
ANALISIS PARAMETER KINETIK TERAS SILISIDA KERAPATAN 4,8 gU/cc RSG-GAS

Surian Pinem, Tagor Sembiring
Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS PARAMETER KINETIK TERAS SILISIDA KERAPATAN 4,8 gU/cc.

Saat ini RSG-GAS menggunakan elemen bakar silisida 2,96 g U/cc. Untuk meningkatkan lama operasi reaktor maka akan direncanakan untuk mengganti elemen bakar silisida dengan kerapatan yang lebih tinggi. Perhitungan parameter kinetik teras silisida dengan kerapatan 3,55 g U/cc telah dilakukan dan dalam makalah ini ditunjukkan hasil perhitungan parameter kinetik dengan kerapatan 4,8 g U/cc. Parameter kinetik seperti fraksi neutron kasip efektif, konstanta peluruhan neutron kasip dan umur neutron serempak, koefisien reaktivitas umpan balik. Perhitungan sel dan teras masing-masing dilakukan dengan paket program WIMS-D/4 dan paket program metode difusi neutron 2-dimensi Batan-FUEL. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga fraksi neutron kasip adalah $7,0325610^{-3}$, konstanta peluruhan neutron kasip total $7,8582010^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan umur neutron serempak 55,4900 μs .

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE KINETIC PARAMETERS OF SILICIDE WITH THE DENSITY OF 2.96 g U/cc. Presently, the RSG-GAS reactor using silicide fuel element of 2.96 g U/cc. For increasing reactor operation time, we planning to change silicide low density to high density. Calculation of kinetic parameter silicide with density 3.55 g U/cc was performed and in this paper showed the result of kinetic parameters calculation in the density 4.8 g U/cc. The kinetic parameters, such as the effective delayed neutron fraction, the delayed neutron decay constant and the prompt neutron lifetime, is necessary to carry out for the reactor safety analysis. The calculation is performed in 2-dimensional neutron diffusion-perturbation method using modified Batan-2DIFF code. The calculation showed that the effective delayed neutron fraction is 7.0325610^{-3} , total delay neutron time constant is $7.8582010^{-2} \text{ s}^{-1}$ and the prompt neutron lifetime is 55.4900 μs . The results shown that kinetic parameters result decreasing compared with the silicide core with density 3.55 g U/cc, but no significant influence in the RSG-GAS reactor operation.

Key Words: *Kinetic parameters, silicide fuel, delay neutron.*

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) saat ini menggunakan elemen bakar silisida berkerapatan 2,96 g U/cc. Untuk meningkatkan lama operasi reaktor dan efesiensi maka direncanakan penggantian elemen bakar silisida 2,96 g U/cc dengan elemen bakar silisida dengan kerapatan yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil-hasil

penelitian yang berkaitan dengan program konversi teras RSG-GAS menggunakan bahan bakar dengan tingkat muat tinggi, maka diperoleh beberapa kandidat yaitu silisida dengan kerapatan 3,55 g/cc dan 4,8 g U/cc. Untuk merealisasikan rencana penggantian elemen bakar ini maka telah dilakukan perhitungan teras dan parameter kinetik dengan silisida kerapatan 3,55 g U/cc^[1]. Menurut perhitungan neutronik maka teras silisida dengan kerapatan 3,55 g U/cc masih aman untuk operasi reactor dan dapat meningkatkan siklus operasi reaktor.

Untuk melihat kemungkinan peningkatan penggunaan elemen bakar silisida maka dilakukan perhitungan teras silisida dengan kerapatan 4,8 g U/cc^[2]. Mengingat adanya peningkatan kerapatan uranium yang signifikan, sudah pasti parameter kinetik berubah jika dibandingkan dengan teras silisida 2,96 g U/cc dan 3,55 g U/cc. Disamping itu, intraksi antara moderator dan bahan bakar dengan bahan bakar berkerapatan lebih tinggi akan berbeda dengan bahan bakar berkerapatan rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu penelitian untuk menentukan parameter kinetik teras RSG-GAS dengan kerapatan 4,8 gU/cc. Parameter kinetik sangat penting untuk analisis keselamatan reaktor, khususnya bila terjadi ekskursi daya sehingga perlu dilakukan perhitungan yang akurat dengan memperhitungkan beberapa nuklida dapat belah yang terjadi pada teras reaktor.

Dalam makalah ini akan dilakukan analisis seluruh parameter kinetik seperti fraksi neutron kasip efektif, β_{eff} , konstanta peluruhan neutron kasip (λ), umur neutron serempak (Λ), koefisien reaktivitas temperature bahan bakar, koefisien reaktivitas moderatotr dan koefisien reaktivitas kerapatan moderator. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program WIMS/D4 dan Batan-2DIFF terubah. Program WIMS/D4^[3] digunakan untuk menggenerasi konstanta kelompok difusi untuk tiap-tiap material pada teras reaktor. Program Batan-2DIFF^[4] digunakan untuk menghitung distribusi fluks neutron baik *regular* maupun *adjoint*.

METODE PERHITUNGAN

Generasi Sel

Generasi sel elemen bakar reaktor RSG-GAS dilakukan dengan paket program WIMS/D4 untuk memperoleh tampang lintang makroskopis fisi, Σ_f untuk tiap isotop dapat belah. Tampang lintang tersebut dihitung dengan laju reaksi fisi untuk isotop dapat belah U-235, U-238, Pu-239 dan Pu-241. Keempat isotop ini dipilih karena

dominan dibandingkan dengan isotop belah lain penyusun bahan bakar dalam menentukan Σ_f bahan bakar.

Tampang lintang makroskopis, Σ_f digenerasi untuk beberapa langkah fraksi bakar dengan rentang diantara 0 – 90 % (hilangnya U-235). Kemudian disusun dalam sebuah pustaka, sehingga dapat dengan mudah dilakukan interpolasi untuk mendapatkan Σ_f sesuai dengan tingkat fraksi bakar di teras. Karena teras reaktor RSG-GAS terdiri dari 40 buah elemen bakar dan 8 buah elemen kendali, maka dilakukan 48 buah interpolasi untuk mendapatkan fraksi bakar seluruh bahan bakar tersebut.

Generasi sel dengan paket program WIMS/D4 juga dilakukan untuk menentukan kecepatan rerata neutron. Tidak seperti dalam pembangkitan Σ_f yang dinyatakan dalam 4 kelompok tenaga neutron, penentuan kecepatan rerata neutron dilakukan dalam 69 kelompok tenaga neutron. Kecepatan rerata neutron dalam 4 kelompok tenaga dihitung dengan membobot kecepatan neutron dalam 69 kelompok tenaga dengan fluks sel rerata.

Parameter Kinetik

Untuk menghitung parameter fraksi neutron kasip digunakan persamaan[4,6],

$$\beta_k = \frac{\int \sum_{g=1}^G \phi_g^*(r) \chi_{dk,g} \sum_{g'=1}^G v_{dk,g'} \Sigma_{f,g'}(r) \phi_{g'}(r) dV}{\int \sum_{g=1}^G \phi_g^*(r) \chi_g \sum_{g'=1}^G v \Sigma_{f,g'}(r) \phi_{g'}(r) dV} \dots\dots\dots(1)$$

Fraksi neuron kasip efektif total adalah jumlah dari semua kelompok β_k ,

$$\beta = \sum_k \beta_k \dots\dots\dots(2)$$

Konstanta peluruhan neutron kasip total adalah,

$$\lambda = \frac{\sum_k \beta_k}{\sum_k \frac{\beta_k}{\lambda_k}} \dots\dots\dots(3)$$

Umur neutron serempak ditentukan dengan persamaan,

$$\Lambda = k_{\text{eff}} \frac{\int \sum_{g=1}^G \phi_g^*(r) \frac{1}{v_h} \phi_g(r) dV}{\int \sum_{g=1}^G \phi_g^*(r) \chi_g \sum_{g'=1}^G v \Sigma_{f,g'}(r) \phi_{g'}(r) dV} \dots\dots\dots(4)$$

Untuk menghitung kecepatan neutron ditentukan dengan,

$$v_h = \frac{\sum_{g=1}^{69} v_g \phi_g}{\sum_{g=1}^{69} \phi_g} \dots\dots\dots(5)$$

$$v_g = 1,3859 \cdot 10^6 \sqrt{E}$$

dengan,

ϕ_g = fluks neutron regular dalam kelompok tenaga g.

ϕ_g^* = fluks neutron adjoint dalam kelompok tenaga g.

$\Sigma_{f,g}$ = tampang lintang makroskopik produksi.

$v\Sigma_{f,g}$ = tampang lintang fisi makroskopik kelompok tenaga g.

$v_{dk,g}$ = jumlah rata-rata neutron per fisi kelompok neutron kasip tenaga g.

$\chi_{dk,g}$ = spektrum neutron kasip kelompok tenaga g.

χ_g = spektrum neutron pembelah kelompok tenaga g.

v_h = kecepatan neutron rerata dalam 4 kelompok.

v_g = kecepatan neutron rerata dalam kelompok tenaga g.

$$E = \sqrt{(E_{i+1})(E_i)}$$

E_{i+1} dan E_i energi pada batas *interval* 69 kelompok.

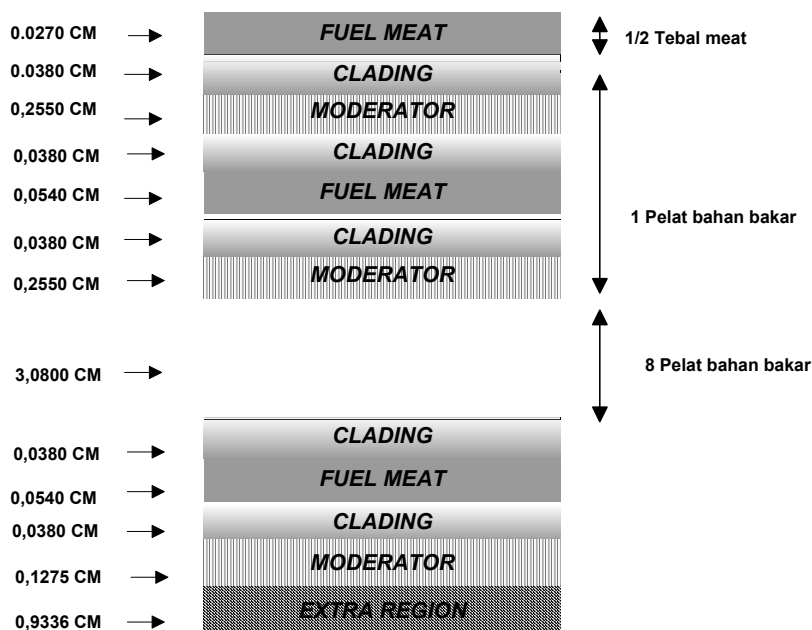
Persamaan penentuan parameter kinetik di atas diselesaikan dalam perhitungan teras dengan metode difusi-gangguan neutron. Dalam metode tersebut dihitung distribusi fluks neutron regular dan adjoint di seluruh teras untuk seluruh kelompok tenaga neutron. Dengan bertambahnya tingkat muat U-235 dalam suilisida maka akan meningkatkan tampang lintang fisi. Kemudian parameter kinetik dihitung dengan

menggunakan data masukan berupa fluks neutron, kecepatan neutron, data neutron kasip dan tampang lintang makroskopis pembelahan untuk tiap isotop penyusun bahan bakar.

METODE PERHITUNGAN

Generasi Sel

Generasi sel elemen bakar reaktor RSG-GAS dalam Gambar 1 dilakukan dengan paket program WIMS/D4 untuk memperoleh tampang lintang makroskopis fisi, Σ_f untuk tiap isotop dapat belah.



Gambar 1. Pemodelan Sel Elemen Bakar Teras RSG-GAS

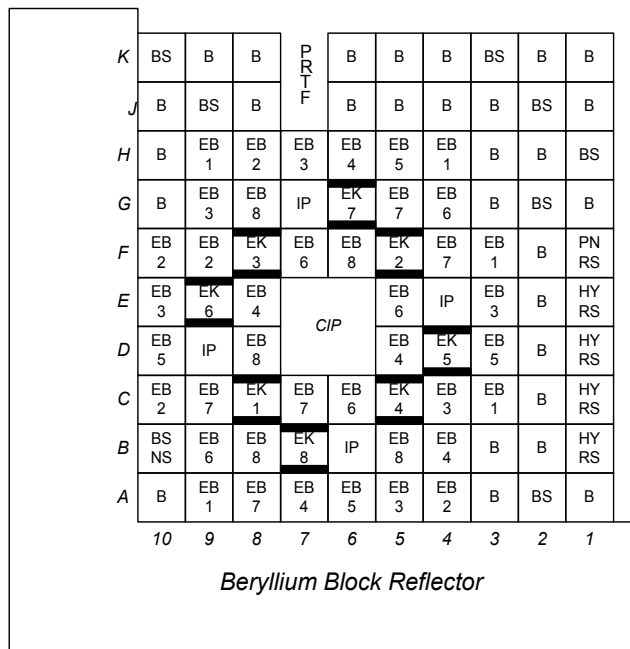
Tampang lintang tersebut dihitung dengan laju reaksi fisi untuk isotop dapat belah U-235, U-238, Pu-239 dan Pu-241. Keempat isotop ini dipilih karena dominan dibandingkan dengan isotop belah lain penyusun bahan bakar dalam menentukan Σ_f bahan bakar.

Tampang lintang makroskopis, Σ_f digenerasi untuk beberapa langkah fraksi bakar dengan rentang diantara 0 – 90 % (hilangnya U-235). Kemudian disusun dalam sebuah pustaka, sehingga dapat dengan mudah dilakukan interpolasi untuk mendapatkan Σ_f sesuai dengan tingkat fraksi bakar di teras. Karena teras reaktor RSG-GAS terdiri

atas 40 buah elemen bakar dan 8 buah elemen kendali, maka dilakukan 48 buah interpolasi untuk mendapatkan fraksi bakar seluruh bahan bakar tersebut.

Generasi sel dengan paket program WIMS/D4 juga dilakukan untuk menentukan kecepatan rerata neutron di awal siklus (BOC). Tidak seperti dalam pembangkitan Σ_f yang dinyatakan dalam 4 kelompok tenaga neutron, penentuan kecepatan rerata neutron dilakukan dalam 69 kelompok tenaga neutron. Kecepatan rerata neutron dalam 4 kelompok tenaga dihitung dengan memboobot kecepatan neutron dalam 69 kelompok tenaga dengan fluks sel rerata.

Kecepatan rerata neutron di akhir siklus (EOC) dilakukan dengan mengoreksi kecepatan neutron awal siklus dengan faktor bocoran dan serapan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat. Selanjutnya dilakukan perhitungan teras dengan paket program Batan-2DIFF. Distribusi fraksi bakar penyusun teras diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Keterangan: EB = Elemen Bakar Standar; EK = Elemen Bakar kendali; BE = Elemen Reflektor Berilium; BS = Elemen Reflektor Berilium dengan Plug; IP = Posisi Iradiasi; CIP = Posisi Iradiasi Tengah; PNRS = Pneumatic Rabbit System; HYRS = Hydraulic Rabbit System.

Gambar 2. Konfigurasi Teras RSG-GAS (angka dalam grid menunjukkan kelas fraksi bakar)

Penentuan Data Neutron Kasip

Jumlah rerata neutron kasip per fisi, ν_d , untuk 4 buah isotop dapat telah dinyatakan dalam Tabel 1 yang merupakan data dari Tuttle[7]. Sedangkan data spektrum neutron kasip diambil dari Saphier dkk[8] seperti yang dinyatakan di dalam Tabel 2.

Table1. Data neutron kasip untuk isotop terseleksi

Isotop	<i>Absolute Delayed-Neutron Yield</i>	k	a_k	ν_{dk}	λ_k (sec^{-1})
U-235 (termal)	0.01654	1	0.038	6.28520×10^{-4}	0.0127
		2	0.213	3.52302×10^{-3}	0.0317
		3	0.188	3.10952×10^{-3}	0.115
		4	0.407	6.73178×10^{-3}	0.311
		5	0.128	2.11712×10^{-3}	1.40
		6	0.026	4.30040×10^{-4}	3.87
U-238 (cepat)	0.04510	1	0.013	5.86300×10^{-4}	0.0132
		2	0.137	6.17870×10^{-3}	0.0321
		3	0.162	7.30620×10^{-3}	0.139
		4	0.388	1.74988×10^{-2}	0.358
		5	0.225	1.01475×10^{-2}	1.41
		6	0.075	3.38250×10^{-3}	4.02
Pu-239 (termal)	0.00624	1	0.038	2.37120×10^{-4}	0.0129
		2	0.280	1.74720×10^{-3}	0.0311
		3	0.216	1.34784×10^{-3}	0.134
		4	0.328	2.04672×10^{-3}	0.331
		5	0.103	6.42720×10^{-4}	1.26
		6	0.035	2.18400×10^{-4}	3.21
Pu-241 (termal)	0.0156	1	0.010	1.56000×10^{-4}	0.0128
		2	0.229	3.57240×10^{-3}	0.0299
		3	0.173	2.69880×10^{-3}	0.124
		4	0.390	6.08400×10^{-3}	0.352
		5	0.182	2.83920×10^{-3}	1.61
		6	0.016	2.49600×10^{-4}	3.47

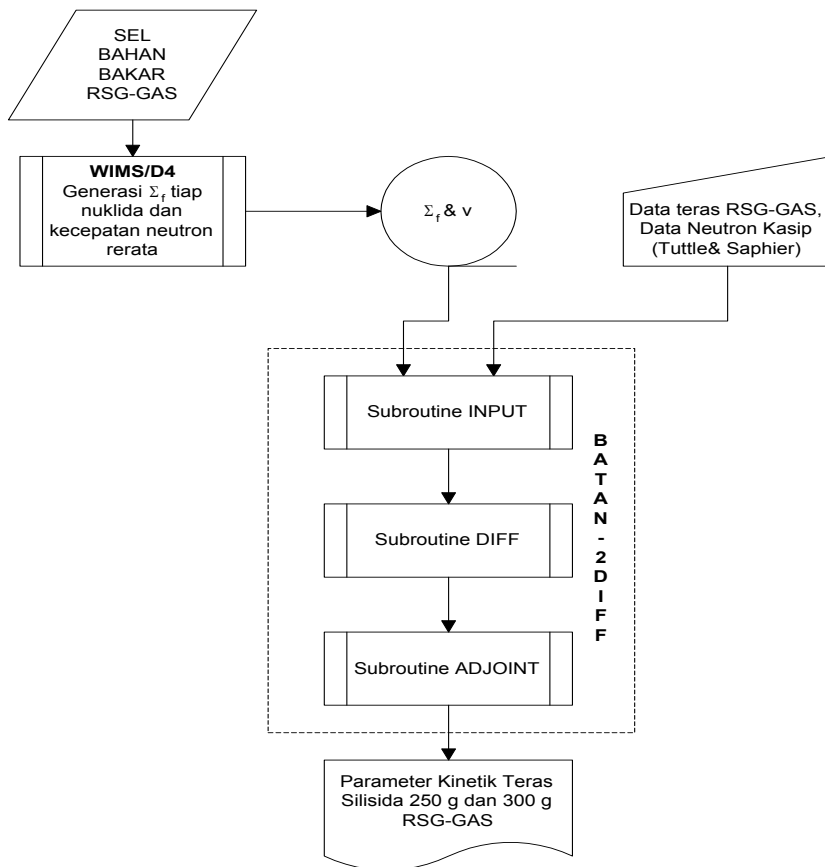
Table 2. Data χ_{dk} untuk isotop terseleksi

g	U-235 (termal)					
	χ_{d1}	χ_{d2}	χ_{d3}	χ_{d4}	χ_{d5}	χ_{d6}
1	7.35372E-03*	1.37537E-01	7.74584E-02	1.36462E-01	1.12915E-01	1.00518E-01
2	9.92646E-01	8.62463E-01	9.22542E-01	8.63538E-01	8.87085E-01	8.99482E-01
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
g	U-238 (cepat)					
	χ_{d1}	χ_{d2}	χ_{d3}	χ_{d4}	χ_{d5}	χ_{d6}
1	6.69170E-03	1.46476E-01	9.17661E-02	1.35104E-01	8.59160E-02	1.01099E-01
2	9.93308E-01	8.53524E-01	9.08234E-01	8.64896E-01	9.14084E-01	8.98901E-01
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
g	Pu-239 (termal)					
	χ_{d1}	χ_{d2}	χ_{d3}	χ_{d4}	χ_{d5}	χ_{d6}
1	6.69190E-03	1.60751E-01	8.49384E-02	1.15832E-01	9.01144E-02	9.96721E-02
2	9.93308E-01	8.39249E-01	9.15062E-01	8.84168E-01	9.09886E-01	9.00328E-01
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
g	Pu -241 (termal)					
	χ_{d1}	χ_{d2}	χ_{d3}	χ_{d4}	χ_{d5}	χ_{d6}
1	6.69190E-03	1.63832E-01	9.29381E-02	1.13213E-01	8.74192E-02	1.01071E-01
2	9.93308E-01	8.36168E-01	9.07062E-01	8.86787E-01	9.12581E-01	8.98929E-01
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

Catatan : * Dibaca sebagai 7.35372×10^{-3}

Perhitungan Parameter Kinetik Teras

Perhitungan parameter kinetik teras silisida reaktor RSG-GAS dilakukan dengan paket program difusi neutron 2-dimensi Batan-2DIFF. Teras silisida dimodelkan dalam geometri 2-dimensi X-Y. Dan perhitungan parameter kinetik dilakukan dalam 4 kelompok tenaga neutron. Dalam paket program Batan-2DIFF dilakukan perhitungan nilai pribadi (k_{eff}), distribusi fluks reguler dan *adjoint*. Subroutine ADJOINT dalam program Batan-2DIFF melakukan perhitungan parameter kinetik teras silisida seperti yang dinyatakan dalam persamaan (1) - (4). Diagram alir metode perhitungan parameter kinetik RSG-GAS ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Perhitungan Parameter Kinetik.

Perhitungan Parameter Kinetik Teras

Perhitungan parameter kinetik teras silisida reaktor RSG-GAS dilakukan dengan paket program difusi neutron 2-dimensi Batan-2DIFF. Teras silisida dimodelkan dalam geometri 2-dimensi X-Y. Dan perhitungan parameter kinetik dilakukan dalam 4 kelompok tenaga neutron. Dalam paket program Batan-2DIFF dilakukan perhitungan nilai pribadi (k_{eff}), distribusi fluks reguler dan *adjoint*, Subroutine ADJOINT dalam program Batan-2DIFF melakukan perhitungan parameter kinetik teras silisida seperti yang dinyatakan dalam persamaan (1) - (4).

Data masukan yang diperlukan oleh subprogram ini adalah distribusi fluks neutron reguler dan *adjoint*, kecepatan rerata neutron, data neutron kasip dan tampang lintang makroskopis pembelahan sebagai fungsi isotop penyusun bahan bakar silisida, Dengan data tersebut, subprogram dapat menentukan fraksi neutron kasip efektif β , konstanta peluruhan neutron serempak, λ dan umur neutron serempak, Λ .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan program WIMS/D4 dan Batan-2DIFF ditentukan parameter kinetik untuk elemen bakar silisida berkerapatan 4,8 g U/cc. Hasil perhitungan untuk teras silisida 4,8 g U/cc ditunjukkan dalam Tabel 3. Untuk perhitungan parameter kinetik dengan kerapatan 2,96 g U/cc dan 3,55 g U/cc masing-masing ditunjukkan dalam Tabel 4 dan 5.

Tabel 3. Harga Parameter Kinetik Teras silisida 4,8 g U/cc

Kelompok	Fraksi Neutron Kasip (β_k)	Konstanta Peluruhan Neutron Kasip (λ_k)
1,	$2,66221 \cdot 10^{-04}$	$1,27065 \cdot 10^{-02}$
2,	$1,49756 \cdot 10^{-03}$	$3,16613 \cdot 10^{-02}$
3,	$1,32957 \cdot 10^{-03}$	$1,16027 \cdot 10^{-01}$
4,	$2,83766 \cdot 10^{-03}$	$3,12390 \cdot 10^{-01}$
5,	$9,11018 \cdot 10^{-04}$	$1,40117 \cdot 10^{-00}$
6,	$1,90532 \cdot 10^{-04}$	$3,86104 \cdot 10^{+00}$
Fraksi Neutron Kasip Total: $7,03256 \cdot 10^{-03}$		
Konstanta Peluruhan Neutron Kasip Total: $7,85820 \cdot 10^{-02} \text{ s}^{-1}$		
<i>Umur Neutron Serempak: 55,4900 μs</i>		

Tabel 4. Harga Parameter Kinetik Teras Silisida 2,96 g U/cc

Kelompok	Fraksi Neutron Kasip (β_k)	Konstanta Peluruhan Neutron Kasip (λ_k)
1,	$2,74409 \cdot 10^{-04}$	$1,27039 \cdot 10^{-02}$
2,	$1,52818 \cdot 10^{-03}$	$3,16818 \cdot 10^{-02}$
3,	$1,35854 \cdot 10^{-03}$	$1,15611 \cdot 10^{-01}$
4,	$2,90688 \cdot 10^{-03}$	$3,11763 \cdot 10^{-01}$
5,	$9,26148 \cdot 10^{-04}$	$1,39968 \cdot 10^{+00}$
6,	$1,92124 \cdot 10^{-04}$	$3,86538 \cdot 10^{+00}$
Fraksi Neutron Kasip Total: $7,18629 \cdot 10^{-03}$		
Konstanta Peluruhan Neutron Kasip Total: $7,84341 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$		
<i>Umur Neutron Serempak: 64,5126 μs</i>		

Tabel 5. Harga Parameter Kinetik Teras Silisida 3,55 gU/cm³

<i>Kelompok</i>	Fraksi Neutron Kasip (β_k)	Konstanta Peluruhan Neutron Kasip (λ_k)
1,	2,69844.10 ⁻⁰⁴	1,27053.10 ⁻⁰²
2,	1,51031.10 ⁻⁰³	3,16700.10 ⁻⁰²
3,	1,34142.10 ⁻⁰³	1,15833.10 ⁻⁰¹
4,	2,86511.10 ⁻⁰³	3,12064.10 ⁻⁰¹
5,	9,15863.10 ⁻⁰⁴	1,40040.10 ⁺⁰⁰
6,	1,90684.10 ⁻⁰⁴	3,86110.10 ⁺⁰⁰
Fraksi Neutron Kasip Total: 7,09324.10 ⁻⁰³		
Konstanta Peluruhan Neutron Kasip Total: 7,84712.10 ⁻² s ⁻¹		
Umur Neutron Serempak: 62,8128 μ s		

Untuk elemen bakar silisida 4,8 g U/cc harga fraksi neutron kasip efektif total 7,03256E-03 dan konstanta peluruhan neutron kasip masing-masing 7,85820.10⁻⁰² s⁻¹. Jika kedua harga ini dibandingkan dengan silisida kerapatan 2,96 g U/cc dan 3,55 g U/cc maka tidak ada perbedaan yang signifikan.

Harga umur neutron serempak untuk silisida 4,8 g U/cc adalah 55,4900 μ s dan kondisi teras silisida 2,96 g U/cc sebesar 64,5126 μ s, sedangkan silisida 3,55 g U/cc sebesar 62,8128 μ s. Umur neutron serempak berkurang dibandingkan dengan silisida 2,96 g U/cc dan 3,55 g U/cc. Penurunan ini diakibatkan bertambahnya fraksi bakar dalam teras dimana terbentuknya plutonium dan hasil fisi dalam teras reactor. Perbedaan tidak terlalu besar sehingga bila terjadi pergantian bahan bakar dari silisida 2,96 g U/cc ke silisida 4,8 g U/cc tidak begitu berpengaruh terhadap pola operasi RSG-GAS.

KESIMPULAN

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga umur neutron serempak turun dengan bertambahnya kerapatan silisida. Ini disebabkan bertambahnya fraksi bakar dalam teras reactor, tetapi penurunannya tidak begitu signifikan sehingga tidak akan berpengaruh terhadap keselamatan operasi reactor. Ditinjau dari segi neutronik maka penggantian elemen bakar silisida kerapatan rendah ke silisida dengan kerapatan 4,8 gU/cc dapat dilakukan,

DAFTAR PUSTAKA

1. Surian Pinem dan Tagor M Sembiring , “Analisis Parameter Kinetik RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida dengan Kerapatan 2,96 g U/cc dan 3,55 g U/cc”, Majalah Batan, Vol, **XXXIV** No, $\frac{3}{4}$, Juli/Oktober 2001
2. Lily Suparlina dan Tagor M,S ,”Manajemen RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida 4,8 g U/cc”, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklur Indonesia, Vol, **IV**, 4 Agustus 2003
3. ROTH,M,J, “The Preparation of Input Data WIMS/D4”, New York, 1976,
4. LIEM P, H, “ Development and Verification of Batan’s Standard, Two Dimensional Multigroup Neutron Diffusion Code (Batan-2DIFF)”Atom Indonesia, Vol, **20**, No, 1, 1 (1994)
5. DANIEL ROZON,”Introduction to Nuclaer Reactor Kinetiks”, Polytechnic International Press,1988
6. OTT,K,O, ”Nuclear Reactor Dynamics”, American Nuclear Society, Illinois, USA,1985
7. TUTTLE, R,J,, “Delay Neutron Data For Reactor Physics Analysis “, Nuclear , Science Engineering ,, **56**, 37, 1975
8. SAPHIER, D,, Evaluated Delayed Neutron Spectra and Their Importance “, Nuclear Science Engineering,,**62**, 660, 1977