

## ANALISIS PARAMETER KINETIK DAN TRANSIEN TERAS KOMPAK REAKTOR RSG-GAS

Iman Kuntoro<sup>1)</sup>, Surian Pinem<sup>2)</sup>, Tagor Malem Sembiring<sup>2)</sup>

1. Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN
2. Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir, BATAN

Diterima editor 10 Agustus 2010  
Disetujui untuk dipublikasi 28 September 2010

### Abstrak

**ANALISIS PARAMETER KINETIK DAN TRANSIEN TERAS KOMPAK REAKTOR RSG-GAS.** Dalam rangka meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar reaktor RSG-GAS telah dilakukan studi penentuan teras kompak. Hasil perhitungan parameter neutronik menunjukkan bahwa teras kompak dengan menutup empat fasilitas iradiasi (IP) dengan elemen bakar dapat meningkatkan siklus operasi 23,6 %. Selanjutnya perlu dilakukan penentuan parameter kinetik dan analisis transien teras kompak untuk mengetahui keselamatan operasi reaktor. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program WIMS/D4 untuk generasi konstanta difusi sel elemen bakar dan MTRDYN untuk menentukan parameter kinetik dan analisis transien. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga fraksi neutron kasip total teras kompak naik 2 % dan umur neutron serempak turun 8,3 % dibandingkan dengan teras setimbang. Temperatur maksimum bahan bakar saat transien pada daya awal 1 W adalah 71,64 °C dan pada daya 1 MW adalah 129,60 °C. Hasil ini menunjukkan bahwa teras kompak RSG-GAS aman digunakan sebagai teras alternatif.

Kata Kunci: parameter kinetik, transien, reaktor

### ABSTRACT

**KINETIC PARAMETERS AND TRANSIENT ANALYSIS FOR COMPACT CORE OF THE RSG-GAS REACTOR.** For increasing the efficiency of fuel element of the RSG-GAS reactor, some alternative configuration has been searched to obtain a compact core configuration. Calculation result of the neutronics parameters that the compact core with insertion fuel element to all irradiation facility (IP) can increase operation cycle length to about 23.6 %. Then, it is necessary to calculate the kinetic parameters and transient analysis of the compact core to verify the reactor operation safety. Calculations were performed by means of WIMS/D4 and MTRDYN code for generation of cell diffusion constants and for kinetic parameters and transient analysis respectively. The result showed that the total delayed neutron fraction of compact core increases by 2 % and the prompt neutron lifetime decreases 8.3 % compared to the equilibrium core. Maximum temperature of the fuel element at transient at initial power of 1 W is 71.64 °C and at the power 1 MW is 126.60 °C. The result showed that the compact core of RSG-GAS reactor can be used as alternative core safely.

Keywords: kinetic parameter, transient, reactor.

## PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan efisiensi operasi reaktor RSG-GAS telah dilakukan pengkajian berbagai bentuk teras kompak berdasarkan aspek neutronik statik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa teras kompak diperoleh dengan pengurangan semua fasilitas iradiasi (4 buah IP) di teras masih memiliki parameter neutronik yang sesuai dengan syarat keselamatan dan batasan desain. Teras kompak ini juga akan menaikkan pemanfaatan reaktor dengan naiknya panjang siklus operasi sebesar 23,6% yaitu 760 MWD dan fluks neutron termal rerata di fasilitas iradiasi dalam teras naik sebesar 16,7% dan sistem *rabbit* naik sebesar 4,1% [1]. Selanjutnya perlu dilakukan evaluasi karakteristik kinetika reaktor yaitu mengetahui parameter kinetik dan analisis transien daya teras kompak tersebut yang akan menggambarkan tingkat keselamatan operasi reaktor.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program MTR-DYN yang merupakan gabungan modul perhitungan neutronik dan modul perhitungan termohidraulik dalam 3-dimensi[2,3], sehingga dapat menyelesaikan interaksi dan umpan balik setiap perubahan parameter neutronik dan termohidraulik. Program MTR-DYN adalah gayut ruang dan waktu, teori difusi banyak kelompok didasarkan pada program analisis transien reaktor riset. Program ini didesain untuk model transien kritikalitas reaktor riset ketika terjadi perubahan reaktivitas dan atau gangguan sistem pendingin terjadi.

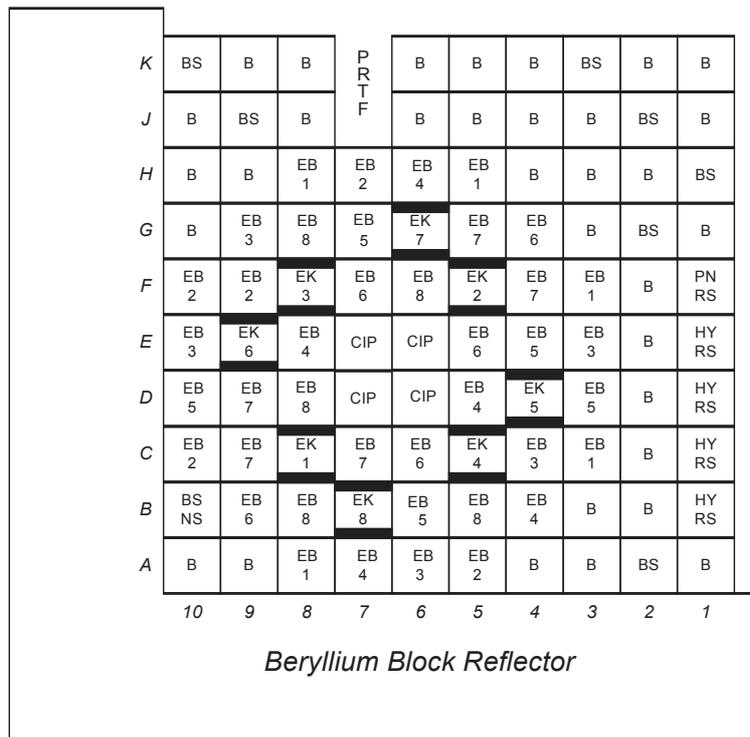
Dalam modul neutronik dilakukan perhitungan parameter kinetika reaktor dimana parameter ini sangat penting dalam analisis transien reaktor [4,5]. Untuk menggenerasi konstanta kelompok difusi untuk tiap-tiap bahan bakar dan untuk berbagai temperatur elemen bakar dan temperatur pendingin dan kerapatan digunakan program WIMS/D4[6]. Tampang lintang material bukan bahan bakar seperti berilium, reflektor, air dan batang kendali (Ag-In-Cd) juga dilakukan generalisasi. Tampang lintang ini digunakan dalam perhitungan difusi 3D. Sementara itu, dalam modul termohidraulika dilakukan perhitungan perubahan temperatur akibat reaktivitas umpan balik Doppler, perubahan rasio elemen bakar terhadap moderator termasuk dalam persiapan tampang lintang. Konduksi kalor dalam elemen bakar dipertimbangkan dalam waktu dan ruang menggunakan metode *finite-difference* dan hanya dalam arah radial.

Analisis transien daya dilakukan untuk dua kondisi yaitu transien pada daerah *start-up* dengan daya awal 1 W dan transien pada daerah daya dengan daya awal 1 MW. Hal ini diperlukan untuk melihat pengaruh umpan balik reaktivitas bahan bakar terhadap kenaikan daya reaktor. Hasil perhitungan akan memberikan karakteristik daya dan temperatur bahan bakar, kelongsong dan pendingin reaktor setelah terjadinya gangguan reaktivitas. Hasil utamanya adalah temperatur maksimum yang terjadi pada kondisi transien yang harus diverifikasi dengan batas operasional karena merupakan ukuran tingkat keselamatan operasi reaktor ditinjau dari segi integritas bahan bakar reaktor.

## TERAS KOMPAK RSG-GAS

Sejak tahun 1987 reaktor RSG-GAS dioperasikan dengan teras nominal dengan 40 buah elemen bakar standard dan 8 buah elemen bakar kendli serta fasilitas iradiasi dalam teras. Dalam perkembangan operasi reaktor, ternyata 4 fasilitas iradiasi dalam teras yang disediakan untuk pengujian bahan bakar nuklir tidak digunakan. Akhirnya timbul ide bagaimana merancang suatu teras reaktor yang kompak artinya teras terkecil, sesedikit mungkin berisi fasilitas iradiasi dengan memindahkannya di daerah pinggir atau luar teras. Dengan demikian akan diperoleh reaktivitas yang lebih besar sehingga reaktor dapat

dioperasikan dengan siklus lebih lama. Studi penentuan teras kompak dilakukan dengan batasan tidak boleh mengubah batasan keselamatan sistem pendingin reaktor dan reaktivitas. Hasil studi mengusulkan agar teras kompak optimum adalah tetap berisi 40 elemen bakar dan 8 batang kendali dan 4 buah posisi iradiasi dalam teras (IP-1, IP-2, IP-3 dan IP-4) diisi dengan elemen bakar dari daerah pinggir dan ditambah 4 elemen berillium di tempat elemen bakar yang digeser seperti dilukiskan pada Gambar 1. Posisi IP: B-6, D-9, G-7 dan E-4 diisi bahan bakar dari posisi A-9 ke B6, A-4 ke D-9, H-9 ke G-7 dan H-4 ke E-4 sedangkan posisi tersebut diisi dengan elemen berillium.



Gambar 1. Teras kompak teras reaktor RSG-GAS.

## METODE PERHITUNGAN

Perhitungan dilakukan dalam tiga langkah yaitu penentuan konstanta kelompok difusi dari sel, penentuan parameter kinetik dan terakhir analisa transien daya akibat gangguan reaktivitas saat reaktor sedang beroperasi.

Generasi sel elemen bakar reaktor RSG-GAS dilakukan dengan paket program WIMS/D4 untuk memperoleh tampang lintang makroskopis fisi,  $\Sigma_f$ . Tampang lintang tersebut dihitung dengan laju reaksi fisi untuk isotop dapat belah  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  dan  $^{239}\text{Pu}$  untuk mendapatkan konstanta  $\Sigma_f$ -nya. Ketiga isotop ini dipilih karena dominan dibandingkan dengan isotop belah lain penyusun bahan bakar dalam menentukan  $\Sigma_f$  bahan bakar. Tampang lintang makroskopis,  $\Sigma_f$  digenerasi untuk beberapa langkah fraksi bakar dengan rentang

diantara 0 – 90 % (hilangnya 235U). Kemudian disusun dalam sebuah pustaka, sehingga dapat dengan mudah dilakukan *interpolasi cubic spline* untuk mendapatkan  $\Sigma_f$  yang sesuai dengan tingkat fraksi bakar di teras. Jumlah rerata neutron kasip per fisi,  $\nu_d$ , untuk 4 buah isotop dapat belah diambil dari data dari *Tuttle*, sedangkan data spektrum neutron kasip diambil dari *Saphier* karena hal ini yang paling sesuai dengan reaktor RSG-GAS[7].

Perhitungan menggunakan model geometri  $\frac{1}{4}$  teras reaktor. Perhitungan neutronik dilakukan dengan menggunakan model adiabatik dimana persoalan difusi neutron banyak kelompok gayut waktu diselesaikan dengan pendekatan faktorisasi fluks, dimana fluks neutron dibagi kedalam amplitudo gayut waktu. Perhitungan menggunakan model adiabatik, pertama, perbedaan antara spektrum neutron kasip dan neutron serempak diabaikan. Dengan kata lain, neutron serempak dari prekursor dianggap lahir pada waktu yang sama dengan neutron serempak. Kedua, semua turunan waktu dari amplitudo dan fungsi bentuk diabaikan. Dalam program MTR-DYN model polinomial digunakan untuk mempertimbangkan perubahan tampang lintang karena perubahan temperatur *cladding/fuel* meat dan perubahan temperatur moderator. Pada setiap kondisi kasus dilakukan perhitungan parameter neutronik, hal ini berhubungan dengan parameter termohidraulik dimana distribusi fluks neutron berubah maka distribusi perbandingan panas juga berubah. Perhitungan ini juga memperhitungkan perubahan parameter kinetik akibat perubahan fraksi bakar dan temperatur dalam teras reaktor.

Analisis transien daya dilakukan dalam dua kondisi yaitu transien pada daerah start-up dengan daya awal 1 W dan transien pada daerah daya dengan daya awal 1 MW, untuk mengetahui tanggap reaktor terhadap adanya gangguan atau insersi reaktivitas kedalam teras reaktor. Untuk kedua kondisi teraebut, gangguan insersi reaktivitas disimulasi dengan penarikan batang kendali secara cepat. Dalam analisis transien parameter utama dimulai dari kondisi awal tunak (*steady state*) ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter utama perhitungan kondisi transien teras kompak reaktor RSG-GAS

Parameter	Kondisi <i>start-up</i>	Kondisi daya
Daya awal (W)	1,0	$1.10^6$
Reaktivitas <i>ramp</i> (pcm/s)	28,2	28,2
Reaktivitas pancung (pcm)	-2200	-2200
<i>Level trip</i> daya (MW)	4,5	34,2
<i>Delay</i> dan <i>trip</i> awal (s)	0,5	0,5
Waktu jatuh batang kendali (s)	0,5	0,5
Temperatur masuk pendingin ( $^{\circ}\text{C}$ )	44,5	44,5
Tekanan pendingin pada teras (MPa)	2,0	2,0

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan fluks neutron termal teras kompak disajikan dalam Tabel 3. Untuk parameter fluks neutron termal rerata di CIP terjadi kenaikan 16,7% dibandingkan teras acuan (teras RSG-GAS). Sama halnya dengan fluks neutron termal rerata di sistem *rabbit*, lebih besar 4,1% dari teras acuan.

Tabel 3. Perbandingan parameter teras kompak dan teras acuan

Parameter	Teras Acuan	Teras kompak
Fluks neutron termal ( $\times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> s) posisi CIP		
Jumlah posisi	8	4
Fluks neutron termal rerata	2,3023	2,6865
Fluks neutron termal terbesar	2,5107	2,7104
Fluks neutron cepat rerata	2,0660	1,9690
Fluks neutron cepat terbesar	2,2815	2,0003
Fluks neutron termal ( $\times 10^{14}$ n/ cm <sup>2</sup> s <sup>1</sup> ) sistem <i>rabbit</i> :		
Jumlah posisi	5	5
Fluks neutron termal rerata	0,7746	0,8063
Fluks neutron termal terbesar	0,8041	0,8590
Fluks neutron cepat rerata	0,3150	0,3283
Fluks neutron cepat terbesar	0,3470	0,3718

Generasi konstanta difusi dari sel elemen bakar reaktor RSG-GAS dilakukan dengan paket program WIMS/D4 untuk memperoleh tampang lintang makroskopis yang hasilnya langsung digunakan dalam perhitungan parameter kinetik dan transien menggunakan program kopel neutronik-termohidraulik MTRDYN. Hasil perhitungan parameter kinetik teras kompak berbahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc reaktor RSG-GAS ditunjukkan dalam Tabel 2. Harga fraksi neutron kasip total bila dibandingkan dengan teras setimbang sekarang dengan bahan bakar silisida 2,96 gU/cc terjadi kenaikan 2 % dan umur neutron serempak terjadi penurunan 8,3 %.

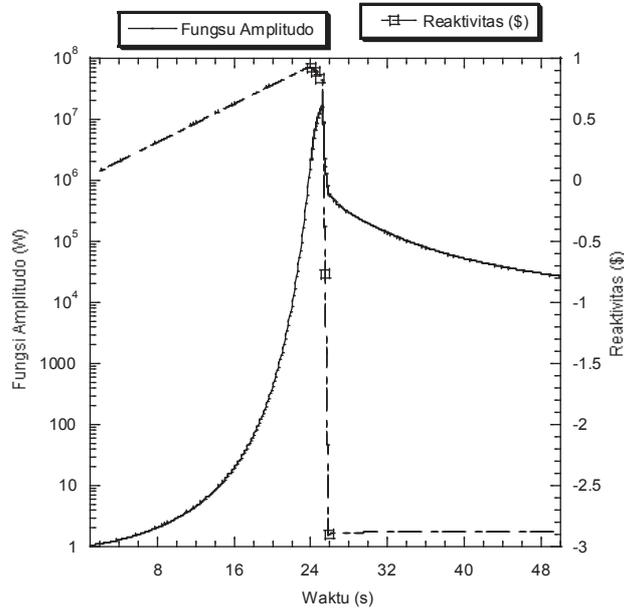
Tabel 2. Harga parameter kinetik teras kompak RSG-GAS

Kelompok	Fraksi neutron kasip ( $\beta_k$ )	Konstanta peluruhan neutron kasip ( $\lambda_k$ )
1.	2.28141E-04	1.27000E-02
2.	1.55554E-03	3.17000E-02
3.	1.38353E-03	1.15000E-01
4.	2.97274E-03	3.11000E-01
5.	9.37735E-04	1.40000E+00
6.	1.907999E-04	3.87000E+00
Fraksi neutron kasip total: 7,32247E-03		
Umur neutron serempak: 59,1483 $\mu$ s		

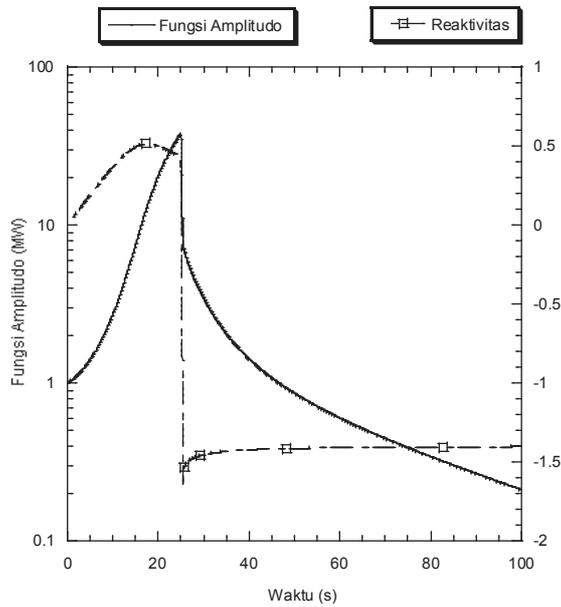
Kenaikan fraksi neutron kasip total karena adanya penambahan berillium dalam teras, sementara penurunan umur neutron rata-rata karena bertambahnya plutonium dalam teras reaktor. Perubahan parameter sebesar ini tidak akan mempengaruhi pola operasi sehingga dari parameter kinetik teras kompak ini dapat digunakan.

Sementara itu, analisis transien dilakukan dengan insersi reaktivitas pada saat reaktor beroperasi daya 1 W dan 1 MW dengan simulasi menarik batang kendali secara mendadak sebesar 28,2 pcm/s. Fungsi amplitudo dan reaktivitas yang diperoleh selama transien untuk daya awal 1 W dan 1 MW masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Daya maksimum yang dicapai sebelum reaktor scram adalah 16,61 MW dalam waktu 25 sekon untuk transien 1 W dan 38,00 MW dalam waktu 25 sekon untuk transien 1 MW. Dari Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa kenaikan daya dan reaktivitas pada insersi daya rendah lebih tajam dibandingkan dengan insersi daya 1 MW karena sebagian besar reaktivitas

*feedback* datang dari elemen bakar. Hasil transien pada daya 1 MW menunjukkan bahwa terjadi penurunan reaktivitas total sebelum reaktor *shutdown* karena dipengaruhi oleh reaktivitas *feedback* dari kenaikan temperatur pendingin reaktor.



Gambar 2. Fungsi amplitudo dan reaktivitas pada transien pada daya 1 W



Gambar 3. Fungsi amplitudo dan reaktivitas pada transien pada daya 1 MW

Temperatur maksimum dalam teras untuk transien 1 W dan 1 MW ditunjukkan dalam Tabel 4. Temperatur maksimum pada pendingin sebesar 47,16 °C, kelongsong 70,7 °C serta elemen bakar sekitar 71,64 °C saat insersi pada daya 1 W. Temperatur maksimum pendingin sebesar 67,12°C, kelongsong 123,43°C serta pada elemen bakar sekitar 124,6 °C. Hasil ini menunjukkan bahwa temperatur teras kompak RSG-GAS dengan bahan bakar silisida kerapatan 2,96 gU/cc masih dalam batas aman karena temperatur operasi elemen bakar 145 °C [8] sehingga masih jauh dari temperatur operasi reaktor RSG-GAS.

Tabel 4. Temperatur maksimum saat transien daya

Daya	Temperatur maksimum (°C)			
	Pendingin	Kelongsong bagian dalam	Kelongsong bagian dalam	Elemen bakar
1W	47,16	70,05	70,7	71,64
1 MW	67,12	121,82	123,43	124,60

## KESIMPULAN

Analisis parameter kinetik dan transien teras kompak reaktor RSG-GAS menggunakan metode kopel neutronik-termohidraulik MTRDYN telah dilakukan. Hasil perhitungan parameter kinetik menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan dibandingkan teras setimbang reaktor RSG-GAS. Hal ini menunjukkan tidak ada perubahan pola operasi reaktor RSG-GAS jika digunakan teras kompak. Hasil analisis transien dengan insersi reaktivitas 28,2 pcm/s menunjukkan bahwa temperatur elemen bakar, kolongsong dan pendingin masih jauh dari batas operasi, artinya kecelakan reaktivitas akibat insersi reaktivitas baik pada daerah *start-up* maupun pada daya reaktor masih aman.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Eko Sanjaya. Analisis konfigurasi teras kompak reaktor rsg-gas dengan pengurangan jumlah posisi iradiasi. Skripsi, UGM, Yogyakarta; 2003.
2. Surian Pinem, Tagor M. S. Application of modelling on the transient simulation of RSG-GAS reactor. International Conference on Mathematics and Natural Sciences, ICMNS; 2006 Nov 29-30; ITB, Bandung; 2006. p. 1056-7.
3. Surian Pinem. Analisis insersi reaktivitas RSG-GAS dengan metode kopel neutronik-termohidraulik. Jurnal Ilmiah Teknologi Reaktor, TRI DASA MEGA. 2006; 8: 40-5.
4. Ott K.O. Nuclear Reactor Dynamics. American Nuclear Society, Illinois, USA; 1985.
5. Surian Pinem, Tagor M.S. Analisis parameter kinetik RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan kerapatan 2,96 dan 3,55 gU/cc. MAJALAH BATAN. 2001; XXIV No.3/4: 80-9.
6. Roth, M.J. The Preparation of Input Data WIMS/D4. New York; 1976.
7. Surian Pinem, TAGOR M.S. Analisis data neutron kasip pada perhitungan parameter kinetik teras RSG-GAS. Jurnal Fisika, HFI. 2003; A4: 0205-2.
8. Batan. Safety Analysis Report of RSG-GAS, Rev.8. Serpong; 2002