

## ANALISIS KECELAKAAN REAKTIVITAS RSG G.A. SIWABESSY

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

### ABSTRAK

ANALISIS KECELAKAAN REAKTIVITAS RSG-GAS. Analisis kecelakaan reaktivitas RSG-GAS dilakukan pada level daya 1 W dan 1 MW. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik teras reaktor yang berkaitan dengan keselamatan operasi reaktor. Kecelakaan dimulai dengan menganggap bahwa semua batang kendali ditarik ke atas secara serentak dengan kecepatan maksimum, sehingga sistem proteksi radiasi akan memadamkan reaktor dengan cara menjatuhkan semua batang kendali secara otomatis ke teras reaktor. Analisis ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan program komputer POKDYN. Pada daya 1 W reaktor akan terpancung pada daya 23,98 MW setelah 24,6 detik, sedangkan pada 1 MW reaktor akan terpancung pada daya 38,6 MW setelah 19,0 detik. Pada kenyataannya reaktor akan terpancung lebih dahulu pada daya 114% daya nominal atau 34,2 MW oleh *setting trip*. Menurut analisis ini, kecelakaan reaktivitas karena kenaikan batang kendali secara serentak dalam range start up dan daya dapat diselamatkan oleh sistem reaktor pancung.

### ABSTRACT

REACTIVITY ACCIDENTS ANALYSIS OF THE RSG-GAS. Reactivity accidents analysis of RSG-GAS was performed in power level 1 W and 1 MW. The aim of the analysis was to know characteristics of the reactor core linked with the reactor operation safety. The accident was initiated by assuming that all control rod were simultaneously withdrawn with maximum speed until the reactor protection system shutdowned the reactor by dropping the control rods into the core. The analysis was performed by simulation methode with POKDYN computer code. In the power level 1 W the reactor would scram at power 23.98 MW after 24.6 s, while at the power level of 1 MW reactor would scram at 38.6 MW after 19.0 s. In fact the reactor screamed at 114% of nominal power or at 34.2 MW. In this case the reactor was screamed by the setting trip. According to analysis, the withdrawn control rods reactivity accident in start up and power range can be saved by reactor protection system.

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy, telah beroperasi hingga teras VII. Sebelum mencapai teras setimbang telah banyak dilakukan eksperimen, terutama pengukuran parameter kinetik. Setiap kali eksperimen dilakukan, daya reaktor selalu dikendalikan oleh batang kendali. Batang kendali pada RSG-GAS ada 8 buah; 7 buah disebut batang kendali bank dan 1 buah disebut batang kendali pengatur. Setiap batang kendali tersebut mempunyai 15 pelat elemen. Pada teras kerja terdapat 40 buah bahan bakar tipe pelat dengan 21 pelat elemen. Batang kendali yang digerakkan untuk menaikturunkan daya mempunyai kecepatan maksimum menurut disain 0,0564 cm/s [1].

Untuk kepentingan keselamatan operasi reaktor sangat penting dilakukan analisis kecelakaan reaktivitas, akibat kenaikan batang kendali sehingga diketahui konsekuensi yang terjadi.

Dalam makalah ini dianalisis kecelakaan reaktivitas akibat kenaikan batang kendali RSG-GAS dengan metode simulasi menggunakan program komputer POKDYN<sup>(2)</sup>, kemudian hasilnya dibandingkan dengan perhitungan EUREKA-2 [3]. Yang dievaluasi adalah reaktor dalam keadaan *start up* dan operasi daya, dengan mempelajari reaktivitas transiennya. Dalam hal ini, diasumsikan bahwa waktu *start up* reaktor sangat singkat dan untuk menaikkan daya batang kendali digerakkan secara kontinyu, walaupun dalam kenyataannya batang kendali itu digerakkan secara bertahap. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi keselamatan apabila operator gagal memberhentikan batang kendali sewaktu menaikkan daya.

### TEORI

Reaktivitas transien daya dapat dipelajari dengan menyelesaikan persamaan kinetika titik menurut persamaan [4]:

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

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

reaktivitas total,  $\rho(t) = \rho_{**}(t) + \rho_{fb}(t)$  (3)

$P$  = daya reaktor,  $\beta$  = fraksi neutron kasip,  $\Lambda$  = waktu generasi neutron serempak,  $S_p$  = kuant sumber neutron,  $\beta_j$  = fraksi neutron kasip kelompok ke  $j$ ,  $\lambda_j$  = konstanta peluruhan konsentrasi prekursor neutron kasip kelompok ke  $j$ ,  $C_j$  = parameter proporsional untuk konsentrasi prekursor neutron kasip,  $\rho_{**}$  = reaktivitas eksternal disebabkan oleh pergerakan batang kendali,  $\rho_{fb}$  = reaktivitas *feed back*.

Reaktivitas awal daya transien menyinggung respon sistem reaktor nuklir dalam perubahan  $\rho_{**}(t)$  pada berbagai tingkat daya. Pada daya rendah  $\rho_{fb}(t)$  adalah nol tetapi pada daya tinggi dalam domain waktu  $\rho_{fb}(t)$  ditulis sebagai berikut:

$$\rho_{fb}(t) = \int_0^t Kp(t-\lambda) \cdot \Delta P(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

dan dalam domain frekuensi ditulis,

$$\rho_{fb}(i\omega) = Kp(i\omega) \cdot \Delta P(i\omega) \quad (5)$$

Efek lain yang menyebabkan perubahan reaktivitas adalah karena perubahan daya.

Fungsi respon impuls  $Kp(t)$  adalah:

$$Kp(t) = \int_{j=1}^J \frac{\alpha_j}{\lambda_j} e^{-t/\lambda_j} \quad (6)$$

dan fungsi respon frekuensi umpan balik adalah:

$$Kp(i\omega) = \int_{j=1}^J \frac{\alpha_j}{1 + i\omega \lambda_j} \quad (7)$$

$\alpha_j$  = koefisien daya statik total,  $\lambda_j$  = konstanta waktu dari reaktivitas kelompok ke  $j$ .  
Untuk model umpan balik satu suku

$$Kp(i\omega) = \frac{\alpha}{(1 + i\omega \tau)} \quad (8)$$

dan model umpan balik dua suku,

$$Kp(i\omega) = \frac{\alpha_1}{1 + i\omega \tau_1} + \frac{\alpha_2}{1 + i\omega \tau_2} \quad (9)$$

Model analisis ini dipakai pada teras reaktor RSG-GAS yang terdiri dari batang kendali dan bahan bakar standar tipe pelat. Posisi iradiasi

dan berilium reflektor tidak diperhitungkan. Persamaan kinetika titik diselesaikan secara numerik oleh program komputer POKDYN dan dengan mengambil data acuan pada teras VI (teras setimbang) maka dilakukan analisis kecelakaan reaktivitas akibat kenaikan batang kendali.

## HASIL DAN EVALUASI

Hasil analisis transien dilakukan dengan program komputer POKDYN dan dibandingkan dengan hasil perhitungan program komputer EUREKA-2. Program komputer POKDYN ditulis dalam bahasa FORTRAN yang terdiri dari Main Program, Subroutine POKS, Subroutine POKIN dan Function REAC. Parameter *input* dapat dilihat pada lampiran. Analisis dilakukan dalam kondisi transien *start-up* dan transien daya. Dengan menggunakan persamaan (8) dan dengan mengambil harga  $\alpha = 1,9$  C/MW dan  $\tau = 2,35$  s maka dilakukan analisis transien dengan kondisi:

### 1. Start-up transien

Dalam transien ini:

Daya awal	= 1 W
Reaktivitas ramp	= $28,2 \cdot 10^{-5} \Delta k/k s^{-1}$ (= 28,2 pcm/s)
Level trip daya	= $4,5 \cdot 10^6$ W
Delay dan trip awal	= 0,5 s
Reaktivitas pancung	= $-0,022 \Delta k/k s^{-1}$ (= - 2200 pcm)
Waktu batang jatuh	= 0,5 s

Hasil untuk transien ini ditunjukkan dalam Tabel 1. dan Gambar 1. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa reaktor akan terpancung pada daya 23,98 MW pada 24,6 detik.

### 2. Daya transien

Dalam transien ini:

Daya awal	= 1 MW
Reaktivitas ramp	= $28,2 \cdot 10^{-5} \Delta k/k s^{-1}$ (= 28,2 pcm/s)
Level trip daya	= $34,2 \cdot 10^6$ W
Delay dan trip awal	= 0,5 s
Reaktivitas pancung	= $-0,022 \Delta k/k s^{-1}$ (= - 2200 pcm)
Waktu batang jatuh	= 0,5 s

Hasil untuk transien ini ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Gambar 2. Dari hasil ini reaktor akan terpancung pada daya 38,6 MW pada 19,0 detik.

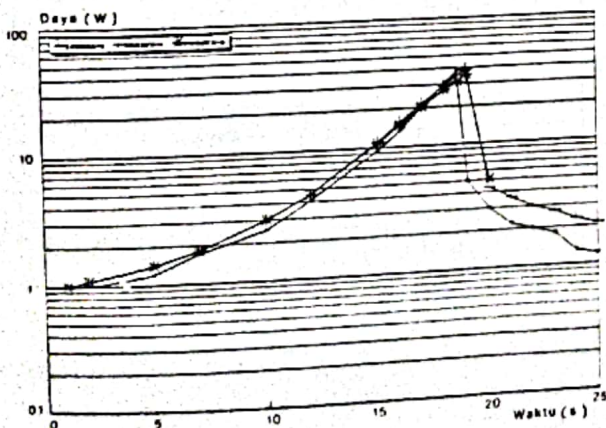
Pada transien *start-up* dapat dilihat bahwa pulsa daya berbentuk runcing. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian umpan balik reaktivitas berasal dari bahan bakar. Untuk itu dilakukan analisis dengan menggunakan persamaan (9).

Tabel 1. Hasil analisis kode POKDYN dengan EUREKA-2 pada daya 1 W.

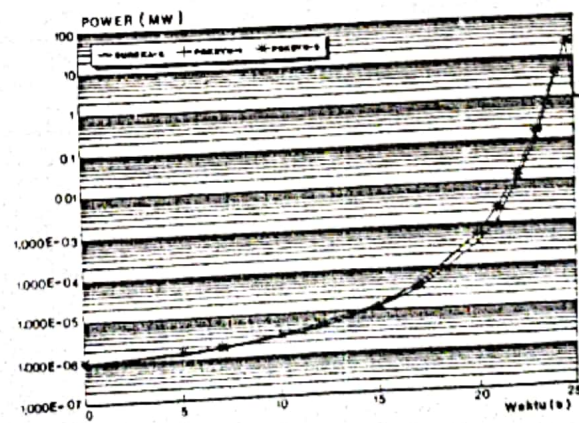
No.	Waktu (det)	Daya (MW)		
		EUREKA-2	POKDYN (1-term)	POKDYN (2-term)
1	0,0	1,0E-06	1,0E-06	1,0E-06
2	5,0	1,3E-06	1,5E-06	1,5E-06
3	7,0	1,7E-06	1,8E-06	1,8E-06
4	10,0	2,8E-06	3,1E-06	3,1E-06
5	12,0	4,0E-06	5,0E-06	5,1E-06
6	15,0	1,2E-05	1,4E-05	1,3E-05
7	17,0	3,0E-05	4,1E-05	3,8E-05
8	20,0	3,5E-04	6,0E-04	5,5E-04
9	21,0	1,1E-03	2,4E-03	2,3E-03
10	22,0	1,0E-02	1,4E-02	1,4E-02
11	23,0	0,1	1,6E-01	1,7E-01
12	23,5	0,5	7,4E-01	7,6E-01
13	24,0	3,0	4,2	4,4
14	24,6	23,98	23,98	23,00
15	25,0	1,00	0,98	-

Tabel 2. Hasil perbandingan analisis kode POKDYN dengan EUREKA-2 pada daya 1 MW.

No.	Waktu (det)	Daya (MW)		
		EUREKA-2	POKDYN (1-term)	POKDYN (2-term)
1	0,0	1,00	1,00	1,00
2	5,0	1,20	1,40	1,40
3	7,0	1,70	1,80	1,80
4	10,0	2,50	3,00	3,00
5	12,0	4,10	4,60	4,60
6	15,0	9,50	11,10	10,80
7	17,0	20,00	21,30	20,20
8	18,0	30,20	29,30	27,10
9	18,6	38,00	35,00	31,00
10	19,0	5,00	38,60	35,10
11	20,0	3,00	4,40	5,10
12	21,0	2,20	3,60	-
13	22,0	2,00	3,00	-
14	23,0	1,80	2,70	-
15	25,0	1,20	2,10	-



Gambar 1. Daya vs waktu



Gambar 2. Daya vs waktu

Harga  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$  ditentukan dari pengukuran koefisien daya statik untuk elemen bakar dan moderator. Harga pengukuran  $K_p(0)$  adalah -1,43 C/MW sampai dengan 1,94 C/MW. Dalam range daya 0-10 MW dan harga koefisien reaktivitas temperatur bahan bakar dan moderator masing-masing -1,6 pcm/°C dan -11,0 pcm/°C[3]. Kenaikan temperatur bahan bakar dan moderator adalah 8,52°C dan 1,26°C untuk kenaikan daya 2,25 MW [1].

Jadi,  $\alpha_1 = 0,848$  C/MW;  $\alpha_2 = 0,863$  C/MW

Suku pertama pers (9) adalah sumbangan bahan bakar dan suku kedua dari moderator di mana umpan balik dari bahan bakar lebih cepat dari moderator maka  $\tau_1 < \tau_2$ . Harga  $\tau_1$  yang diperoleh 0,5 s dan  $\tau_2 = 4$  s. Perbandingan hasil analisis untuk *start-up* ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Gambar 1 dan daerah daya pada Tabel 2 dan Gambar 2. Masukan yang digunakan dalam perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 3 dan perbandingan parameter kritikalitas transien pada Tabel 4.

#### KESIMPULAN

Kecelakaan reaktivitas akibat penarikan Tabel 4. Perbandingan hasil analisis kode POKDYN dengan EUREKA-2

Tabel 3. Parameter input yang digunakan dalam perhitungan  $\beta = 0,0071$ .  $\lambda = 64,9$  us.

$\beta_j / \beta$	$\alpha_j$
0,038	0,0127
0,213	0,0317
0,188	0,1550
0,407	0,3110
0,128	1,4000
0,026	3,8700

akan terpancung daya 23,98 MW setelah 24,6 detik kondisi transien. Sedangkan pada daya 1 MW reaktor akan terpancung pada daya 38,4 MW setelah 19,0 detik kondisi transien. Namun, dalam hal ini reaktor terlebih dahulu terpancung oleh *setting trip* yang diset pada 114% daya nominal. Hasil analisis ini juga sesuai dengan hasil perhitungan EUREKA-2 dan hasil dalam SAR. Hanya terdapat perbedaan beberapa pro-

PARAMETER		EUREKA-2	POKDYN 1-term	POKDYN 2-term
Daya Awal (W)	S. R.	1	1	1
	P. R.	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^6$
Level daya trip (W)	S. R.	$4,5 \times 10^6$	$4,5 \times 10^6$	$4,5 \times 10^6$
	P. R.	$34,2 \times 10^6$	$34,2 \times 10^6$	$34,2 \times 10^6$
Waktu tunda trip (W)	S. R.	0,5	0,5	0,5
	P. R.	0,5	0,5	0,5
Puncak daya (W)	S. R.	23,93	23,98	23,39
	P. R.	38,14	39,59	38,91
Waktu puncak daya (s)	S. R.	24,66	24,58	24,51
	P. R.	18,64	19,10	19,55

S. R. = Range start-up

P. R. = Range daya

batang kendali dalam *range start-up* dan *range daya* dapat diselamatkan oleh pancung reaktor. Hasil yang diperoleh pada daya 1 W reaktor

sen. Hal ini disebabkan oleh karena model analisis dan batasan yang berbeda.

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. Anonim, Safety Analysis Report RSG-GAS, Rev. 7, Vol. III, BATAN (September 1989).
2. Om Pal Singh, Surian Pinem, Tukiran, Uju Jujuratisbela, Bakri Arbie, POKDYN: A Computer Code for Point Dynamics of a Reactor Serpong (April 1991).
3. Masanori Kaminaga, Preliminary reactivity insertion accidents analysis of the RSG-GAS using Eureka-2 code, Report (Dec. 1990).
4. Milton. S. Ash, Nuclear Reactor Kinetics, Second Edition, USA (1979).