,4] untuk pasangan kedua detektor neutron





Gambar 5: RSDP 2 untuk detektor JKT03 CX821, RSDP 4 untuk detektor JKT03 CX841, dan RSDS [2,4] untuk pasangan kedua detektor neutron.