

PENENTUAN REAKTIVITAS XENON UNTUK PENGOPERASIAN REAKTOR PADA TERAS V RSG GAS

Lily Suparlina, Tukiran, Sudarmono
Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENENTUAN REAKTIVITAS XENON UNTUK PENGOPERASIAN REAKTOR PADA TERAS V RSG GAS. Untuk menunjang kelancaran pengoperasian reaktor, diperlukan beberapa parameter operasi. Salah satu parameter yang diperlukan adalah besaran nilai reaktivitas xenon sebagai fungsi daya dan waktu. Untuk itu telah dilakukan pengukuran reaktivitas xenon pada teras V yang menggunakan metode kompensasi BANK. Dari hasil pengukuran didapat nilai-nilai reaktivitas xenon sebagai fungsi waktu dan fungsi ketinggian batang kendali. Reaktivitas xenon setimbang dan puncak untuk daya 18 MW adalah 3,97 \$ dan 14,13 \$ sedangkan untuk daya 15 MW adalah 4,20 \$ dan 12,01 \$. Dengan memprediksi hasil perhitungan Xensam terhadap hasil pengukuran, maka dapat pula ditentukan nilai-nilai reaktivitas xenon untuk daya-daya lain. Penentuan ketinggian batang kendali untuk operasi dalam kondisi tidak bebas xenon berlaku bila nilai reaktivitas xenon lebih kecil dari nilai reaktivitas lebih teras.

ABSTRACT

DETERMINATION OF XENON POISSONING REACTIVITY FOR POWER OPERATION AT THE FIFTH CORE OF RSG GAS. To support the continuity of reactor operation, one needs some operation parameters. One of the required parameters is xenon reactivity as a function of power and time. Regarding to the reason above the xenon reactivity measurement was carried out at the fifth core by using a bank compensation metode. From the measurement, one had the xenon reactivity values as a function of time and the height of the control rods. The xenon equilibrium and peak reactivity values for power level 18 MW are 3,97 \$ and 14,13 \$ meanwhile for power level 15 MW are 4,20 \$ and 12,01 \$. Having verified the Xensam code to the measurement result, one is able to determine the xenon reactivity for other power levels. The determination of control rods height where the core is not free from xenon is satisfied if the xenon reactivity values are less than the excess reactivity of the core.

PENDAHULUAN

Teras V merupakan salah satu teras transisi pada reaktor GAS sebelum mencapai teras setimbang. Teras ini mempunyai daya nominal 22 MW dengan 33 buah elemen bakar dan 8 buah elemen kendali.

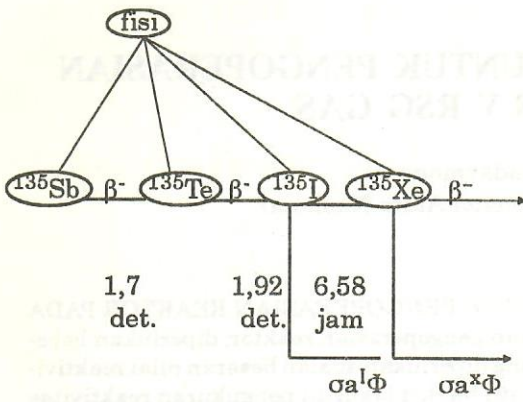
Untuk menentukan parameter operasi yang penting antara lain waktu mati reaktor dan harga reaktivitas racun xenon sebagai fungsi kondisi reaktor telah dilakukan pengukuran reaktivitas racun xenon yang terbentuk pada operasi daya tertentu untuk mendapatkan nilai reaktivitas xenon pada setiap ketinggian batang kendali. Dengan memprediksi hasil perhitungan program Xensam terhadap hasil pengukuran maka dapat ditentukan nilai-nilai reaktivitas racun xenon untuk daya-daya lain.

TEORI

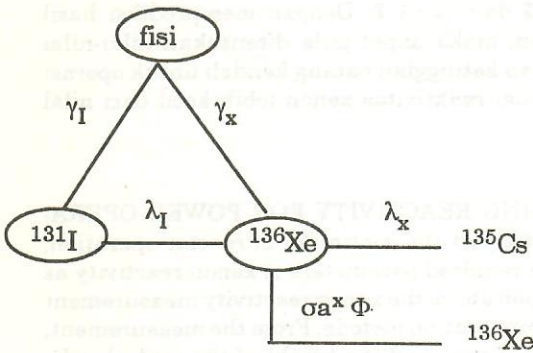
Xenon merupakan penyerap neutron yang sangat kuat, karena mempunyai tampang lintang serapan yang besar, sekitar 8×10^6 barn. Sebagian xenon merupakan hasil produk fisi langsung dari ^{235}U , tetapi kebanyakan merupakan hasil peluruhan dari ^{135}Te yang menghasilkan ^{135}I menjadi ^{135}Xe yang mempunyai waktu paruh sekitar 9,2 jam.

Karena waktu paruh ^{135}Sb menjadi ^{135}Te dan ^{135}Te menjadi ^{135}I yang sangat pendek, maka peluruhan tersebut dapat disederhanakan sebagai berikut, yakni dengan mengasumsikan bahwa semua ^{135}I akan meluruh langsung menjadi ^{135}Xe .

Dengan mendefinisikan bahwa kerapatan nomor massa dari kedua isotop tersebut adalah $I(r,t)$ dan $X(r,t)$ serta γ_I dan γ_x dianggap sebagai fraksi fisi efektif dari kedua isotop tersebut,



Skema 1-a



Skema 1-b

sementara λ_I dan λ_x adalah konstanta peluruhan, maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Iodine: } \frac{\gamma_I}{\gamma_t} = \gamma_I \Sigma \Phi (r,t) - \lambda_I I (r,t) \quad (1)$$

hasil fisi peluruhan iodine

$$\text{Xenon: } \frac{\delta_x}{\delta_t} = \gamma_x \Sigma \Phi (r,t) - \lambda_x X (r,t) + \lambda_I I (r,t) -$$

hasil fisi peluruhan xenon peluruhan iodine

$$\sigma a^x \Phi X (r,t) \quad (2)$$

penyerapan xenon

Karena $\frac{\gamma_I}{\gamma_t}$ sama dengan I(t) yang berpengaruh

pada γ_I maka $\frac{\gamma_x}{\gamma_t}$ juga dipengaruhi γ_I , seperti terlihat pada Persamaan 2.

Konstanta peluruhan :

$$I = 0,1035/\text{jam}$$

$$x = 0,0753/\text{jam}$$

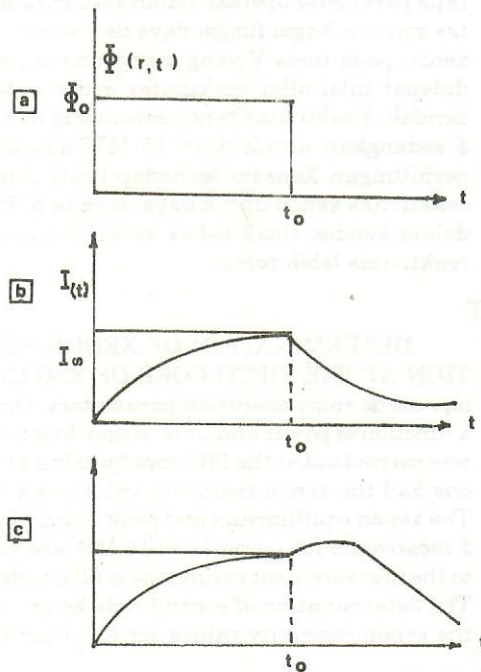
$$p = 0,0128/\text{jam}$$

Σ = tampang lintang makroskopik produk fisi f

γ = yield produk fisi

sehingga konsentrasi dari hasil fisi ini mengganggu operasi reaktor pada fluks konstan.

$$I_\infty = \frac{\gamma_I \Sigma \Phi_0}{\lambda_I} \quad X_\infty = \frac{(\gamma_I + \gamma_X) \Sigma \Phi_0}{\lambda_x + \sigma a^x \Phi_0} \quad (3)$$



Gambar 1. Sifat kualitatif dari konsentrasi ^{135}I dan ^{135}Xe pada saat dingin, start up dan shut down.

Dengan menganggap bahwa sifat sebagai fungsi ruang dan waktu yang diketahui, maka dengan mengintegrasikan persamaan iodine didapat:

$$I(r,t) = I(r,t) + \gamma_I \int_0^t dt' \Sigma(r,t') \Phi(r,t') \exp(-\lambda_I(t-t')) \quad (4)$$

Kemudian dengan mensubstitusikan solusi ini ke dalam persamaan xenon dan mengintegrasikannya untuk mendefinisikan konsentrasi ^{135}Xe sebagai fungsi ruang dan waktu.

$$X(r,t) = \left\{ X(r,t) + \int_0^t dt' [\lambda_I I(r,t') + \gamma_x \sum_f \Phi(r,t')] \right. \\ \left. \exp\left[\int_0^{t'} dt'' (\lambda_x + \sigma\alpha^x - \Phi(r,t''))\right] \right\} \\ \exp\left[-\int_0^t dt'' (\lambda_x + \sigma\alpha^x \Phi(r,t''))\right]$$

dimana bentuk dari $X(r,t)$ adalah seperti pada Gambar 1.a

Xensam adalah kode komputer yang mampu menyelesaikan persamaan racun reaktor tersebut di atas dengan integrasi numerik. Terdiri dari dua bagian yang menghitung kerapatan ^{135}Xe dan ^{149}Sm sebagai hasil fisi penyerap neutron untuk waktu operasi setelah *shutdown*. Daya reaktor/fluks neutron untuk fase sebelum *shutdown*, tampang lintang fisi bahan bakar, waktu operasi digunakan sebagai data masukan. Konversi kerapatan menjadi reaktivitas dilakukan dengan menggunakan faktor reaktivitas yang telah ditentukan oleh pengukuran atau perhitungan difusi neutron.

$X(r,t)$ bergantung pada \sum_a^x sehingga untuk $t = \infty$

$$X_\infty = \frac{(\gamma_I + \gamma_x) \sum_f \Phi_0}{\lambda_x + \sigma\alpha^x \cdot \Phi_0}$$

$$\Delta \rho = \frac{\sum_a^x}{\Sigma a} = \frac{N\alpha^x \sigma\alpha^x}{\Sigma a}$$

$$N_a = X(r,t) \text{ maka } \Delta \rho = \frac{X(r,t) \sigma\alpha^x}{\Sigma a}$$

TATAKERJA

Pengukuran reaktivitas xenon teras V telah dilakukan pada daya operasi 18 MW dan 15 MW yang dibagi dalam tiga fase pengukuran yaitu :

1. Pembangkitan xenon menuju xenon setimbang, reaktor beroperasi pada daya 18 MW selama 60 jam dan 15 MW selama 51,67 jam. Selama operasi posisi batang kendali dicatat setiap 30 menit untuk 2 jam pertama dan selanjutnya setiap 1 jam.
2. Pembangkitan xenon setelah reaktor padam menuju xenon puncak, reaktor beroperasi pada daya rendah. Setelah batang kendali mencapai posisi terbawah, reaktor segera dioperasikan menuju daya terendah yang

dapat dicapai. Untuk mengejar kenaikan konsentrasi xenon posisi batang kendali dicatat setiap 5 menit hingga mencapai posisi batang kendali maksimum yang terukur. Bila puncak xenon dicapai maka pengukuran diteruskan dengan fase 3 dengan daya yang sama dengan fase 2 sedangkan bila puncak xenon tidak tercapai dan posisi batang kendali sudah mencapai maksimum (600 mm) reaktor dipadamkan sampai dapat dikritisikan kembali pada daya rendah turun satu dekade dari fase 2.

3. Peluruhan xenon setelah reaktor padam, reaktor beroperasi pada daya rendah.

Metode pengukuran yang dilakukan adalah metode kompensasi BANK dengan mengotomatiskan batang kendali pengatur.

Peralatan yang digunakan adalah :

Reaktivimeter dan rekorder servogor 320

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 1, 2 serta Gambar 2 dan 3.

Tabel 1. Kondisi pengukuran xenon 18 MW dan 15 MW teras V

Daya (MW)	Fase	Posisi bank/REG-ROD	Keterangan
18	I	278 / 304	kritis
	II	346 / 346	setimbang
		400 / 222	kritis
	III	600 / 600	maks. terukur
15	III	600 / 525	kritis setelah padam
		266 / 266	akhir pengukuran
	I	268 / 274	kritis
		351 / 351	setimbang
470 / 481		kritis	
II	569 / 570	maks. terukur (puncak)	
	III	569 / 569	daya sama dengan fase II
		269 / 269	akhir pengukuran

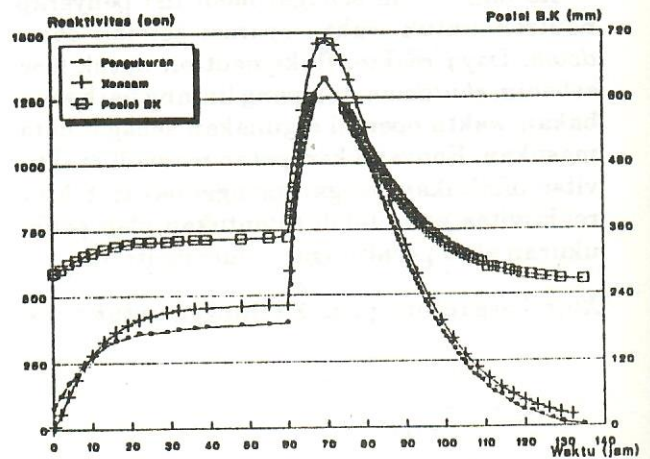
Dari hasil pengukuran akan didapat data waktu operasi, posisi ketinggian batang kendali selama pengukuran dan perubahan reaktivitas. Dengan menghitung balik harga-harga perubahan reaktivitas secara kumulatif maka dapat

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan xenon 18 MW dan 15 MW teras V.

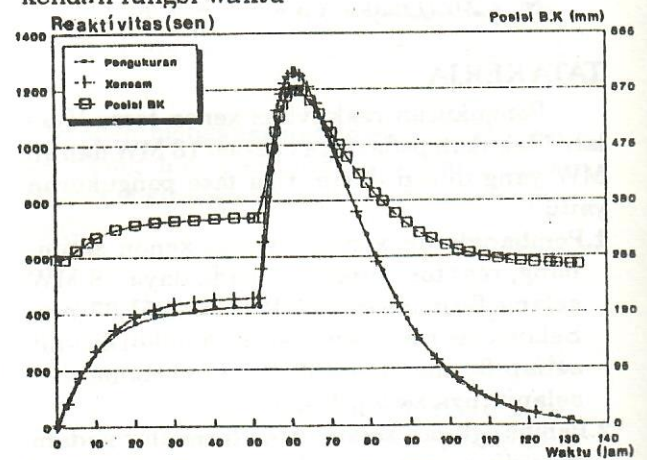
Daya (MW)		18	18	15	15
Keterangan		Tanggal 06 s/d 12-02-91	Xensam	Tanggal 21 s/d 26-02-91	Xensam
Fase I	Waktu (jam)	60	60	51,67	51,67
	Reaktivitas (\$)	3,97	4,63	4,20	4,52
Fase II	Waktu (jam)	9,52 ekstra-polasi	9,5	9,5	9,5
	Reaktivitas (\$)	14,13 ekstra-polasi	14,75	12,01 (terukur)	12,84
Fase III	Waktu (jam)	61,17	62,5	70,97	62,5
	Reaktivitas (\$)	0,17	0,42	0,05	0,35

ditentukan nilai puncak xenon dan secara interpolasi antara dua titik maka dapat ditentukan nilai reaktivitas xenon untuk setiap ketinggian batang kendali, sehingga nilai xenon setimbang-nya juga dapat ditentukan (lihat Tabel 1 dan 2).

Gambar 2 dan 3 menunjukkan grafik reaktivitas xenon hasil pengukuran dan perhitungan Xensam serta posisi batang kendali selama pengukuran sebagai fungsi waktu, masing-masing untuk daya 18 MW dan 15 MW. Pengukuran reaktivitas xenon ini dilaksanakan secara berturut-turut dan dari Tabel 1 dan 2 terlihat bahwa posisi kritis pada awal pengukuran daya tinggi berbeda sesuai dengan tingkat daya. Pada daya 18 MW posisi kritis awal pengukuran adalah 278/304 mm sedangkan untuk daya 15 MW posisi kritis awal pengukuran adalah 268/274 mm. Ini menandakan bahwa makin tinggi daya, makin tinggi posisi batang kendali. Sedangkan posisi batang kendali pada keadaan setimbang dan akhir pengukuran untuk daya 18 MW terlihat lebih rendah dibandingkan dengan daya 15 MW. Ini disebabkan karena adanya pengaruh fraksi bakar. Dari Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa hasil pengukuran lebih kecil dari hasil perhitungan sehingga perlu dibuat perbandingan antara hasil pengukuran dan perhitungan, sehingga dengan memprediksi hasil perhitungan terhadap hasil pengukuran, maka akan dapat ditentukan nilai reaktivitas xenon untuk daya-daya lain sebagai fungsi waktu serta sekaligus dapat menentukan posisi batang kendali untuk mengoperasikan reaktor.



Gambar 2. Grafik xenon 18 MW hasil pengukuran, perhitungan Xensam dan posisi batang kendali fungsi waktu



Gambar 3. Grafik xenon 15 MW hasil pengukuran, perhitungan Xensam dan posisi batang kendali fungsi waktu

KESIMPULAN

1. Dengan melakukan pengukuran xenon terlebih dahulu untuk suatu teras tertentu serta membandingkan dengan hasil perhitungan dan memprediksi hasil perhitungan terhadap hasil pengukuran maka akan dapat ditentukan reaktivitas xenon teras tersebut pada daya yang lain dan dengan dapat ditentukannya posisi batang kendali maka akan memperlancar pengoperasian reaktor bila reaktor terpancung.

2. Penggunaan metode kompensasi BANK untuk pengukuran reaktivitas xenon merupakan suatu cara pengukuran yang mudah dan sederhana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ini, kami sampaikan pada para supervisor dan operator serta rekan-rekan staf Fisika Reaktor beserta teknisi yang telah membantu dalam pelaksanaan pengukuran sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nabbi, R., Experimental Reactor Physics for The Indonesian Research Reactor MPR-30, Serpong-Indonesia (1989).
2. Milton, S. Ash, Nuclear Reactor Kinetics, second edition, Mc Graw Hill International (1979).
3. Paul, F. Zweifel, Reactor Physics, International student edition, Mc Graw Hill Kogakusha Ltd. (1973).

ABSTRACT

SUMAN, B. S. B. PROBABILITY QUANTIFICATION IN THE OPERATION OF REACTOR POOL COOLING SYSTEM OF RSG GA SIWABENY. Quantification of human error probabilities in the operation of reactor pool cooling system of RSG GA Siwabeny has been done. The operator action is modelled in terms of three phase discrete level decision to act, detect and recovery errors. The author phase level Human error probability (HEP) is calculated using human error detection methods or Techniques for Human Error Rates Prediction or THERP. Data used in this analysis are derived from NUREG CR-1175, Handbook for Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. The analysis results show that the total HEP of the system values from 10^{-4} up to 10^{-5} .

PENDAHULUAN

Analisis keselamatan manusia sangat penting, analisis manusia adalah suatu metode untuk memperkirakan dan mengkuantifikasi kesalahan manusia. Metode analisis manusia manusia yang sering digunakan pada umumnya adalah teknik analisis berdasarkan pengetahuan yang Probablistic Safety Studies (PSS) untuk reaktor nuklir adalah *Technique for Human Error Rate Prediction* atau THERP.

Di dalam masalah ini THERP digunakan untuk mengkuantifikasi kesalahan manusia pada pengoperasian sistem pendingin kolam Reaktor GA Siwabeny RSG GA. Walaupun sistem pendingin kolam tidak terdorong dalam sistem program reaktor, namun pada sistem ini, sistem ini beroperasi dengan baik untuk mempertahankan suhu permukaan bak

dan kolam normal, dan bila terpancung. Pengoperasian sistem pendingin kolam reaktor ini sangat penting dalam keselamatan reaktor, operator perlu mengetahui sistem pendingin kolam.

Untuk memberikan hasil perhitungan yang konservatif, nilai probabilitas kesalahan manusia dari hasil analisis probabilitas HEP, serta dari data tabel lognormal Human Error Rate Method HEP pada sumber data yaitu NUREG CR-1175, telah dipilih nilai HEP rendah.

DAFTAR TUNJUK

Modul Human Reliability Analysis dengan menggunakan THERP untuk pengoperasian sistem pendingin kolam reaktor, analisis kesalahan manusia akibat akibat suatu bakul. Laporan No. 11/1991.