

ESTIMASI KONSTANTA PELURUHAN NEUTRON SEREMPAK RSG-GAS PADA EKSPERIMEN DERAU DAYA TINGGI

Uju Jujuratisbela, Kristedjo, Tukiran, Surian P., Jaka Iman, Puryono, Agus Sanjaya, Suwarno

ABSTRAK

ESTIMASI KONSTANTA PELURUHAN NEUTRON SEREMPAK RSG-GAS PADA EKSPERIMEN DERAU DAYA TINGGI. Harga konstanta peluruhan neutron serempak (α) RSG-GAS dengan menggunakan eksperimen derau daya rendah pada teras setimbang tidak menunjukkan hasil yang baik. Ketidak-berhasilan eksperimen derau daya rendah di RSG-GAS tersebut disebabkan karena rendahnya rasio sinyal derau terhadap latar belakang sebagai akibat dari rendahnya efisiensi detektor dan terkontaminasinya teras karena sudah lama dioperasikan. Untuk menanggulangi hal tersebut, dicoba dengan menggunakan teknik eksperimen derau daya tinggi. Tegangan keluaran dari detektor-detektor neutron pada beberapa tingkat daya reaktor, 5 MW, 12 MW dan 23 MW dihubungkan ke penguat dan penyaring tegangan kemudian ke Penganalisis Sinyal Dinamik versi-2 untuk dianalisis dengan menggunakan transformasi Fourier cepat. Diperoleh beberapa rapat spektrum daya pribadi (RSDP) dari beberapa buah kanal JKT03 dan JKT04 DX001 untuk tingkat daya 5MW, 12 MW, dan 23 MW sehingga dapat dipilih kurve-kurve yang menunjukkan adanya frekuensi patah. Dengan menggunakan teknik regresi linier frekuensi patah dapat ditentukan sehingga harga α dapat diestimasi.

ABSTRACT

PROMPT NEUTRON DECAY CONSTANT ESTIMATION OF RSG-GAS AT HIGH POWER NOISE EXPERIMENT. The determination of prompt neutron decay constant (α) of RSG-GAS by using low power noise experiment method at the equilibrium core indicated that the result is not good. The bad result was due to the small ratio of the noise signal to background which was caused by low detector efficiency or contaminated core after long time operation. To solve the problem is tried by using noise experiment technique at high power. The voltage output of neutron detectors at power of 5, 12, and 23 MW were connected to preamplifier and filter then to the Dynamic Signal Analyzer Version-2 and then the power spectral density can be determined by using fast Fourier transform. From the auto power spectral density of each channel of JKT04 and JKT03, the cutt off frequency of each channel can be determined by using linear regression technique such that the prompt neutron decay constant can be estimated.

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) adalah reaktor riset berdaya tinggi (30MWt) dengan menghasilkan fluks termal merata di teras 2×10^{14} n/cm²/detik dan menggunakan bahan bakar oksida dengan pengkayaan rendah kurang dari 20 % U-235. Konfigurasi teras setimbang tersusun atas 40 buah elemen bakar dan 8 buah elemen kendali. Elemen bakar dan elemen kendali tersebut terpola dalam 8 kelompok kelas fraksi bakar, dengan fraksi bakar rerata awal siklus sebesar 23,3 % dan akhir siklus sebesar 31,3%⁽¹⁾.

Setiap siklus operasi direncanakan mempunyai panjang daur operasi 25 hari daya penuh⁽¹⁾.

Analisis parameter-parameter keselamatan RSG-GAS perlu dilakukan untuk mendukung program keandalan dan keamanan operasi reaktor. Parameter-parameter tersebut antara lain adalah koefisien reaktivitas temperatur, void, serta parameter kinetik. Salah satu parameter yang penting dalam analisis keselamatan reaktor adalah koefisien reaktivitas temperatur, karena berguna untuk melihat keadaan reaktor selama beroperasi. Dalam penerapannya, koefisien reaktivitas temperatur (KRT) juga dipergunakan dalam analisis

eksperimen, analisis perilaku kondisi tak mantap reaktor (transient)⁽⁹⁾.

Pada makalah ini dilakukan perhitungan koefisien reaktivitas temperatur untuk elemen bakar dan moderator dengan fungsi temperatur. Temperatur yang dipilih adalah 20°C, 38°C, 50°C, 100°C dan 150°C. Dalam perhitungan KRT elemen bakar, perubahan temperatur terjadi hanya pada *meat*, sedangkan untuk perhitungan KRT moderator diambil kondisi yaitu tidak terjadi perubahan kerapatan (densitas) moderator akibat kenaikan temperatur moderator⁽¹⁾. Perhitungan sel dilakukan untuk mempersiapkan konstanta kelompok dari material penyusun reaktor RSG-GAS dengan menggunakan WIMS/D4⁽⁷⁾. Selanjutnya, perhitungan teras untuk memperoleh harga faktor

$$RSDP = RSDP_0 + N_0^2 |G(f)|^2 [2 |\rho(f)|^2 / T_d] \quad .(1)$$

dengan

$$RSDP_0 = 2 \epsilon F_0 [1 + \epsilon v(v-1)/(v)^2 |G_0(f)|^2] \quad .(2)$$

dan $G_0(f) = 1/(j\omega + \alpha) \quad .(3)$

dimana RSDP₀ - rapat spektrum daya pribadi pada tingkat daya rendah (nol), $2 |\rho(f)|^2 / T_d$ - spektrum reaktivitas yang dinyatakan dengan suku-suku amplitudo Fourier. Berdasarkan pengalaman dalam reaktor-reaktor daya suku pertama dari persamaan (1) diabaikan, kecuali untuk frekuensi-frekuensi tinggi ≥ 100 Hz. Hal ini terjadi karena fluktuasi-fluktuasi populasi neutron makroskopik secara fisis

$$G(f) = G_0(f) / \{1 + G_0(f)H(f)\} \quad .(4)$$

Rapat daya spektrum yang dinormalisir dari suatu detektor merupakan gabungan informasi tentang fungsi pindah dan derau reaktivitas serta dengan

multiplikasi efektif teras sebagai fungsi temperatur dilakukan dengan menggunakan paket program 2DBUM merupakan program difusi neutron banyak kelompok energi neutron.

Data yang digunakan berdasarkan data konfigurasi teras kerja (*typical working core*) dengan kerapatan uranium bahan bakar oksida pada *meat* adalah 2,96 gram/cm³ dan muatannya sebesar 250 gram.

TEORI

Rapat Spektrum Daya Pribadi (RSDP).

RSDP pada daya tinggi didefinisikan sebagai gabungan dari RSDP pada daya rendah dan bagian yang berkaitan dengan efek reaktivitas yang dinyatakan dengan persamaan :

disebabkan oleh sumber-sumber reaktivitas yang terjadi secara alamiah jauh melebihi derau acak yang datang dan terkorrelasi pada detektor. Besaran N₀ merupakan ukuran daya reaktor. G(f) adalah fungsi pindah reaktor pada daya tinggi yang dapat dinyatakan dengan fungsi pindah dari pengaruh reaktivitas dan suku-suku fungsi pindah daya nol sbb

mengabaikan PSD₀ dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{NRSDP} = \text{RSDP}/(N_0)^2 = |G(f)|^2 [2|\rho(f)|^2 T_d] \quad \dots(5)$$

Dengan menggunakan teknik pencocokan data eksperimen terhadap kurva NRSDP teoritis persamaan (5) dan menggunakan teknik regresi linier, maka diperoleh titik potong frekuensi patah (f_b). Harga konstanta peluruhan neutron serempak (α) dapat dihitung dari hubungan $\alpha = \omega = 2\pi f_b \dots \dots \dots (6)$.

Dengan harga β diketahui dari perhitungan, maka umur neutron dapat ditentukan dari persamaan $\alpha = \omega = \beta/l \dots (7)$.

TATA KERJA

Dalam perhitungan RSD diperlukan masukan yang berasal dari data eksperimen derau neutron. Teknik pengukuran derau neutron dan instrumentasi termasuk detektor neutron yang digunakan akan menentukan hasil perhitungan RSD. Pengambilan, pengumpulan, penyimpanan dan perhitungan data eksperimen derau daya tinggi dilakukan dengan menggunakan Dynamic Signal Analyzer (DSA-2)⁽⁷⁾. Secara umum urutan proses penentuan RSD sebagai berikut :

- Instalasi dan uji coba instrumentasi serta eksperimen awal.
- Eksperimen pada beberapa tingkat daya reaktor.
- Evaluasi data eksperimen;

Membaca semua data kasar hasil pengukuran,

Menghitung rerata waktu,

Menghitung rerata pembobot,

Menghitung data kasar termasuk harga reratanya,

Menormalisasi data untuk menghitung spektra ternormalisasi,

Menghitung RSDP ternormalisasi.

- Menentukan titik potong dari kurva RSDP yang berhubungan dengan frekuensi patah, dengan teknik regresi linier sehingga α dapat ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Beberapa hasil RSDP dari data eksperimen derau RSG-GAS yang keluar dari detektor neutron kamar ionisasi pada beberapa tingkat daya reaktor 5 MW, 12 MW, dan 23 MW. Posisi detektor JKT03, JKT04 dan instrumentasi yang digunakan untuk eksperimen derau pada daya tinggi dapat dilihat pada Gambar 1.

- RSDP untuk JKT03 CX811, JKT03 CX821, JKT03 CX841 dan JKT04 DX001 pada tingkat daya reaktor 5 MW dapat dilihat pada Gambar 2.
- RSDP untuk JKT03 CX811, JKT03 CX821, JKT03 CX841 dan JKT04 DX001 pada tingkat daya reaktor 12 MW dapat dilihat pada Gambar 3.
- Lebar pita sistem instrumentasi termasuk Penguat pengkondisi (Conditioning Amplifier) untuk kanal JKT04 DX001 pada eksperimen derau daya 5 MW dan 12 MW (Gambar 4).
- Lebar pita sistem instrumentasi tanpa Conditioning Amplifier untuk kanal-kanal

JKT03 pada eksperimen derau daya 23 MW (Gambar 5).

5. RSDP untuk JKT03 CX811, JKT03 CX821 JKT03 CX831, dan JKT03 CX841 pada tingkat daya reaktor 23 MW dapat dilihat pada Gambar 6.

Pembahasan

Dari Gambar 2 tampak bahwa walaupun pengambilan data eksperimen dilakukan pada saat yang sama dengan tingkat daya reaktor yang sama pula, akan tetapi bentuk respon detektor derau tidak sama dari ketiga detektor JKT03 dan JKT04 DX001. RSDP dari keempat detektor tersebut tidak menunjukkan frekuensi patah yang tepat seperti RSDP teoritis. Gambar 3 menunjukkan RSDP pada daya 12 MW untuk tiga detektor JKT03 dan JKT04 dan tidak menggambarkan frekuensi patah yang sesuai dengan analisis teoritis. Penyebab utama dari tak tampaknya frekuensi patah kurve RSDP pada eksperimen derau daya 5 MW dan 12 MW disebabkan karena pengesetan kondisi instrumentasi kanal-kanal detektor neutron yang dibatasi untuk operasi normal. Hal itu terbukti dari lebar pita daerah frekuensi yang dapat diamati oleh instrumentasi kanal-kanal detektor neutron hanya sekitar 9 Herz (Gambar 4). Sehingga daerah frekuensi patah reaktor teoritis (19,9 Hz) untuk RSG-GAS tak dapat diamati oleh detektor neutron.

Dengan tidak menggunakan penguat isolasi M35101-A1401 (bagian terakhir) dari rangkaian instrumentasi kanal detektor neutron JKT03, dilakukan pengukuran lebar pita frekuensi yang dapat dilihat oleh detektor neutron. Dengan perubahan tersebut tampak jelas bahwa detektor

dapat mengamati frekuensi lebih dari 100 Hz (Gambar 5).

Pada Gambar 6 tampak bahwa kurve RSDP dari ketiga kanal JKT03 menunjukkan adanya frekuensi patah di sekitar frekuensi 20 Hz. Kurve RSDP untuk JKT03 CX831 mempunyai bentuk yang berbeda mulai frekuensi sekitar 3 Hz. Hal tersebut menunjukkan adanya suatu respon yang tidak baik dari JKT03 CX831. Untuk mengetahui lebih jauh dari kanal ini, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Dari kurve-kurve RSDP pada kanal JKT03 CX811, JKT03 CX821 dan JKT03 CX841, dapat diestimasi bahwa letak frekuensi patah terjadi di sekitar frekuensi $f_0 = 20$ Hz. Hal ini berarti bahwa estimasi harga konstanta peluruhan neutron serempak akan berada pada harga disekitar $\omega = 2\pi f_0 = 125,7$ Hz. Dengan menggunakan teknik regresi linier dari bagian kurve datar dan miring dari masing-masing kurve RSDS kanal 1 (JKT03 CX811), kanal 2 (JKT03 CX821), dan kanal 4 (JKT03 CX841), diperoleh harga-harga frekuensi patah f_{b1} , f_{b2} dan f_{b3} masing-masing adalah 20,6 Hz, 23,4 Hz, dan 20,9 Hz. Selain dari pada itu, dari Gambar 6 tersebut nampak jelas bahwa masing-masing kurve RSDP untuk JKT03 CX811, JKT03 CX821, dan JKT03 CX841 pada tingkat daya reaktor 23 MW memperlihatkan adanya dua buah titik potong seperti diindikasikan dalam teoritis. Hal ini berarti bahwa bentuk kurve RSDP pada daya 23 MW cukup mendekati bentuk kurve teoritis. Dengan demikian pengaruh adanya neutron kasip dan neutron serempak terhadap karakteristik operasi reaktor dapat dievaluasi melalui kurve-kurve tersebut. Dalam penelitian saat ini, perhatian utama ditujukan pada penentuan harga parameter kinetik yang berkaitan dengan konstanta peluruhan neutron serempak.

Dengan menggunakan teknik regresi linier yang terdapat dalam program Quatro 4.0, maka

diperoleh titik potong yang menggambarkan frekuensi patah dari RSDP sehingga α dapat ditentukan. Masing-masing harga α dan simpangannya dari harga desain untuk kanal 1 (JKT03 CX811), kanal 2 (JKT03 CX821), dan kanal 3 (JKT03 CX841) adalah sebagai berikut ; 129,4 (+3,7 %) ; 147,0 (+17,8 %) ; dan 131,3 (+5,2 %) s^{-1} . Tampak bahwa simpangan yang paling besar terjadi pada kanal 2 (JKT03 CX821). Hal ini disebabkan karena letak detektor berada di sudut luar bagian belakang blok reflektor berilium, dengan demikian maka neutron-neutron untuk sampai ke detektor 2 melakukan interaksi yang lebih banyak dengan atom-atom berilium, sehingga difusi neutron termal lebih cepat yang menyebabkan umur neutron-neutron yang tiba ke detektor lebih pendek dibanding umur neutron yang tiba pada detektor neutron lainnya. Harga rerata α dengan teknik regresi linier pada ketiga kanal pengukuran 1, 2, dan 4 adalah 135,9 s^{-1} dengan simpangan 8,9 % dari harga perhitungan desain⁽⁸⁾(124,8 s^{-1}).

Jadi dengan menggunakan detektor yang tersedia untuk operasi normal, dapat ditentukan harga konstanta peluruhan neutron serempak yang cukup dekat dengan harga perhitungan desain untuk RSG-GAS. Hasil tersebut akan lebih baik lagi apabila posisi detektor neutron dapat diatur dan disesuaikan dengan fluks spesifik teras saat dilakukan eksperimen sehingga sensitivitas detektor neutron sesuai dengan kondisi lingkungan fluks neutron.

KESIMPULAN

Eksperimen derau daya tinggi menghasilkan RSDP yang mengindikasikan adanya frekuensi patah yang jelas.

2. Dengan menggunakan teknik regresi linier diperoleh harga α yang simpangannya cukup kecil dari harga desain.
3. Metode analisis derau daya tinggi dapat diterapkan pada teras kerja RSG-GAS.

SARAN

Ketelitian hasil yang diperoleh dengan mempergunakan metode analisis derau pada daya reaktor tinggi masih dapat ditingkatkan antara lain dengan mempergunakan detektor neutron yang posisinya dapat diatur sedemikian rupa sehingga sensitivitas detektor neutron sesuai dengan fluks neutron spesifik saat dilakukan eksperimen derau. Selain dari itu, ketelitian dapat pula dipertinggi dengan menggunakan metode evaluasi data derau neutron yang lebih maju, seperti metode ARMA.

Penerapan metode derau neutron pada daya tinggi untuk teras kerja RSG-GAS merupakan modal awal pengalaman yang berguna untuk terus ditindaklanjuti dalam penelitian yang lebih luas dan tajam yang berkaitan dengan pengaruh umpan balik reaktivitas yang timbul akibat dari suhu yang tinggi, laju aliran pendingin, getaran batang kendali dan vibrasi teras reaktor. Pengenalan pola-pola kurva rapat spektrum daya neutron saat reaktor beroperasi normal bermanfaat untuk pemantauan keandalan operasi dan rawat cegah komponen reaktor, sehingga keselamatan operasi reaktor dapat dipantau secara terus menerus selama beroperasi. Untuk maksud tersebut perlu didukung dengan pengembangan baik perangkat lunak maupun perangkat kerasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

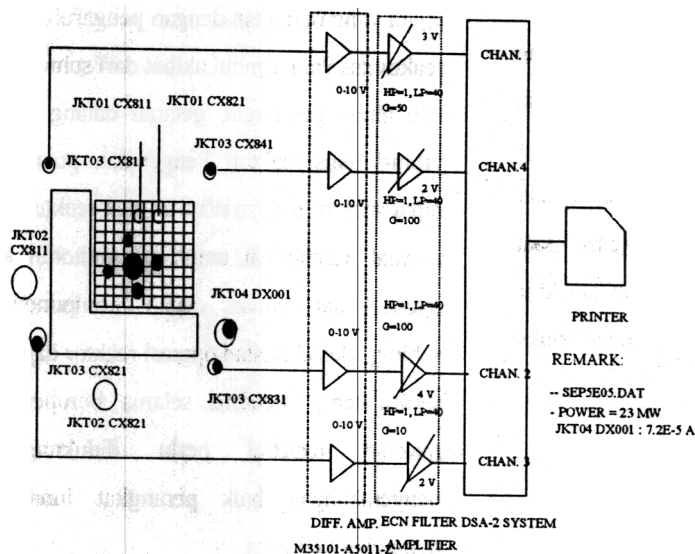
Kepada semua pihak yang telah membantu baik dalam pelaksanaan eksperimen maupun pada

saat penulisan makalah ini, kami mengucapkan banyak terima kasih.

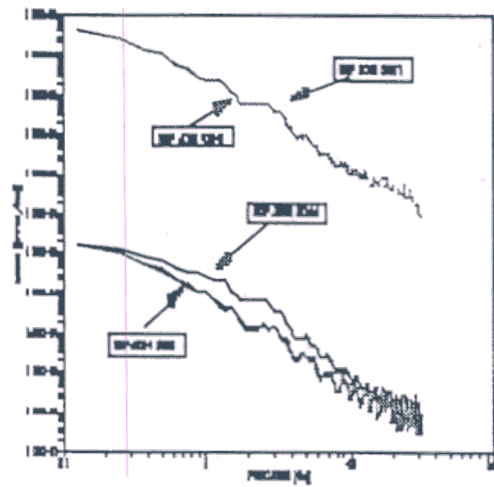
Ucapan terima kasih secara khusus ditujukan kepada grup Bidang operasi reaktor PRSG yang telah dengan sabar melayani eksperimen kami.

DAFTAR PUSTAKA

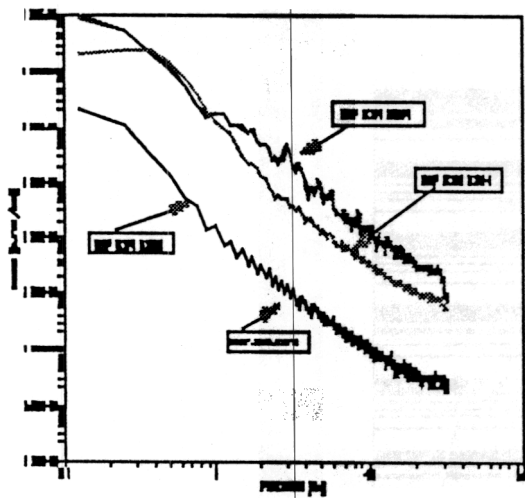
- R. E. UHRIG, Random noise techniques in nuclear reactor system, The Ronald press company, New York, 1970.
2. J. A. THIE, Power Reactor Noise, American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois, 1981.
3. SEKER, S., Türkcan, Determination of Prompt Neutron Decay Constant of Low Flux Reactor in Frequency Domain, NFA-DSA-90-19, BU Nuclear Energy, ECN, Petten, 1990.
4. SINGH, O.P., KHOEN, P.L., KUSNOWO, A., JUJURATISBELA. U., MARDHA, A., Preliminary Neutron Noise Characteristics and Prompt Neutron Decay Constant Measurements on Reactor Serba Guna (MPR-30), Atom Indonesia, Vol. 14, No. 1/2, 9-17, 1988.
5. UJU JUJURATISBELA, KRISTEDJO, TUKIRAN, SURIAN PINEM, Estimasi Umur Neutron dari Rapat Spektrum Daya Pribadi Neutron RSG-GAS Dengan Metode Analisis Derau, Seminar PPTN, Bandung 19-20 Maret 1997
6. HSU, M. C., Prompt Neutron Decay Constant Estimation at Full Power Operation, Nuclear Technology Vol. 79, pp. 274-283, 1987.
7. ECN-DSA-2, " On-line Dynamic Signal Analyzer, DSA-2, Version 1.0 (March, 1993) ", Netherlands.
8. BATAN, 1989, " Multipurpose Research Reactor G.A. Siwabessy, Safety Analysis Report, Rev. 7 ", VOL. 1, No. 11, 52-61.



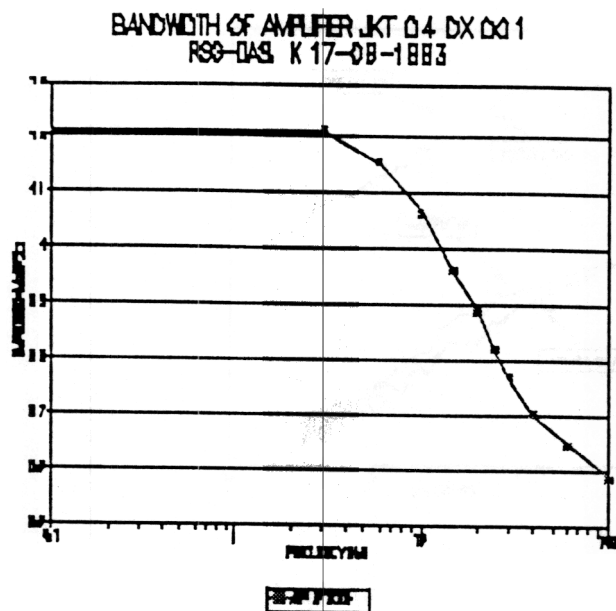
Gambar 1. Instrumentasi untuk pengukuran derau neutron pada daya tinggi 5 MW, 12 MW, dan 23 MW di RSG-GAS.



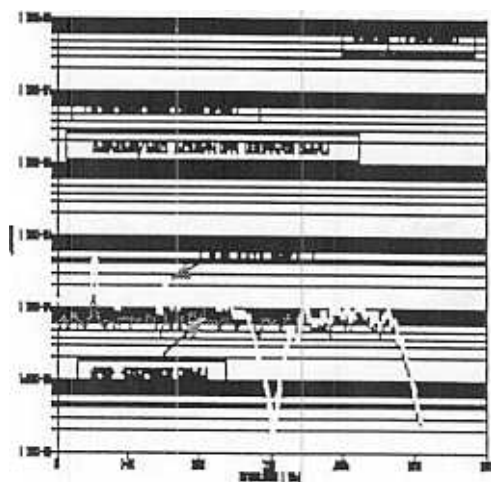
Gambar 2. Rapat spektrum daya pribadi (RSDP) tak dinormalisasi dari kanal JKT04 DX001, JKT03 CX811, JKT03 CX821), dan JKT03 CX841 pada daya reaktor 5 MW.



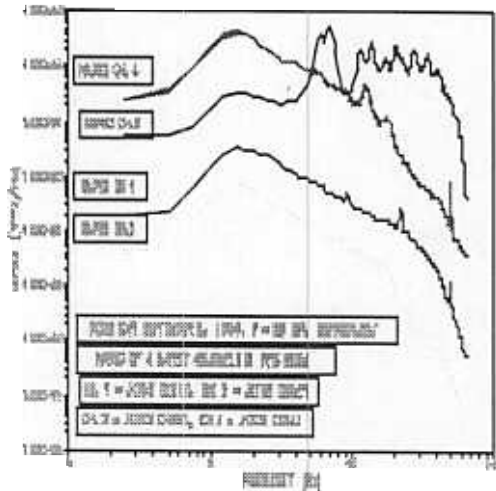
Gambar 3. Rapat spektrum daya pribadi (RSDP) tak dinormalisasi dari kanal JKT04 DX001, JKT03 CX811, JKT03 CX821), dan JKT03 CX841 pada daya reaktor 12 MW.



Gambar 4. Lebar pita sistem instrumentasi yang meliputi Conditioning Amplifier untuk kanal JKT04 DX001 pada eksperimen derau daya 5MW dan 12 MW.



Gambar 5. Lebar pita sistem instrumentasi tanpa Conditioning Amplifier untuk kanal-kanal JKT03 pada eksperimen derau daya 23 MW.



Gambar 6. Rapat spektrum daya pribadi (RSDP) ternormalisasi dari kanal 1 (JKT03 CX811), kanal 2 (JKT03 CX821), kanal 3 (JKT03 CX831), dan kanal 4 (JKT03 CX841).

Catatan: respon kanal 3 menunjukkan tidak baik.

Tabel Frekuensi patah, konstanta peluruhan neutron serempak, dan umur neutron dari kanal-kanal JKT03 CX811, JKT03 CX821, dan JKT03 CX841 dengan menggunakan teknik regresi linier pada RSDP dari data eksperimen derau neutron daya 23 MW.

Kurva	Daerah lebar Frekuensi [Hz]	Koefisien Regresi (R ²)	Koefisien -X (A)	Konstanta (B)	Frek. Patah (Fb) [Hz]	Konstanta Peluruhan Neutron Serempak (α) [S ⁻¹]
RSDP 1	10-16.75	0.909684	-0.02192±6.2%	0.0508036±2.9%	20.6	129,4(+3,7%)*
	38.25-49.25	0.962592	-0.00187±0.3%	0.094634±1.3%		
RSDP 2	9.75-24	0.950543	-0.00299±3.1%	0.071947±4.0%	23.4	147,0(+17,8%)
	39.25-48.75	0.972366	-6.4E-5±2.8%	0.00335±0.9%		
RSDP 4	6.25-22.25	0.810656	-3.1351±6.1%	66.93655±10.8%	20.9	131,3(+5,2%)
	38.25-49.25	0.975576	-0.0343±2.4%	1.798276±0.1%		
Rerata					21,6	135,9(+8,9%)

Catatan : *) - 129,41(+3,7 %) berarti ada penyimpangan (+3.7 %) dari harga desain (teoretik) pada awal siklus (α = 124,8 s⁻¹).