

EVALUASI KENAIKAN SUHU TERAS TRIGA MARK II AKIBAT TRANSIEN REAKTIVITAS

Dudung A.R., Putranto Ilham.Y.

Pusat Penelitian Teknik Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

EVALUASI KENAIKAN SUHU TERAS TRIGA MARK II AKIBAT TRANSIEN REAKTIVITAS. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh gambaran tentang stabilitas dan tanggapan transien suhu teras akibat perubahan reaktivitas selama operasi rutin. Dengan asumsi reaktor merupakan sistem linier tergumpal dengan neutron kasip satu grup, dan pengaruh fraksi hampa serta racun xenon terhadap reaktivitas diabaikan, maka evaluasi sistem dilakukan dengan metode Nyquist dan Root Locus. Dari hasil analisis dapat dinyatakan bahwa sistem selalu dalam keadaan stabil berapapun penguatannya, dan mempunyai tanggapan transien yang baik karena perbandingan koefisien suhu negatif air terhadap bahan bakar sama dengan 2,08 lebih kecil daripada batas atasnya, sama dengan 3,61. Dengan menggunakan diagram Bode dapat ditunjukkan pula bahwa sistem mempunyai kestabilan relatif dengan *gain margin* 11,48 dB dan *phase margin* 39° yang terjadi pada frekuensi-frekuensi jauh di atas frekuensi termal.

ABSTRACT

TRIGA MARK II CORE HEAT UP EVALUATION DUE TO REACTIVITY TRANSIENT. This research was carried out to obtain description of the stability and transient response of core temperature due to reactivity changes during routine operation. Assuming the reactor as lumped linear system with one group delayed neutron and neglecting void fraction effect and xenon poison, evaluation of the system has been determined by Nyquist and Root Locus methods. Analysis of the system shows that it is always stable no matter how large the magnitude factor is and it has a good transient response because the negative temperature coefficient ratio of water to fuel is equal to 2.08 which is less than 3.61 its upper limit. By Bode diagram, it can also be showed that the system has relative stability with 11.48 dB gain margin and 39° phase margin which occurs at frequencies much higher than thermal neutron frequency.

PENDAHULUAN

Di dalam Safety Analysis Report (SAR) untuk reaktor TRIGA MARK II dengan daya 1 Mwatt dinyatakan bahwa unsur pembatas (pulsing limit) ditentukan oleh tekanan hidrogen di dalam elemen bakar yang merupakan fungsi suhu. Batas maksimum tekanan untuk kelongsong setebal 0,51 mm adalah $1,24 \times 10^7$ Pa pada suhu kelongsong 100 °C atau suhu bahan bakar 1000 °C. Kondisi maksimum tersebut di atas berada jauh di atas kondisi reaktor ketika dioperasikan dengan penyisipan reaktivitas 2,1% secara mendadak, dimana suhu bahan bakar mencapai 719 °C dan tekanan hidrogen menjadi $4,14 \times 10^5$ Pa. Sehingga dapat dinyatakan bahwa reaktor dalam keadaan aman walaupun syarat-syarat ijin operasi tidak dihiraukan.

Di dalam penelitian ini dilakukan analisis keselamatan teras reaktor sebagai sistem dengan masukan dan keluaran sama seperti di dalam SAR yaitu perubahan reaktivitas sebagai masukan dan perubahan suhu teras sebagai keluaran, tetapi menitik beratkan pada stabilitas teras reaktor ketika reaktor itu dioperasikan secara rutin sehari-hari tidak lebih dari 3 jam. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh gambaran stabilitas sistem teras reaktor dan mengetahui bagaimana tanggapan transien suhu teras itu akibat adanya perubahan reaktivitas.

Dalam analisis ini, harga-harga parameter sistem seperti panas jenis bahan bakar, koefisien perpindahan panas di dalam teras, dan parameter neutron dianggap tetap sama dengan harga rata-ratanya untuk seluruh daerah suhu

operasi, sehingga teras reaktor dianggap suatu sistem linier tergumpal dengan neutron kasip satu grup. Begitu pula karena reaktor dioperasikan selama tidak lebih dari 3 jam dimulai dari keadaan dingin dan bersih, maka pengaruh fraksi hampa dan racun xenon terhadap reaktivitas diabaikan.

Untuk memperoleh fungsi alih sistem dilakukan pengukuran suhu bahan bakar dengan menggunakan IFE (Instrumented Fuel Element). Adapun data yang lainnya diambil dari SAR TRIGA MARK II 1000 Kw dan acuan-acuan lain mengenai reaktor TRIGA.

Analisis stabilitas dan tanggapan transien sistem dilakukan dengan metode Nyquist, Root Locus dan diagram Bode. Dari analisis diperoleh gambaran bahwa reaktor TRIGA MARK II Bandung ini beroperasi dalam kondisi stabil berapapun besarnya penguatan dan bagaimanapun bentuknya perubahan reaktivitas yang dapat dilakukan. Begitu pula reaktor ini mempunyai tanggapan transien yang baik tidak tergantung pada besarnya penguatan.

Hasil evaluasi diharapkan dapat dikembangkan dalam penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki stabilitas dan keselamatan teras reaktor.

BAHAN DAN TATA KERJA

Sistem umpan balik antara reaktivitas dan suhu teras secara skematik dapat digambarkan di bawah ini dalam bentuk diagram blok dengan masing-masing fungsi alihnya (Gambar 1).

Akibat konduktivitas termal antara bahan bakar dan kelongsong cukup besar, maka pada sistem tergumpal seperti gambar di atas tidak ada waktu tunda antara suhu bahan bakar dan suhu kelongsong. Persamaan-persamaan differensial untuk sistem umpan balik di atas adalah:

$$P = U_f \frac{dT_f}{dt} + P_w \quad (1)$$

$$P_w = U_w \frac{dT_w}{dt} + P_e \quad (2)$$

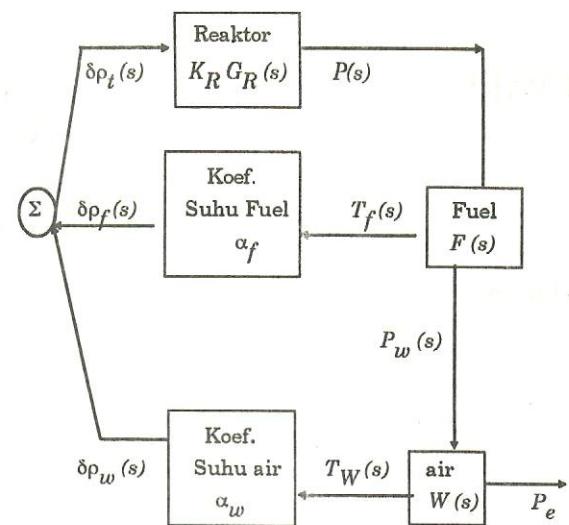
$$P_w = h (T_f - T_w) \quad (3)$$

T_f = suhu bahan bakar

T_w = suhu air pendingin

U_f = kapasitas kalor bahan bakar

U_w = kapasitas kalor air



Gambar 1: Diagram blok sistem teras dua lup.

h = koefisien perpindahan panas antara elemen bakar dan air

P_e = daya keluaran dari air

P_w = daya yang dipindahkan dari bahan bakar ke air.

Dengan metode ganguan kecil di sekitar daya konstan, persamaan (1),(2) dan (3) dapat dilinierisasikan dan dikombinasikan dalam bentuk Laplace sebagai berikut:

$$W(s) = \frac{h}{s [h (U_f + U_w) + U_f U_w s]} \quad (4)$$

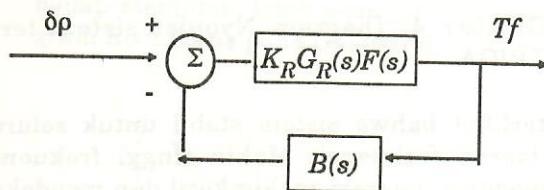
$$F(s) = \frac{(h + U_w s)}{s [h (U_f + U_w) + U_f U_w s]} \quad (5)$$

Dengan menggunakan rumus Mason, diagram blok di atas dapat diubah dan disederhanakan dengan reaktivitas sebagai masukan dan suhu bahan bakar sebagai keluaran menjadi seperti Gambar 2.

$$\begin{aligned}
 K_R G_R(s) F(s) &= \\
 & \frac{n_0 (s + \lambda)(h + U_w s)}{s1 (s + \beta/1) s [h (U_f + U_w) + U_f U_w s]} \\
 &= \frac{n_0 (s + \lambda)(h + U_w s)}{s^2 (s + \beta/1) [h (U_f + U_w) + U_f + U_w s]} \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$B(s) = \frac{(\alpha_w h + \alpha_f h + \alpha_f U_w s)}{(h + U_w s)} \quad (7)$$

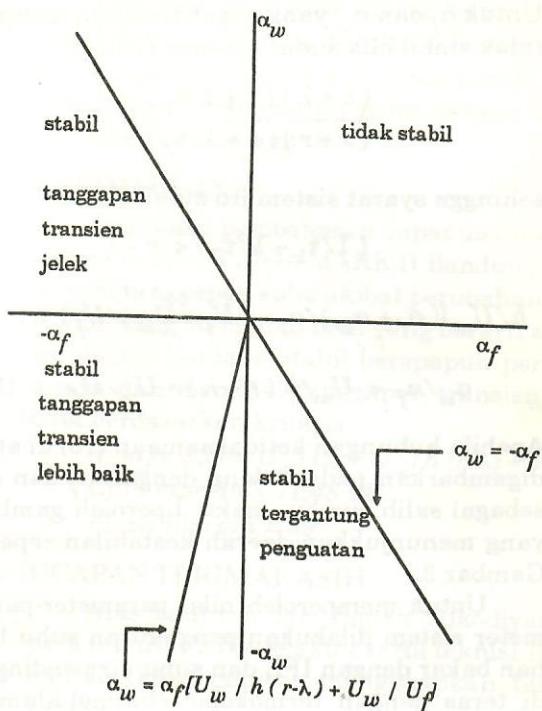
λ = konstanta peluruhan zat-zat hasil fisi
 $\beta/1$ = perbandingan fraksi neutron kasip terhadap umur neutron



Gambar 2. Diagram blok sistem lup tertutup

Fungsi alih sistem lup terbuka menjadi :
 $K_R G_R(s) F(s) B(s) =$

$$\frac{n_0(s + \lambda)(\alpha_w h + \alpha_f h + \alpha_f U_w s)}{s^2(s + \beta/1)[h(U_f + U_w) + U_f U_w s]} \\ = C \frac{(s + \lambda)(s + 1/\tau_1)}{s^2(s + r)(s + 1/\tau_2)} \quad (8)$$



Gambar 3. Daerah stabilitas tergantung pada parameter sistem dan α_w dan α_f .

Tabel 1. Hasil-hasil pengukuran

Daya reaktor (Kw)	Waktu	Reaktivitas batang kend. (\$)	Suhu IFE (0 °C)			Suhu air (0 °C)
			T1	T2	T3	
100	10.45	8,167	77 78	72 73	70 71	24,5
200	11.00	8,394	113 114	114 115	113 114	25,1
300	11.15	8,616	141 142	140 141	142 143	26,1
400	11.30	8,789	169 170	169 170	173 172	27,8
500	11.45	8,991	191 192	191 191	191 192	29,5
600	12.00	9,103	217 218	217 218	216 217	31,5
700	12.15	9,229	240 241	238 239	237 236	34,5

Untuk α_f dan α_w yang negatif, sistem menjadi tidak stabil bila sudut fasenya positif.

$$\frac{(s + \lambda)(s + 1/\tau_1)}{(s + r)(s + 1/\tau_2)} > 0$$

sehingga syarat sistem itu stabil adalah

$$(1/\tau_1 - 1/\tau_2) < r - \lambda \quad (9)$$

$$h/U_w [(\alpha_f + \alpha_w)/\alpha_f - (U_f + U_w)/U_f] < r - \lambda$$

$$\alpha_w/\alpha_f < U_w/h (r - \lambda) + U_w/U_f \quad (10)$$

Apabila hubungan ketidaksamaan (10) di atas digambarkan pada bidang dengan α_f dan α_w sebagai salib sumbu, maka diperoleh gambar yang menunjukkan daerah kestabilan seperti Gambar 3.

Untuk memperoleh nilai parameter-parameter sistem dilakukan pengukuran suhu bahan bakar dengan IFE dan suhu air pendingin di teras dengan termokopel chromel-alumel. Reaktor dioperasikan dengan daya step mulai dari 100 Kw sampai dengan 700 Kw. Data diam-bil pada saat reaktor dalam keadaan mantap. Hasil pengukuran tercantum pada Tabel 1.

HASIL DAN DISKUSI

Dari hasil pengukuran data parameter sistem dalam SAR diperoleh fungsi alih sistem lup terbu ka (persamaan 8) di atas sebagai berikut:

$$K_R G_R(s) F(s) B(s) =$$

$$\frac{3,16 \times 10^5 (s + 0,084)(s + 0,045)}{s^2 (s + 185)(s + 0,004)} \quad (11)$$

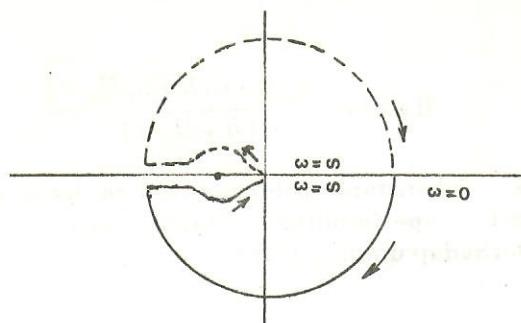
Bila penguatan dijadikan suatu variabel (K), maka persamaan (11) menjadi

$$K_R G_R(s) F(s) B(s) =$$

$$\frac{K(s + 0,084)(s + 0,045)}{s^2 (s + 185)(s + 0,004)} \quad (12)$$

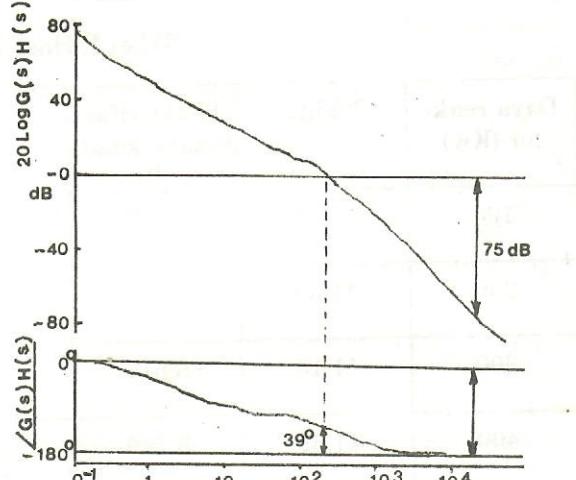
Diagram Nyquist untuk sistem di atas ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.

Perbandingan koefisien suhu negatif untuk air terhadap bahan bakar adalah $\alpha_w/\alpha_f = 2,79 \times 10^{-4}/1,34 \times 10^{-4} = 2,08$. Sedangkan ruas kanan persamaan (10) yang menjadi kriteria stabilitas sama dengan 3,61. Karena $2,08 < 3,61$ berarti sistem stabil dan mempunyai tanggap-an transien yang baik. Dari Gambar 4 di atas



Gambar 4. Diagram Nyquist sistem teras TRIGA.

terlihat bahwa sistem stabil untuk seluruh daerah frekuensi. Makin tinggi frekuensi, modulus diagram makin kecil dan mendekati titik $(-1,0)$, tapi tidak melingkupinya. Ini berarti bahwa semakin tinggi energi mayoritas neutron yang ada di teras maka stabilitas sistem teras makin berkurang. Tetapi sudah diketahui bahwa mayoritas neutron yang ada di teras TRIGA MARK II Bandung mempunyai stabilitas yang cukup besar dalam arti jarak terhadap keadaan tidak stabil cukup jauh. Hal ini lebih dikenal dengan istilah kestabilan relatif (relative stability) yang dapat dilihat lebih jelas pada diagram Bode pada Gambar 5 di bawah ini.



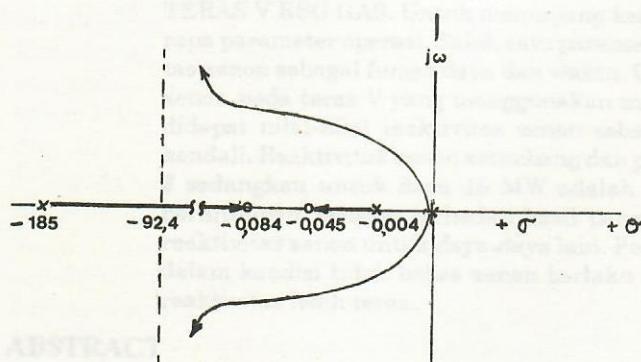
Gambar 5. Diagram Bode sistem teras TRIGA

Dari diagram Bode di atas terlihat bahwa sistem mempunyai tapal batas penguatan (gain margin) sebesar

$$GM = -20 \log \left| \frac{1}{K_R G_R(s) F(s) B(s)} \right|_{s=s_1} = 11,48 \text{ dB}$$

s_1 adalah frekuensi dimana sudut fase sistem -180° . Dan sistem itu mempunyai tapal batas sudut fase (phase margin PM) sebesar 39° . Dalam acuan [2] disebutkan bahwa sistem yang selalu diinginkan harus mempunyai spesifikasi $4 \text{ dB} < \text{GM} < 12 \text{ dB}$ dan $30^\circ < \text{PM} < 60^\circ$. Jadi reaktor TRIGA mempunyai stabilitas dan tanggapan transien yang baik.

Untuk melihat pengaruh penguatan terhadap stabilitas, lebih jelas terlihat pada diagram *Root Locus* pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram *Root Locus* sistem teras TRIGA

DAFTAR PUSTAKA

1. Schult, M.A., Control of Nuclear and Power Plant, Mc Graw-Hill Book Company, Inc. (1961).
2. Shinners Stanley, T. M., Modern Control System Theory and Application, Addison Wesley Publishing Company (1977).
3. PPTN, Laporan Analisa Keselamatan Reaktor TRIGA MARK II 100 kW, BATAN-PPTN, Bandung (1984).

Dari gambar di atas terlihat bahwa sistem stabil berapapun nilai penguatannya. Dengan adanya pole rangkap $s = 0$, maka sistem mempunyai kesalahan mantap sama dengan nol untuk masukan berbentuk *ramp*.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa reaktor TRIGA MARK II Bandung mempunyai tanggapan suhu akibat perubahan reaktivitas yang stabil dan baik yang berarti sistem itu dalam keadaan stabil berapapun penguatannya dan memiliki tanggapan transien yang baik berdasarkan kriteria

$$\alpha_w/\alpha_f = 2,08 < U_w/U_f + U_w/h \quad (r-\lambda) = 3,61$$

$$\text{Gain margin} = 11,48 \text{ dB}$$

$$\text{Phase margin} = 39^\circ$$

UCAPAN TERIMAKASIH

Atas bantuan dari Bapak Sukodiyat dan para teknisi Fisika Reaktor serta teknisi Teknologi Reaktor, penulis mengucapkan terimakasih.