

## PENENTUAN FUNGSI RESPONS FREKUENSI UMPAN BALIK REAKTIVITAS RSG G.A. SIWABESSY

Surian Pinem, Tukiran, Uju Jujuratisbela  
Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

PENENTUAN FUNGSI RESPONS FREKUENSI UMPAN BALIK REAKTIVITAS RSG G.A. SIWABESSY. Penentuan umpan balik reaktivitas dari suatu reaktor sangat penting dalam komisioning untuk keselamatan operasi reaktor. Umpan balik reaktivitas timbul karena perubahan daya, laju alir dan temperatur masukan pendingin. Penentuan koefisien reaktivitas statik terutama koefisien reaktivitas daya merupakan proses untuk mengukur koefisien reaktivitas dinamik. Koefisien reaktivitas dinamik merupakan umpan balik reaktivitas dalam keadaan transien. Koefisien reaktivitas daya dinamik pada umumnya dievaluasi dalam frekuensi *domain* agar dapat digunakan untuk mempelajari stabilitas dari sistem. Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran tidak berbeda jauh pada frekuensi rendah.

### ABSTRACT

DETERMINATION OF REACTIVITY FEEDBACK FREQUENCY RESPONSE FUNCTION ON RSG G.A. SIWABESSY. Determination of feed back reactivity coefficient of a reactor is important during commissioning for reactor operation safety. The reactivity feedback come due to change in power, flow and coolant inlet temperature. Determination the static coefficients, particularly the power coefficient of reactivity involved process to measure the dynamic reactivity coefficient. The dynamic power coefficient also know as the reactivity feedback transfer function in transient state. The dynamic power coefficient normally evaluated in frequency domain order to used for study stability of the system. The comparison in calculated and measured values is reasonably good in lower frequencies.

### PENDAHULUAN

Pengukuran umpan balik reaktivitas reaktor adalah salah satu kegiatan yang sangat penting selama komisioning operasi reaktor. Umpan balik reaktivitas timbul karena perubahan daya, laju alir dan temperatur masukan pendingin. Koefisien reaktivitas daya dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu statik dan dinamik. Koefisien reaktivitas daya statik adalah perubahan reaktivitas bila reaktor dinaikkan dari satu daya stabil.

Koefisien reaktivitas daya dinamik adalah perubahan reaktivitas selama reaktor dalam keadaan transien yang diambil dari keadaan stabil ke keadaan stabil yang lain. Hal ini mengembalikan efek dari konstanta waktu perpindahan panas pada perubahan reaktivitas dan secara asimtot mendapatkan batas harga dari koefisien reaktivitas statik. Koefisien daya dinamik umumnya dijelaskan dalam frekuensi *domain* dan pada frekuensi nol mewakili koefisien daya statik. Koefisien daya dinamik juga diketahui sebagai fungsi respons frekuensi umpan balik reaktivitas daya.

Pengukuran koefisien reaktivitas daya statik dilakukan dengan menaikkan posisi batang

kendali dari tingkat daya stabil ke tingkat daya stabil yang lain sedangkan batang kendali harus sudah dikalibrasi dengan baik. Perhitungan fungsi respons frekuensi umpan balik reaktivitas dapat dilakukan dengan eksperimen uji batang jatuh. Pada penelitian ini uji batang jatuh disimulasi pada komputer dengan menggunakan kode komputer POKDYN. Kode komputer POKDYN dapat digunakan untuk menganalisa reaktivitas daya transien, batas laju batang kendali, periode reaktor dan operasi reaktor yang lain.

### TEORI

Uji batang jatuh dapat digunakan untuk menentukan/menghitung koefisien daya dinamik. *Profile* daya sebagai fungsi waktu untuk reaktivitas negatif dengan batang jatuh ditentukan dengan persamaan kinetik titik,

$$\frac{dP}{dt} = \left[ \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} \right] P(t) + \sum_j \lambda_j C_j(t) \quad (1)$$

$$\frac{dC_j}{dt} = \frac{\beta_j}{\Lambda} P(t) - \lambda_j C_j(t) \quad (2)$$

$$\rho(t) = \rho_o(t) + \rho_{fb}(t) \quad (3)$$

Penyelesaian persamaan (1) dan (2) dengan cara *invers*, yaitu memberikan berbagai daya maka dapat dihitung reaktivitas. Integral persamaan (2) dan kemudian disubstitusi hasil  $C_j(t)$  ke dalam persamaan (1), maka diperoleh :

$$\rho(t) = \beta + \Lambda \frac{d}{dt} (\ln P(t)) - \beta \int_0^\infty d\tau D(\tau) \rho(t - \tau) / P(t) \quad (4)$$

$$D(\tau) = \frac{1}{\beta} \int_j \beta_j \lambda_j e^{-\lambda_j \tau} \quad (5)$$

Jika reaktivitas eksternal,  $\rho_o$  diketahui kemudian reaktivitas umpan balik :

$$\rho_{fb}(t) = \rho(t) - \rho_o \quad (6)$$

Diketahui bahwa melalui integral masukan (penyebab) dan keluaran (efek) dituangkan seperti :

$$Y(t) = \int_0^\infty L(\lambda) X(t - \lambda) d\lambda \quad (7)$$

dimana  $Y(t)$  dan  $X(t)$  masing-masing merupakan keluaran dan masukan dan  $L(\lambda)$  adalah fungsi respons masukan dari sistem.

Dalam hal ini perubahan daya  $\Delta P(t) = P(t) - P_o$  adalah masukan dan  $\rho(t)$  adalah keluaran. *Domain* waktu (time domain) dari koefisien reaktivitas daya dinamik diketahui sebagai fungsi respons impuls. Hal tersebut adalah :

$$\rho_{fb}(t) = \int_0^\infty K_p(\lambda) \Delta P(t - \lambda) d\lambda \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Masukan } t - \lambda &= \lambda' \\ -d\lambda &= d\lambda' \end{aligned}$$

$$\text{Kemudian } \rho_{fb}(t) = - \int_0^\infty K_p(t - \lambda') \Delta P(\lambda') d\lambda'$$

$$\text{atau } \rho_{fb}(t) = \int_0^\infty K_p(t - \lambda') \Delta P(\lambda') d\lambda'$$

Dalam kenyataannya  $t = -\infty$  diwakili oleh  $t = 0$  maka :

$$\rho_{fb}(t) = \int_0^\infty K_p(t - \lambda') \Delta P(\lambda') d\lambda' \quad (9)$$

Untuk itu persamaan (8) dan (9) dapat digunakan untuk menghubungkan reaktivitas umpan balik dengan perubahan daya dalam *domain* waktu.

Hubungan antara  $\rho_{fb}$  dan  $\Delta P$  dalam frekuensi *domain* dilakukan dengan menyelesaikan

persamaan (8) atau (9) dengan transform Fourier, sehingga diperoleh :

$$\rho_{fb}(i\omega) = \int_0^T \rho_{fb}(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$= \int_0^T \int_0^t d\lambda K_p(t - \lambda) \Delta P(\lambda) e^{-i\omega t}$$

$$= \iint K_p(\mu) e^{-i\omega\mu} d\mu \Delta P(\lambda e^{-i\omega\lambda}) d\lambda,$$

$$t - \lambda = \mu$$

$$\rho_{fb}(i\omega) = K_p(i\omega) \Delta P(i\omega) \quad (10a)$$

$$\text{Juga, } \rho_{fb}(i\omega) = \int \rho_{fb}(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$= \iint d\lambda K_p(\lambda) \Delta P(t - \lambda) d\lambda e^{-i\omega t} dt$$

$$= \int K_p(\lambda) e^{-i\omega\lambda} d\lambda \int \Delta P(\mu) e^{-i\omega\mu} d\mu,$$

$$t - \lambda = \mu$$

$$= K_p(i\omega) / \Delta P(i\omega) \quad (10b)$$

Untuk itu persamaan (10) menunjukkan hubungan antara reaktivitas dan perubahan daya dalam frekuensi *domain*.

Hal ini dapat dilihat bahwa koefisien reaktivitas daya dinamik,  $K_p(i\omega)$  juga diketahui sebagai fungsi respons frekuensi umpan balik reaktivitas daya dan dapat ditentukan dengan :

$$K_p(i\omega) = \rho_{fb}(i\omega) / \Delta P(i\omega) \quad (11)$$

dimana  $\rho_{fb}(i\omega)$  dan  $\Delta P(i\omega)$  dihitung secara numerik dengan transform Fourier dan  $\rho_{fb}(t)$  dapat dihitung dengan *inverse* kinetik.

## SIMULASI KOMPUTER

Teori dan prosedur menentukan fungsi respons frekuensi umpan balik reaktivitas telah dijelaskan di atas. Untuk mendapatkan prosedur dan uji keandalan dari perangkat lunak yang digunakan dalam penyelesaian persamaan *inverse* kinetik titik persamaan (4) dan (5) dan transform Fourier dari  $P(t)$  dan  $\rho_{fb}(t)$ , uji batang jatuh disimulasi pada komputer menggunakan kode komputer POKDYN.

Dua uji batang jatuh disimulasi, pertama dengan memberikan reaktivitas 0,5 \$ dan kedua dengan memberikan reaktivitas - 10 \$.

**Kode Komputer POKDYN**

Umpan balik reaktivitas disimulasi dalam kode POKDYN menggunakan :

$$K_p(i\omega) = \sum_j \frac{\alpha_j}{1 + i\omega \lambda_j} \quad (12)$$

dimana  $\sum_j \alpha_j$  adalah koefisien daya statik dan  $\lambda_j$  konstanta waktu dari komponen umpan balik.

Jika 
$$K_p(t) = \frac{\alpha}{\tau} e^{-t/\tau} \quad (13)$$

Kemudian 
$$K_p(i\omega) = \int_0^{\infty} K_p(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$K_p(i\omega) = \frac{\alpha}{\tau} \int_0^{\infty} e^{-(1/\tau + i\omega)t} dt$$

$$K_p(i\omega) = \frac{\alpha}{1 + i\omega\tau}$$

Untuk itu  $K_p(i\omega)$  dari persamaan (12) adalah transform  $K_p(t)$  dari persamaan (13). Umpan balik reaktivitas :

$$\rho_{fb}(t) = \int_0^{\infty} \sum_{j=1}^N \alpha_j / \tau_j e^{-\lambda_j \tau_j \Delta P(t - \lambda)} d\lambda \quad (14)$$

atau

$$\rho_{fb}(t) = \int_0^{\infty} \sum_{j=1}^N \alpha_j / \tau_j e^{-(t - \lambda) / \tau_j} \Delta P(\tau) d\lambda \quad (15)$$

Persamaan (15) telah diprogram untuk menghitung umpan balik reaktivitas dalam kode POKDYN.

**Kode Komputer INVEK**

Kode komputer INVEK telah ditulis dari persamaan (4) dan (5) untuk menghitung reaktivitas jika *profile* daya sebagai fungsi waktu diberikan.

**Kode Komputer POFREF**

Kode komputer POFREF menghitung fungsi respons frekuensi umpan balik reaktivitas menggunakan persamaan (11) dimana  $\rho_{fb}(i\omega)$  dan  $\Delta P(i\omega)$  dihitung secara numerik dengan transform Fourier dari  $\rho_{fb}(t)$  dan  $\Delta P(t)$ .

**HASIL DAN EVALUASI**

Dua reaktivitas transien dianalisis :

1. Reaktor padam (semua batang kendali jatuh) memberikan reaktivitas - 10\$.

2. Batang jatuh ( satu batang kendali jatuh) memberikan reaktivitas -0,5 \$.

Model umpan balik diberikan dengan

$$K_p(i\omega) = \frac{\alpha}{1 + j\omega\tau}$$

dengan  $\alpha=14,535$  pcm/MWt dan  $\tau=2,0$  s digabung dengan kode POKDYN. Keluaran dari kode POKDYN yaitu *profile* daya sebagai fungsi waktu dimasukkan ke kode INVEK. Kemudian reaktivitas dan daya sebagai keluaran kode INVEK masuk ke kode komputer POFREF. Faktor amplitudo dan fase dari  $K_p(i\omega)$  dihitung dengan POFREF. Hasil yang diperoleh disajikan dalam Tabel 1 dan 2.

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa harga Tabel 1. Fungsi respons frekuensi umpan balik reaktivitas secara eksperimen

Frekuensi (Hz)	Magnitude $\epsilon$ /MWt	Fase (Deg.)
0,1 x 10 <sup>-3</sup>	1,90	- 180,01
0,5 x 10 <sup>-3</sup>	1,90	- 180,01
0,1 x 10 <sup>-2</sup>	1,90	- 180,01
0,5 x 10 <sup>-2</sup>	1,90	- 180,01
0,1 x 10 <sup>-1</sup>	1,90	- 181,15
0,5 x 10 <sup>-1</sup>	1,89	- 185,71
0,1	1,86	- 191,31
0,5	1,34	- 225,00
1,0	0,85	- 243,43
2,0	0,46	- 255,96

Tabel 2. Fungsi respons frekuensi umpan balik reaktivitas secara teoritis

Frekuensi (Hz)	Magnitude $\epsilon$ /MWt	Fase (Deg.)
0,1 x 10 <sup>-3</sup>	1,89	- 183,06
0,5 x 10 <sup>-3</sup>	1,89	- 183,06
0,1 x 10 <sup>-2</sup>	1,89	- 183,06
0,5 x 10 <sup>-2</sup>	1,89	- 183,06
0,1 x 10 <sup>-1</sup>	1,89	- 184,25
0,5 x 10 <sup>-1</sup>	1,80	- 187,30
0,1	1,77	- 192,91
0,5	1,26	- 252,00
1,0	0,75	- 283,43
2,0	0,36	- 312,00

teoritis dan eksperimen hampir sama pada frekuensi rendah.

## KESIMPULAN

Hasil kode komputer POFREF mempunyai hasil yang sama dengan harga sebenarnya pada frekuensi rendah tetapi pada frekuensi tinggi

berbeda dengan harga teoritis. Jadi kode komputer POFREF harus diuji ulang pada frekuensi tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Om Pal Singh, Surian Pinem, Tukiran, Uju Jujuratisbela dan Bakri Arbie, POKDYN a computer code for point dynamic analysis, IAEA-PRSG/INS/04/023/05 (1991).
2. Om Pal Singh, Lecture Note on Reactor Kinetic, IAEA/04/018 (1987).
3. John R. Lamarsh, Introduction to Nuclear Engineering, Addison- Wesley Publishing Company, INC (1966).
4. Keepin, G. R., Physics of Nuclear Kinetics, Addison-Wesley Publishing, INC (1965).