

PENGUKURAN DERAU NEUTRON PADA DAYA TINGGI

Surian Pinem

Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGUKURAN DERAU NEUTRON PADA DAYA TINGGI. Pengukuran derau neutron telah dilakukan pada High Flux Reactor, Netherland. Pengukuran bertujuan untuk menentukan perubahan reaktivitas akibat vibrasi mekanik, fluktuasi temperatur, tekanan dan pendidihan pada pendingin. Perubahan reaktivitas tersebut ditentukan dari perhitungan kerapatan spektral daya. Harga reaktivitas yang diperoleh sebesar 10^{-4} \$.

ABSTRACT

NEUTRON NOISE MEASUREMENT AT THE HIGH POWER. Neutron noise measurement was done at the High Flux Reactor, Netherland. The aim of the measurement is to determine the reactivity perturbation due to vibration to mechanical vibration, fluctuation of the temperature, pressure and boiling of the coolant. The reactivity perturbation is determined by calculation of the auto power spectral density and its result is 10^{-4} \$.

PENDAHULUAN

Pengukuran derau dalam reaktor sangat penting untuk keselamatan operasi reaktor. Analisis derau pada daya tinggi mempunyai keuntungan, yang dari analisis tersebut diperoleh informasi tentang keselamatan operasi reaktor, diagnosis secara cepat kegagalan komponen reaktor dan karakteristik reaktor.

Fluktuasi acak di dalam fluks pada reaktor daya tinggi disebabkan oleh proses fisi, laju alir, vibrasi mekanik, elemen bakar dan batang kendali. Fluktuasi ini mungkin ada selama operasi normal, tetapi selain itu mungkin ada sumber baru yang disebabkan oleh dimulainya kegagalan komponen reaktor. Sumber derau tergantung pada perlengkapan sistem reaktor, tidak ada teori yang dapat digunakan tetapi dengan analisis fluktuasi pada daerah frekuensi yang luas dapat diperoleh informasi tentang sumber derau tersebut.

Dalam makalah ini akan dijelaskan eksperimen untuk menentukan perubahan reaktivitas yang ada dalam reaktor daya tinggi. Pada reaktor daya tinggi kemungkinan adanya gangguan reaktivitas tergantung pada tipe reaktor. Gangguan reaktivitas mengumpukan balik satu sama lain sehingga menyebar ke seluruh teras. Dengan eksperimen sistem multi-masukan, pengetahuan tentang seluruh proses perubahan reaktivitas dimungkinkan.

TEORI

Secara umum kerapatan spektral daya (*Auto Power Spectral Density*) dapat ditentukan dengan :

$$W(\omega) =$$

$$\frac{2Q}{C} + \frac{\chi}{F} |T(\omega)|^2 + |T(\omega)|^2 |\rho(\omega)|^2 \quad (1)$$

$Q = \bar{q}^2 / \bar{q}$, q = muatan yang dilepaskan per neutron terdeteksi, C = jumlah neutron yang terdeteksi per satuan waktu, F = laju fisi, χ = faktor Diven, $T(\omega)$ = fungsi pindah reaktor dan $\rho(\omega)$ = reaktivitas.

Suku pertama persamaan (1) sebelah kanan adalah derau detektor, suku kedua timbul dari reaksi fisi dan suku ketiga karena fluktuasi reaktivitas. Suku ketiga tidak ada pada reaktor daya rendah sehingga disebut derau daya tinggi, yang harganya sebanding dengan kuadrat daya reaktor. Kedua suku yang lain sebanding dengan daya awal sehingga pada daya tinggi dapat diabaikan.

Fast Fourier Transform (FFT) adalah transformasi yang efisien dari domain waktu ke domain frekuensi. Analisis akhir data dapat dilakukan dengan peralatan digital. Perhitungan yang diinginkan dilakukan dengan operasi numerik pada harga cuplikan. *Fast Fourier Transform* dari data $X(t)$ didefinisikan sebagai:

$$X(f, T) = \int_0^T X(t) \exp. (-j 2 \pi f t) dt \quad (2)$$

T = lama pencacahan. Jika $X(t)$ diubah dalam bentuk digit dengan waktu sampling N detik maka $T = Nh$ dan $t = nh, n = 0, 1, 2, \dots, N-1$, kemudian

$$X(f, T) = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \exp. (-j 2 \pi f n h) \quad (3)$$

Kerapatan spektral daya pada beberapa frekuensi f dapat dihitung dari rumus :

$$W_{xx}(f) = \frac{2}{T} |X(f, T)|^2 =$$

$$\frac{2}{Nh} |X(f_k, T)|^2 = (2h/N) |X_k|^2 \quad (4)$$

$$X = X(f_k, T)/h$$

Bila kerapatan spektral daya silang digunakan maka informasi kualitas pengukuran dapat ditentukan dengan:

$$\gamma_{xy}^2 = W_{xy}(t)/W_{xx}(t) W_{yy}(t) \quad (5)$$

γ_{xy}^2 = fungsi koheren

Fungsi koheren selalu berharga lebih kecil atau sama dengan satu. Bila fungsi koheren berharga nol maka frekuensi dua sinyal dikatakan tidak koheren dan jika harga fungsi koheren berharga satu maka sinyal dikatakan mempunyai koherensi yang tinggi.

TATAKERJA

Metode Kerja

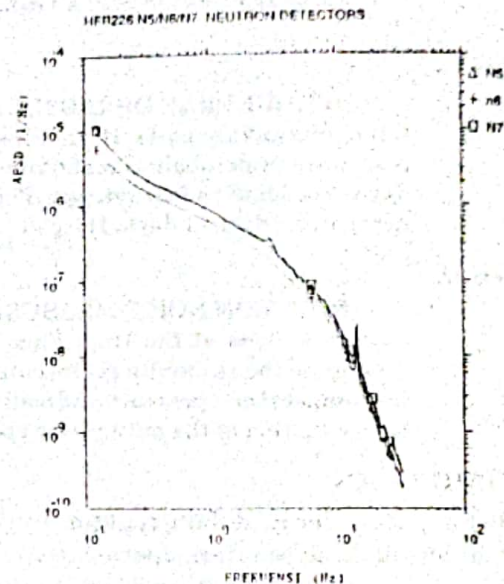
Data eksperimen diambil dari High Flux Reactor di Netherland. Tiga detektor CIC digunakan sebagai detektor neutron. Selama eksperimen data direkam dalam pita magnetik tetapi sebelumnya dilakukan analisis dengan *on-line*. Pengukuran dilakukan pada daya 45 MW dengan laju pencacahan 64 cuplikan/detik selama 1 jam. Akuisisi data, proses sinyal dan posisi detektor disajikan pada Gambar 1.

Alat

- Detektor CIC
- Modem
- Isolasi Amplifier
- Sistem komputer
- Tape recorder

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dihitung dengan menggunakan program FASTAP yang dianalisis dalam domain frekuensi. Kerapatan spektral daya (APSD) pada masing-masing kanal ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. APSD untuk kanal N5, N6 dan N7 (Frekuensi Max. 32 Hz)

Perubahan reaktivitas ditentukan dengan menggunakan persamaan 1, suku pertama dan keduanya dihilangkan karena sangat kecil pada daya tinggi.

Jadi

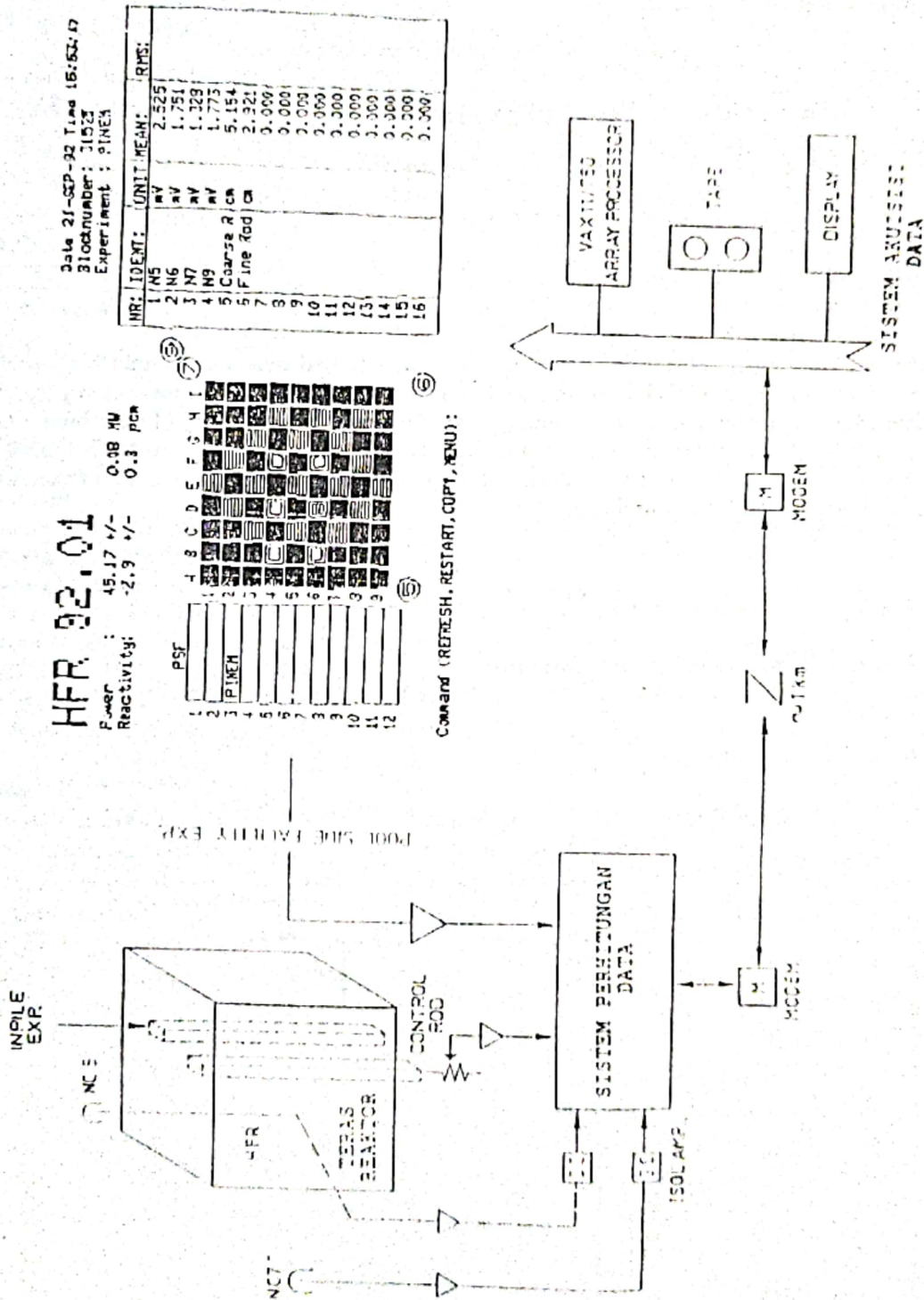
$$\int W(2\pi f) df = |T(2\pi f)|^2 \int |\rho(2\pi f)|^2 df \quad (6)$$

Harga $|T(2\pi f)|$ diambil pada puncak frekuensi yang dari Gambar 2 tampak puncak frekuensinya adalah 14,5 Hz.

Jndi dalam hal ini $|T(2\pi f)|$ dianggap konstan dan berdasarkan perhitungan untuk HFR, $|T(2\pi f)| = 0,95 s^{-1}$.

$\int W(2\pi f) df$ dihitung dari fungsi APSD dengan menghitung luas puncak. Puncak dari ketiga detektor dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil $\int W(2\pi f) df$ dan reaktivitas berdasarkan pada luas puncak 13- 16 Hz dapat dilihat pada Tabel 1. Ketiga harga reaktivitas hampir sama, ini menunjukkan bahwa puncak 13-16 Hz sesungguhnya disebabkan oleh reaktivitas secara global. Melalui fungsi APSD, efisiensi detektor neutron juga dapat ditentukan dengan,



Gambar 1. Sistem Akuisisi Data dan Proses Sinyal

$$\frac{\overline{q^2}}{q} = \frac{APSD(f) \cdot i}{2}$$

dalam hal ini i = arus (Ampere).

(7) Fungsi koheren berbagai kombinasi ditunjukkan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sinyal sangat koheren ($\gamma_{xx}^2 \approx 0,99$), ini menunjukkan bahwa hubungan antara

Tabel 1. Harga perubahan reaktivitas

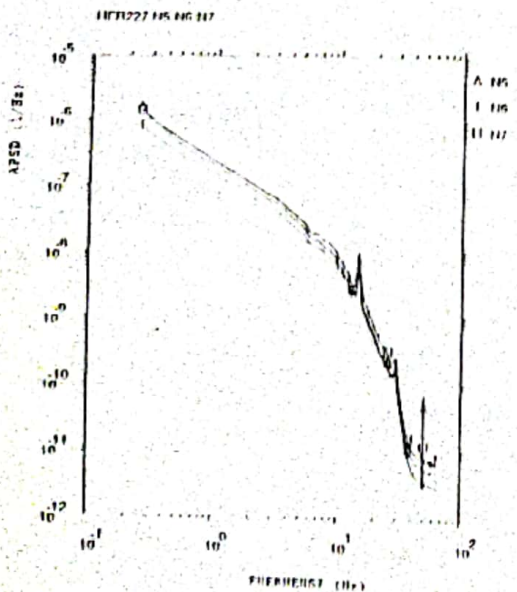
Kanal	RMS (0,1-32 Hz)	$\int W(2\pi f) df$ (13-16 Hz)	Reaktivitas (\$)
1 (N5)	0,2228 E-02	2,544. 10-8	1,67 E-04
2(N6)	0.1774 E-02	2,062. 10-8	1,51 E-04
3(N7)	0,2230 E-02	3,308. 10-8	1,91 E-04

Pada frekuensi tinggi derau putih sangat dominan karena fungsi pindah berkurang dengan makin tingginya frekuensi. Dari Gambar 3 terlihat bahwa diatas 30 Hz derau putih sangat dominan. Hasil APSD (f) pada frekuensi 50 Hz dan efisiensi ketiga detektor ditunjukkan dalam Tabel 2.

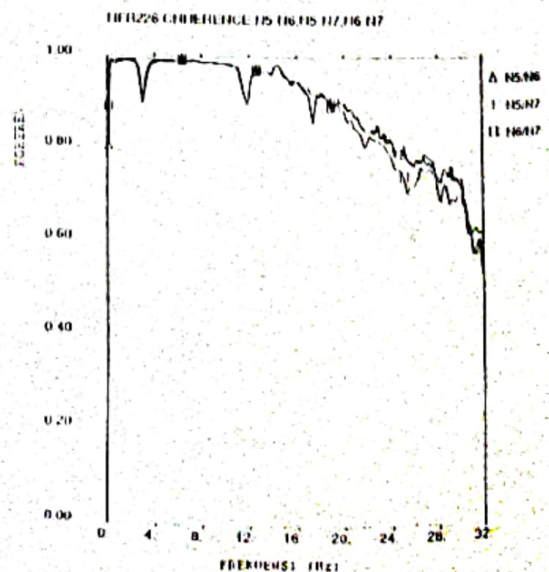
ra sinyal-sinyal masukan sangat baik. Jadi tidak ada derau lain yang ada dalam pengukuran. Puncak kecil terdapat pada kombinasi kanal N5/N7 dan N6/N7 sedangkan N5/N6 tidak terdapat puncak, ini berarti ada vibrasi pada kanal N7.

Tabel 2. Efisiensi Detektor

Kanal	APSD (56 Hz)	i (μ A)	Efisiensi (C)
1 (N5)	4,0 E-11	92,00	1,80 E-15
2 (N6)	2,5 E-11	59,47	0,74 E-15
3 (N7)	6,5 E-11	41,87	1,36 E-15



Gambar 3. APSD untuk kanal N5, N6 dan N7 (Frekuensi Max. 64 Hz)



Gambar 4. Fungsi Koheren untuk kanal N5, N6 dan N7.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan metode analisis de-
rau perubahan reaktivitas yang sangat kecil
masih mudah diukur. Ketiga sinyal sangat ko-
heren ($\gamma_{xx}^2 = 0,99$).

DAFTAR PUSTAKA

1. Joseph, A.T., Reactor noise, Rowman and Little field, Inc, New York (1963).
2. Turkcan, E., Proposal for power reactor noise, Fysica Memo 197, Petten (February 1972).
3. Julius, S. B., Random Data "Analysis and measurement procedures", Willey-Interscience (1971).
4. Uhrig, E., Random noise techniques in nuclear reactor system, The Ronal Press Company (1970).
5. Turkcan, E., On-line monitoring of high flux reactor operation and nuclear fuel dynamics, ECN-88-181, Petten (November 1988).

DISKUSI

Budiono :

1. Batasan daya tinggi sampai sejauh berapa? Sedangkan uji cobanya saja hanya 30 MW. Apa buktinya dapat digunakan sampai 100 MW?
2. Jenis detektor netron apa yang digunakan? Bagaimana cara pengukurannya, apakah dengan digital atau analog? Bagaimana memfilternya?

Surian Pinem:

1. Disebut daya tinggi apabila ada pengaruh temperatur. Metode ini memang digunakan untuk daya tinggi. Buktinya sesuai dengan frekuensi.
2. Detektor yang digunakan adalah CIC. Pengukuran yang digunakan digital. Filter yang digunakan adalah High Pass Filter. Cara memfilternya tergantung pada sinyalnya, apabila sinyal sangat koheren berarti sinyal sudah baik.

Djoko HN :

1. Bagaimana tingkat kepercayaan anda terhadap data *noise* yang anda ambil ?
2. Berapa batas *malfunction* sistem reaktor (tinggi peak)?
3. Bagaimana alat yang digunakan? ADC untuk *mensampling noise*?

Surian Pinem :

1. Tingkat kepercayaan 100 % karena sesuai dengan teori.
2. Tidak ada *malfunction* terhadap sistem reaktor.
3. Alat yang digunakan Digital Signal Amplifier (DSA). Dalam ADC tidak ada *sampling noise*.