

APLIKASI METODE ANALISIS DERAU UNTUK PERKIRAAN KEEFEKTIPAN BATANG KENDALI REGULASI RSG-GAS *)

Uju Jujuratisbela,
Kristedjo, Tukiran, Surian Pinem, Jaka Iman

ABSTRAK

APLIKASI METODE ANALISIS DERAU UNTUK PERKIRAAN KEEFEKTIPAN BATANG KENDALI REGULASI RSG-GAS. Keefektipan reaktivitas suatu batang kendali Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy, RSG-GAS, diestimasi pada operasi daya tinggi segera setelah start-up. Proses-proses derau transien yang sebagian besar timbul dari peracunan produk fisi digunakan untuk mengestimasi keefektipan batang kendali yang didefinisikan sebagai rasio kovariansi dan variansi derau neutron dan gerakan berurutan batang kendali halus. Keefektipan secara fisis dapat dinyatakan dalam suku-suku kesetimbangan reaktivitas yang berkaitan dengan reaktivitas pengendalian dan umpan balik. Dalam makalah ini diintrodusir suatu cara penentuan sederhana keefektipan reaktivitas dengan menentukan rasio antara laju reaktivitas dan laju batang kendali pada saat reaktor kritis diberi gangguan reaktivitas. Keefektipan reaktivitas batang kendali regulasi 0,475 sen/mm.

ABSTRACT

APPLICATION OF NOISE ANALYSIS FOR ESTIMATION OF REGULATION ROD EFFECTIVENESS IN THE RSG-GAS. The reactivity effectiveness of a control rod is estimated for the multipurpose research reactor G.A. Siwabessy, RSG-GAS, at automatic full-power operation shortly after start-up. Transient noise processes arising largely from fission-product poisoning are fully utilized to arrive at estimates of the control-rod effectiveness defined as the covariance-to-variance ratio for neutron noise and fine-rod's successive movements. The physical meaning of the effectiveness is explained in terms of a reactivity balance associated with control and feedback reactivity. In this paper, the simple technique for determination of reactivity effectiveness of control rod by ratio determination of reactivity and velocity rate of the control rod due to reactivity disturbances in the high power of steady state operation. The reactivity effectiveness of regulation control rod is 0.475 cent/mm.

PENDAHULUAN

Keefektipan reaktivitas didefinisikan dalam besaran nilai reaktivitas diferensial/total teras akibat perubahan reaktivitas selama operasi daya yang terjadi karena adanya fraksi bakar elemen bakar, peracunan produk fisi, dan operasi pengendalian reaktor. Dalam kesetimbangan reaktivitas, reaktivitas total teras (R_t) merupakan jumlah dari nilai reaktivitas semua batang kendali (R_c), reaktivitas umpan balik pada operasi daya (R_f), dan reaktivitas gangguan (R_g) dari berbagai proses random.

$$R_t = R_c + R_f + R_g \quad (1)$$

Pada operasi kritis dengan periode lebih besar dari orde jam, $R_t = 0$ dalam operasi daya konstan. Dalam skala waktu lebih pendek, R_t berfluktuasi

sekitar nol. Derau neutron dan perubahan posisi batang kendali pada periode waktu operasi reaktor pendek, digunakan untuk memperkirakan keefektipan reaktivitas (R_c) suatu batang kendali saat operasi reaktor. R_c dinyatakan dalam perbandingan antara kovarian fluktuasi daya reaktor relatif terhadap perubahan posisi batang kendali dan varian perubahan posisi batang kendali. R_c secara fisis diinterpretasikan sebagai kesetimbangan reaktivitas berdasarkan fungsi pindah batang kendali terhadap fluks neutron. Berdasarkan arti fisis dari R_c tersebut, pengukuran derau dan analisis neutron akan dilakukan di RSG-GAS pada operasi daya tinggi sesaat setelah reaktor start-up. Dengan adanya keterkaitan kesetimbangan reaktivitas dan sifat bergantung waktu dari pengaturan reaktivitas akan dapat

ditentukan keefektipan reaktivitas batang kendali selama operasi mode otomatis.

Laju reaktivitas batang kendali regulasi yang merupakan besaran penting dari sifat batang kendali dapat ditentukan dengan mengetahui besar perubahan reaktivitas teras dalam jangka waktu ketika terjadi perubahan reaktivitas tersebut. Pada operasi reaktor dengan mode manual dengan tingkat daya tertentu dilakukan gangguan reaktivitas luar yang berasal dari perubahan posisi batang kendali. Respon teras reaktor terhadap gangguan reaktivitas yang berupa fluks neutron dan reaktivitas terganggu dapat diamati dengan menggunakan metode kinetika balik yang perangkat lunaknya terkandung dalam sistem DSA-2⁽⁵⁾. Dengan mengetahui laju batang kendali pada saat tersebut, maka keefektipan batang kendali dapat ditentukan.

TEORI

Tingkat fluks neutron selalu berfluktuasi secara otomatis atau secara manual melalui suatu sistem kendali reaktor, yang menghasilkan fluktuasi-fluktuasi disekitar harga tertentu. Dalam permulaan operasi daya penuh segera setelah start-up terdapat suatu regulasi yang cukup berarti sebagai akibat dari perubahan reaktivitas transien yang besar karena adanya peracunan produk fisi. Oleh karena itu, satu batang kendali atau bank sering dinaik-turunkan untuk mengimbangi fluktuasi fluks neutron.

Analisis derau saat ini⁽¹⁾, mempergunakan kedua fluktuasi yang berasal dari fluks neutron dan gerakan batang kendali untuk menentukan derajat korelasi dari keduanya. Morishima dan Türkcan⁽²⁾ menggunakan estimasi dibawah ini untuk menentukan keefektipan batang kendali.

V_{nn} = Variansi derau neutron [% daya penuh]

V_{cc} = Variansi gerakan batang kendali [cm²]

V_{cn} = Kovariansi di antara keduanya [% cm]

Keefektipan batang kendali (R_e) yang merupakan rasio kovarian dan varian dapat dinyatakan sebagai:

$$R_e = V_{cn} / \sqrt{V_{nn} V_{cc}} \text{ in \% / cm} \quad (2)$$

dalam hal ini

$$\sqrt{V_{nn} / V_{cc}} \leq R_e \leq \sqrt{V_{nn} / V_{cc}} \quad (3)$$

karena batas untuk koefisien korelasi silang $V_{cn} / \sqrt{(V_{nn} \cdot V_{cc})}$ berkisar antara -1 dan 1.

Dengan menyatakan V_{cn} dan V_{cc} dengan rapat spektrum daya silang (RSDS), $P_{cn}(f)$, dan rapat spektrum daya pribadi (RSDP), $P_{cc}(f)$, dengan f =frekuensi dalam Hz, maka

$$R_e = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} P_{cn}(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} P_{cc}(f) df} \quad (4)$$

Ganti $P_{cn}(f)$ dalam (4) dengan $P_{cc}(f) \cdot T_{cn}(f)$, dengan $T_{cn}(f)$ merupakan fungsi pindah keseluruhan, maka

$$R_e = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} P'_{cc}(f) \cdot T_{cn}(f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} P_{cc}(f) df} \quad (5)$$

dengan $P'_{cc}(f)$ merupakan RSDP yang dinormalisir terhadap satuan varian

$$P'_{cc}(f) = \frac{P_{cc}(f)}{\int_{-\infty}^{\infty} P_{cc}(f) df} \quad (6)$$

Integran dari sisi kanan persamaan (5) dapat dinyatakan dalam suku-suku integral Fourier dari

produk konvolusi $C_{cc}(t)$ dengan $H_{cn}(t)$, di mana $C_{cc}(t)$ adalah fungsi kovarian pribadi dengan harga awal $C_{cc}(0) = 1$ dan $H_{cn}(t)$ merupakan fungsi respon impuls yang berhubungan dengan $T_{cn}(f)$. Garis besar proses transformasi sinyal kontinyu ke sinyal diskrit antara lain dapat dilihat pada buku J.S. Bendat and A.G. Piersol⁽³⁾. Dengan melakukan integrasi terhadap f , diperoleh:

$$R_e = \int_0^{\infty} C_{cc}(-t) \cdot H_{cn}(t) dt \quad (7)$$

Hal ini berarti bahwa rasio R_e menunjukkan respon total fluks neutron yang berada dalam gerakan-gerakan berurutan batang kendali, $C_{cc}(t)$, melalui keseluruhan dinamika teras reaktor, $H_{cn}(t)$, baik neutronik maupun termohidraulik.

Metode kinetika balik dengan dasar utama teori kinetika neutron yang digunakan untuk mengetahui besar gangguan fluks neutron dan reaktivitas teras dapat dilihat pada^(1,5). Dengan asumsi nilai reaktivitas diferensial batang kendali (W) tidak terlalu berubah selama operasi reaktor dan fungsi pindah neutron terhadap reaktivitas dinyatakan dengan konstanta gain (G) dalam daerah frekuensi 0,01 sampai 10 Hz, maka R_e dapat dinyatakan dengan :

$$R_e = W \cdot R_r \cdot G \quad (8)$$

dalam hal ini $R_r = (\text{Kovariansi antara } R_t \text{ dan } R_e) / (\text{variansi } R_e)$

TATA KERJA

Pengukuran dilakukan di RSG-GAS pada daya tinggi 12 MW dengan mode operasi otomatis. Fluktuasi fluks neutron diamati melalui kanal pemonitor daya reaktor JKT04 DX001. Data derau neutron tersebut berguna untuk penentuan variansi dan rapat spektrum daya neutron pribadi. Untuk mengetahui respon teras reaktor terhadap

perubahan reaktivitas kecil yang berasal dari gerakan batang kendali, dilakukan eksperimen pemasukan dan pengeluaran reaktivitas dengan cara memasukkan dan mengeluarkan batang kendali dari dan ke dalam teras reaktor. Dari eksperimen tersebut, besar kecepatan reaktivitas (laju reaktivitas) dan besar kecepatan (laju) batang kendali dapat ditentukan. Rasio dari kedua besaran tersebut dapat digunakan untuk menentukan keefektipan batang kendali. Baik untuk eksperimen derau neutron maupun untuk eksperimen nilai reaktivitas batang kendali digunakan sistem DSA-2 untuk mencacah dan menyimpan data. DSA-2 dilengkapi pula dengan beberapa perangkat lunak untuk manipulasi data derau.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Rapat spektrum daya pribadi (RSDP) dari data eksperimen derau neutron EXP05.DAT, EXP09.DAT dan EXP10A.DAT melalui kanal JK04 DX001 pada tingkat daya reaktor 2 KW, 252KW, dan 12 MW dapat dilihat pada **Gambar 1**.

2. Pengaruh perubahan reaktivitas yang berasal dari gerakan batang kendali regulasi terhadap reaktivitas teras dan fluks neutron pada tingkat daya 600 W (REAC02.DAT) dan 12 MW (REAC10.DAT) yang diamati lewat JKT04 DX001 dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

Pembahasan

Pada Gambar 1 tampak bahwa kurva RSDP JKT04 DX 001 mempunyai bentuk dengan

kecendrungan adanya frekuensi patah di bawah 10 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa lebar pita frekuensi dari sistem instrumentasi yang digunakan jauh lebih kecil dibanding besar frekuensi patah RSG-GAS⁽⁴⁾ (19,9 Hz) secara teoritis. Setelah dilakukan pengukuran, ternyata lebar pita frekuensi dari sistem instrumentasi JKT04 DX001 sebesar 6 Hz (lihat Gambar 4).

Dari Gambar 2 (REAC02.DAT; 600W), dengan menggunakan regresi linier dari kurva-kurva reaktivitas saat dilakukan gangguan reaktivitas, dapat ditentukan rerata besar kecepatan reaktivitas (laju reaktivitas) batang kendali regulasi (V_r) = 0,2405 sen/sec. Laju batang kendali selama dilakukan eksperimen sama dengan besar perubahan posisi batang kendali dibagi waktu yang diperlukan untuk menjalani perubahan posisi tersebut. Rerata laju batang kendali (v) = 0,502 mm/sec. Keefektipan batang kendali regulasi $V_{R1} = V_r/v = 0,4791$ sen/mm. Dengan cara yang sama pada kurva reaktivitas terganggu pada Gambar 3, diperoleh harga rerata kecepatan reaktivitas batang kendali regulasi 0,2444 sen/sec dan dengan rerata laju batang kendali 0,5190 mm/sec, diperoleh keefektipan batang kendali regulasi $V_{R2} = 0,4709$ sen/mm. Dari kedua hasil laju reaktivitas (0,2405 sen/sec dan 0,2444 sen/sec) dan keefektipan (0,4791 sen/mm dan 0,4709 sen/mm) batang kendali tersebut menunjukkan, bahwa kondisi teras reaktor yang hampir sama pada saat dilakukan eksperimen menghasilkan laju reaktivitas dan keefektipan batang kendali yang hampir sama pula meskipun tingkat daya reaktor saat eksperimen berbeda. Rerata keefektipan batang kendali regulasi 0,475 sen/mm. Sebagai bahan perbandingan, harga perhitung desain teras kerja pada SAR untuk keefektipan batang kendali = 0,653 sen/mm. Karena kondisi teras desain

berbeda dari kondisi teras saat dilakukan pengukuran dan juga belum tersedia data hasil perhitungan atau pengukuran dengan metode lain untuk teras aktual saat dilakukan pengukuran, maka harga tersebut belum dapat dikonfirmasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Rerata keefektipan batang kendali regulasi 0,475 sen/mm.

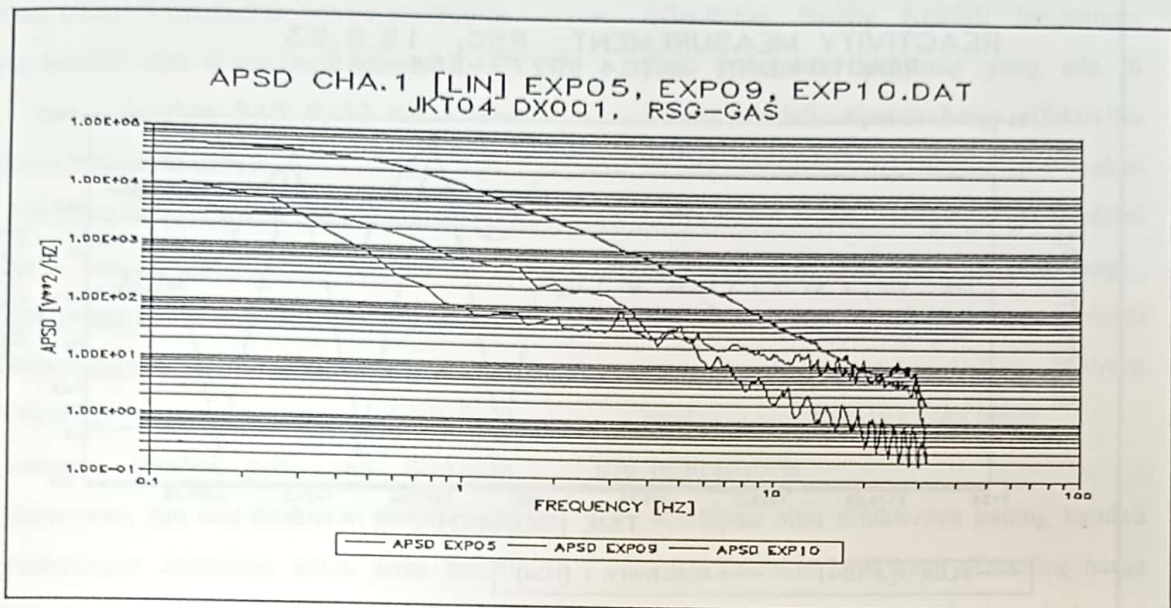
Saran

Pemonitor posisi batang kendali baik untuk masing-masing batang kendali maupun untuk bank diperlukan bukan saja untuk operasi normal melainkan juga untuk eksperimen. Sebaiknya segera dipasang pemonitor posisi batang kendali paling tidak untuk batang kendali regulasi dan bank.

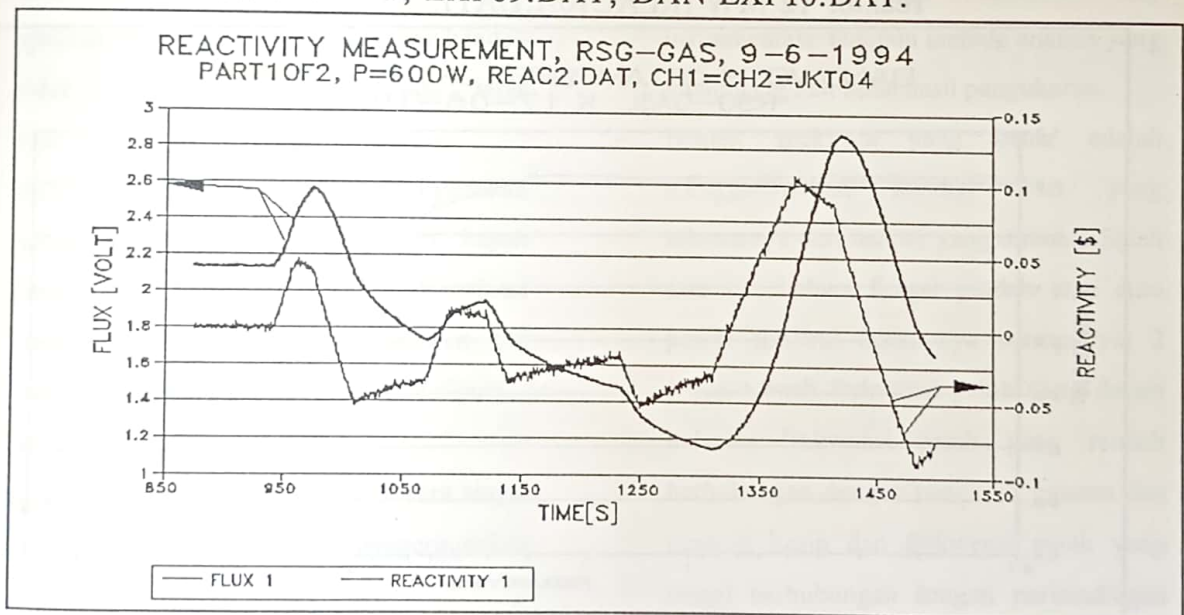
DAFTAR PUSTAKA

1. R. E. Uhrig, Random noise techniques in nuclear reactor system, The Ronald press company, New York, 1970.
2. N. Morishima and E. Türkcan, Application of noise analysis for estimation of control rod effectiveness in the HFR Petten and Borselle PWR during the xenon transient, ECN-87-146, Petten, October 1987.
3. J.S. Bendat and A. G. Piersol, Random Data Analysis and Measurement Procedures, Wiley-Interscience, a division of John Wiley & Sons. Inc., New York, 1971.
4. BATAN, Safety Analysis Report, Rev.7, Sept., 1987.

5. NN, ECN, Dynamic Signal Analyzer,
DSA-2 (Version 1.0, March 1993).



Gambar 1 : RSDP [logaritmik] kanal JKT04 DX001 pada tingkat daya reaktor 2 KW, 252 KW, dan 12 MW dengan data derau masing-masing EXP05.DAT, EXP09.DAT, DAN EXP10.DAT.



Gambar 2: Perilaku reaktivitas dan respon fluks neutron RSG-GAS terhadap variasi reaktivitas dari batang kendali regulasi pada tingkat daya reaktor 600 W (REAC2.DAT).

Tanya Jawab.**1. Darwis Isnaini**

Didalam makalah disebutkan bahwa keefektifan batang kendali dari eksperimen sebesar 0,475 sen / mm sedangkan SAR 0,653 sen / mm (terdapat perbedaan 27%).

- Apa yang menyebabkan perbedaan sebesar itu ?
- Apa pengaruhnya terhadap operasi reaktor ?

Uju Jujuratisbela

- Penyebab yang paling utama adalah tidak samanya kondisi pada saat dilakukan eksperimen dan saat dilakukan perhitungan. Perhitungan dilakukan untuk teras bersih dan dingin dengan kondisi batang kendali semua di dalam dan di luar teras reaktor. Sedang pada saat dilakukan eksperimen , teras sudah terkontaminasi (neutron spontan, gamma) dan posisi batang kendali tidak semua di dalam dan di luar teras reaktor.
- Keefektifan batang kendali dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan kapan batang kendali harus diganti. Untuk maksud tersebut perlu dilakukan pengukuran dan perhitungan yang akurat untuk teras aktual.

2. Usman Sudjadi

Mana sinyal yang membandingkan antara sinyal biasa dan sinyal yang mempergunakan Transformasi Fourier ?

Uju Jujuratisbela

- Sinyal-sinyal yang belum mempergunakan Transformasi Fourier Cepat (TFC) dapat dilihat pada gambar 2 dan 3. Sedangkan sinyal yang sudah mempergunakan TFC ada pada gambar 1. Ciri yang menunjukkan bahwa telah digunakan TFC adalah sinyal-sinyal berdomain frekwensi. Sedang sinyal

yang belum digunakan TFC berdomain waktu.

3. T.A. Budiono

- Efektivitas Batang Kendali bergantung pada konsentrasi penyerap yang ada di Batang kendali. Apakah harga efektifitas Batang Kendali yang terukur merupakan harga yang benar, mengingat konsentrasi penyerap Batang Kendali sudah berkurang.
- Bentuk spektrum bagaimana yang menjadi acuan untuk menentukan bahwa spektrum terukur merupakan data yang benar.

Uju Jujuratisbela

- Meskipun nilai efektifitas batang kendali (BK) terukur lebih kecil dibanding harga desain yang secara teoritis sesuai dengan penurunan konsentrasi penyerap dalam BK, tapi masih diperlukan beberapa koreksi baik dari kondisi teras maupun dari instrumentasi maupun metode analitis yang menunjang ketelitian hasil pengukuran.
- Bentuk spektrum yang benar adalah menggambarkan kondisi fisis yang sebenarnya dari reaktor yang diamati. Salah satu ciri bahwa fungsi pindah atau auto power spectral densitynya mempunyai 2 (dua) buah frekwensi patah yang dalam hal ini frekwensi patah yang rendah berhubungan dengan pengaruh gamma dan neutron kasiap dan frekwensi patah yang tinggi berhubungan dengan perbandingan β / e . Untuk maksud tersebut diperlukan instrumentasi yang dapat melihat kedua frekwensi patah tersebut. Setelah itu baru dilakukan pemilihan derau neutron yang baik secara statistik, antara lain dengan melihat amplitudo probability densitynya.