

## ANALISIS KOEFISIEN REAKTIVITAS TERAS RSG-GAS BERBAHAN BAKAR $U_3Si_2$ -Al 4,8gU/cc DENGAN KAWAT KADMIUM MENGGUNAKAN SRAC

Oleh

Jati Susilo

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

### ABSTRAK

**Analisis Koefisien Reaktivitas Teras RSG-GAS Berbahan Bakar  $U_3Si_2$ -Al 4,8gU/cc Dengan Kawat Kadmium Menggunakan SRAC.** Penelitian sebelumnya telah dilakukan perhitungan faktor daya (ppf) dan reaktivitas batang kendali teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al 4,8gU/cc dengan kawat kadmium. Nilai Reaktivitas batang kendali dan ppf teras tersebut telah memenuhi margin keselamatan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap parameter keselamatan teras lainnya yaitu koefisien reaktivitas teras yang meliputi koefisien reaktivitas suhu dan koefisien reaktivitas void moderator. Koefisien reaktivitas suhu bahan bakar adalah perubahan reaktivitas teras akibat naiknya suhu bahan bakar. Sedangkan koefisien reaktivitas void perlu diketahui sebagai gambaran perubahan reaktivitas teras jika terjadi hal-hal tertentu yang mengakibatkan berkurangnya densitas air. Perhitungan koefisien reaktivitas teras dilakukan dengan paket program SRAC modul CITATION. Sedangkan perhitungan persiapan tampang lintang makroskopis elemen bakar dan elemen kendali dilakukan dengan modul PIJ. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,8gU/cc dengan kawat kadmium mempunyai koefisien reaktivitas suhu bahan bakar dan koefisien reaktivitas void yang negatif. Atau dengan kata lain bahwa jika terjadi penurunan densitas moderator atau kenaikan suhu bahan bakar, maka reaktivitas teras akan berkurang (populasi neutron menurun). Sehingga teras tersebut telah memenuhi prinsip desain keselamatan teras reaktor yaitu mempunyai sifat *inherent safety*.

**Kata Kunci ;** Koefisien Reaktivitas, Suhu Bahan Bakar, Void, SRAC

### ABSTRACT

**Analysis Of The Coefficient Reactivity for RSG-GAS Fueled  $U_3Si_2$ -Al 4,8gU/cc with Cadmium Wire Using SRAC.** Previous research has been done the calculation power factor (PPF) and control rod reactivity RSG-GAS core fueled  $U_3Si_2$ -Al 4.8 GU / cc with a cadmium wire. Control rods reactivity values and PPF of the reactor core has met with margin of safety. In this study conducted an analysis of reactor core safety parameters such as coefficient of reactivity. The coefficient of reactivity is one of the kinetic parameters of the reactor in the safety analysis of the core, including reactivity coefficients of temperature and moderator void reactivity coefficients. Fuel temperature coefficient reactivity is the change in reactivity due to rising fuel temperature. While the void reactivity coefficient of reactivity changes if certain things occur that result in reduced water density. Koefisien reactivity calculations performed with the program package terrace SRAC CITATION module. The calculation of macroscopic preparation for fuel elements and control elements is done by module PIJ. Calculation results indicate that RSG-GAS core fueled  $U_3Si_2$ -Al density 4.8 gU/cc with cadmium wire has the negative fuel temperature coefficient and the negative void reactivity coefficient. Or in other words that if a decreased density of the moderators or the fuel temperature increases, the core will be reduced reactivity (neutron population decreases). So that the core is in compliance with the safety of the reactor core design principles that should have inherent safety characteristic.

**Key Words ;** Fuel Temperature, Void, SRAC, coefficient reactivity

## PENDAHULUAN

RSG-GAS merupakan reaktor riset yang menggunakan bahan bakar berbentuk pelat tipe MTR (*Material Testing Reactor*). Sejak siklus operasi teras ke-1 hingga siklus ke-35 digunakan bahan bakar jenis oksida ( $U_3O_8$ -Al) kerapatan 2,96 gU/cc<sup>1</sup>. Sedangkan sejak teras ke-36 telah dilakukan konversi bahan bakarnya dari jenis oksida ke silisida ( $U_3Si_2$ -Al) kerapatan 2,96 gU/cc secara bertahap, sehingga pada siklus operasi teras ke-45 telah digunakan bahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 2,96 gU/cc tersebut secara penuh<sup>2</sup>. Dalam rangka optimalisasi panjang siklus operasi, maka telah dilakukan penelitian tentang penggunaan bahan bakar  $U_3Si_2$ -Al dengan kerapatan yang lebih tinggi pada teras RSG-GAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,80 gU/cc dapat mencapai panjang siklus operasi sekitar 48 hari pada daya 30 MW.<sup>3</sup> Tetapi kenaikan siklus operasi reaktor tersebut juga mengakibatkan kenaikan reaktivitas lebih teras sehingga margin keselamatan teras terlampaui yaitu nilai reaktivitas teras pada saat satu batang kendali terbesar gagal masuk (*one stuck rod*) bernilai positif<sup>4</sup>. Untuk memenuhi syarat margin reaktivitas padam kondisi *one stuck rod* bernilai negatif, maka untuk teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,8 gU/cc diperlukan diameter kawat kadmium minimal 0,7 mm<sup>5</sup>. Penelitian juga telah dilakukan terhadap distribusi faktor daya (ppf, *power peaking faktor*) teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,8 gU/cc dengan penambahan kawat kadmium. Nilai ppf teras tersebut

menunjukkan nilai (1,22) yang masih dibawah batas keselamatan dalam LAK (1,4)<sup>6</sup>.

Selain kedua faktor tersebut, parameter keselamatan teras lainnya yang perlu untuk diketahui adalah koefisien reaktivitas void dan koefisien reaktivitas suhu bahan bakar<sup>7</sup>. Koefisien reaktivitas void perlu diketahui untuk analisis reaktivitas teras jika terjadi hal-hal tertentu yang mengakibatkan kondisi teras dalam keadaan berkurangnya densitas moderator. Sedangkan koefisien reaktivitas suhu untuk mengetahui perubahan reaktivitas teras akibat naiknya suhu bahan bakar.

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan koefisien reaktivitas void dan koefisien reaktivitas suhu bahan bakar teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium. Dan sebagai pembandingan adalah nilai hasil perhitungan koefisien reaktivitas teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 2,96 gU/cc. Kedua perhitungan tersebut dilakukan dengan paket program SRAC modul CITATION<sup>8</sup> bentuk geometri teras 3 dimensi. Sedangkan perhitungan tampang lintang elemen bakar dan elemen batang kendali dilakukan dengan modul PIJ. Dari analisis hasil perhitungan diharapkan dapat diketahuinya sifat-sifat koefisien reaktivitas teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium sebagai akibat dari timbulnya void dan naiknya suhu bahan bakar.

## TEORI DAN METODOLOGI

### Koefisien Reaktivitas Suhu Bahan Bakar

Akibat terjadinya reaksi fisi antara neutron dan bahan bakar maka akan dihasilkan energi panas sehingga suhu bahan bakar naik. Ke-

naikan suhu bahan bakar akan berdampak pada perubahan besarnya reaktivitas teras. Besaran yang menunjukkan perubahan reaktivitas karena terjadinya kenaikan suhu bahan bakar dinamakan koefisien reaktivitas suhu bahan bakar. Jika perubahan suhu dinyatakan dengan  $\partial T$ , maka koefisien reaktivitas suhu bahan bakar  $\alpha_T$ <sup>7]</sup> dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$\alpha_T = \frac{\partial \rho}{\partial T} \cong \frac{1}{k_{eff}} \frac{\partial k_{eff}}{\partial T} \dots (1)$$

dengan,  $\rho$  = reaktivitas,  $\alpha_T$  = koefisien reaktivitas suhu bahan bakar,  $\partial T$  = perubahan suhu,  $k_{eff}$  = faktor perlipatan efektif.

### Koefisien Reaktivitas Void

Pada suatu kondisi operasi reaktor yang tidak normal, maka akan terjadi perubahan kenaikan suhu bahan bakar maupun moderator yang ekstrim. Suhu moderator dapat mencapai tingkat suhu saturasi H<sub>2</sub>O yaitu suhu di atas 100°C, kemudian terbentuk gelembung-gelembung udara (void). Terbentuknya void tersebut secara otomatis akan menurunkan densitas H<sub>2</sub>O di dalam teras. Perubahan tersebut juga akan mengakibatkan perubahan reaktivitas teras. Besaran yang menunjukkan perubahan reaktivitas akibat terjadinya void dinamakan dengan koefisien reaktivitas void. Jika fraksi

void dinyatakan dengan  $\partial V$ , maka koefisien reaktivitas void  $\alpha_V$ <sup>7]</sup> dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$\alpha_V = \frac{\partial \rho}{\partial V} \cong \frac{1}{k_{eff}} \frac{\partial k_{eff}}{\partial V} \dots (2)$$

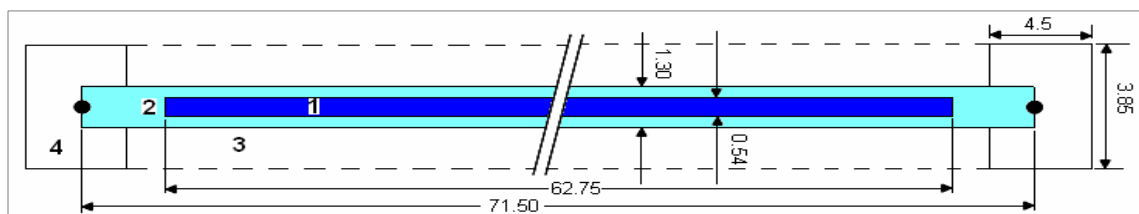
dengan,

$\rho$  = reaktivitas,  $\alpha_V$  = koefisien reaktivitas void,  $\partial V$  = fraksi void,  $k_{eff}$  = faktor perlipatan efektif

### Pemodelan Kisi Sel, Elemen Bahan Bakar-dan Teras Reaktor

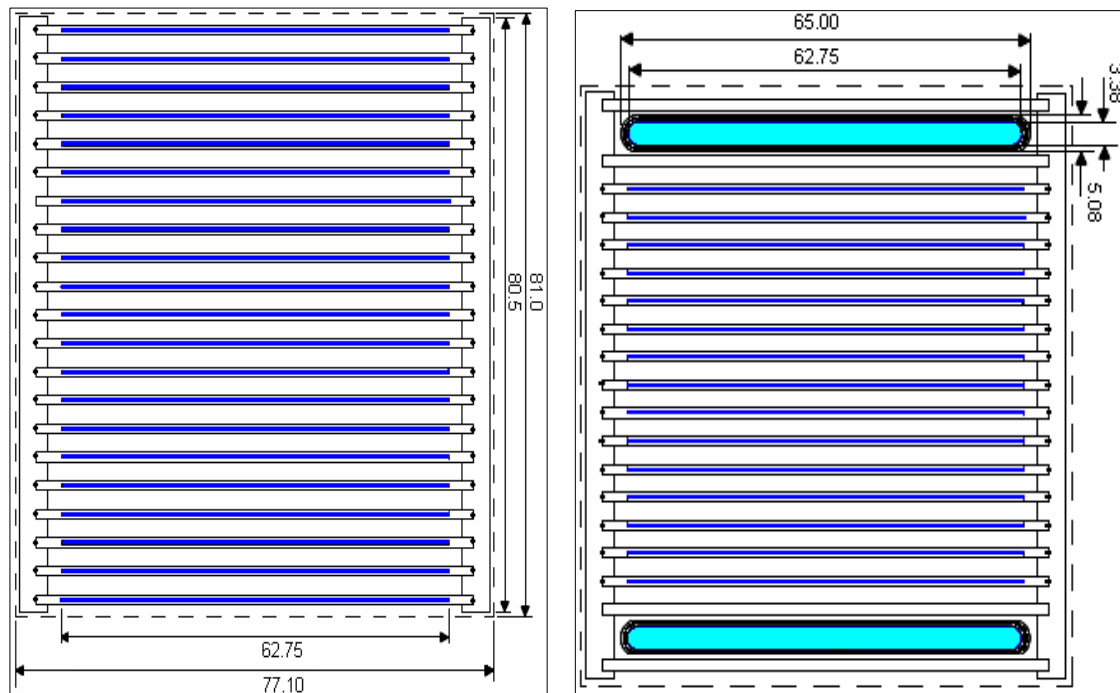
Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, kisi sel bahan bakar tersusun dari pelat bahan bakar, moderator, dan *side plate*. Pelat bahan bakar terdiri dari *meat* bahan bakar yang terbuat dari U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al kerapatan 4,8 gU/cc dengan ukuran lebar 0,54 mm, panjang 62,75 mm, dan tinggi 600 mm dan kelongsong bahan bakar terbuat dari AlMg<sub>2</sub> dengan ketebalan 0,38 mm. Jarak antar pelat bahan bakar adalah 2,55 mm yang berisi air ringan yang berfungsi sebagai moderasi neutron dan pendingin bahan bakar.

Penambahan kawat kadmium dilakukan pada kedua ujung pelat bahan bakar dengan panjang 600 mm yang disesuaikan dengan panjang aktif bahan bakar, dan diameter 0,7 mm.



Keterangan ; 1. Bahan bakar, 2. Kelongsong, 3. Moderator, 4. *Side plate* (AlMg<sub>2</sub>), • kawat kadmium

Gambar 1. Kisi sel bahan bakar yang telah dipasang kawat kadmium (ukuran dalam mm)

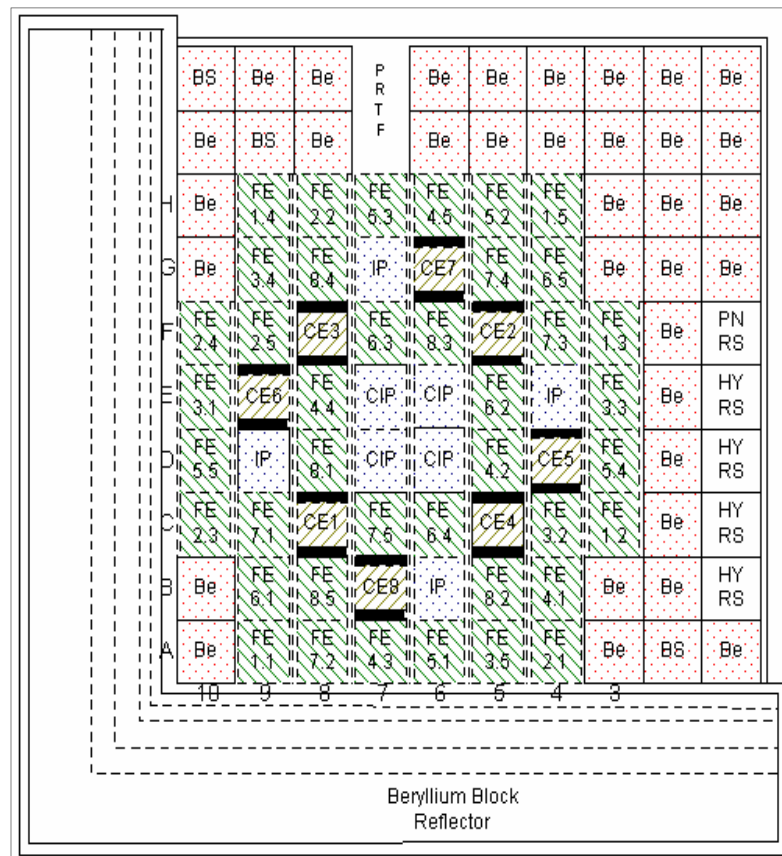


Gambar 2. Elemen bahan bakar standar dan elemen kendali teras RSG-GAS dengan kawat kadmium

Elemen bahan bakar RSG-GAS dapat dibagi menjadi dua bentuk yaitu elemen bahan bakar standar dan elemen kendali. Elemen bahan bakar standar seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (kiri) terdiri dari 21 pelat bahan bakar yang tersusun pada rak di kedua ujungnya. Diantara pelat-pelat bahan bakar dilalui oleh moderator yang berupa air ringan. Panjang, lebar dan tinggi elemen bahan bakar adalah 81 mm, 77,1 mm dan 600 mm, sedangkan jumlah total di dalam teras adalah sebanyak 40 unit. Perhitungan elemen bahan bakar dilakukan dalam bentuk geometri 2 dimensi dengan menggunakan modul PIJ untuk mendapatkan tampang lintang makroskopik. Pada dasarnya elemen kendali seperti ditunjukkan pada Gambar 2. (kanan) serupa dengan elemen bahan bakar standar, hanya saja tiga pelat di kedua sisi diganti

dengan bahan penyerap dan rumah bahan penyerap. Sehingga elemen kendali tersusun dari 15 pelat bahan bakar, rak bahan bakar, 4 pelat pengarah, bahan penyerap dan kelongsong bahan penyerap. Kelongsong penyerap dan bahan penyerap pada saat kondisi *fully-up* batang kendali akan berisi moderator air ringan.

Teras setimbang RSG-GAS seperti ditunjukkan pada Gambar 3. tersusun dari 40 elemen bakar standar (FE), 8 elemen kendali (CE) dengan 8 pasang batang kendali AgInCd, 4 posisi iradiasi CIP (*Central Irradiation Positions*) & 4 IP (*Irradiation Positions*), 5 sistem *rabbit*, dan material lainnya yang berada di luar teras aktif seperti *shroud*, elemen berillium dan reflektor blok berillium. Daerah terluar teras reaktor dikelilingi oleh reflektor air ringan.



Keterangan ; F.E.x.y= bahan bakar standar kelas ke-x nomor ke-y, C.E.x = elemen kendali kelas ke-x, IP&CIP= posisi iradiasi, Be & BS = elemen berillium, PNRS&HYRS = sistem *rabbit*, PRTF= fasilitas uji daya *ramp*

Gambar 3. Konfigurasi teras setimbang RSG-GAS arah x-y

### Alur Perhitungan Reaktivitas Teras Dengan SRAC

Gambar 4. menunjukkan diagram alir perhitungan koefisien reaktivitas teras dengan paket program SRAC. Perhitungan tampang lintang kisi sel bahan bakar, elemen bakar bentuk geometri 2 dimensi dilakukan dengan modul PIJ, sedangkan material TOF dan BOF dengan modul ANISN, serta material non bahan bakar lainnya dengan CITATION 2 dimensi. Data tampang lintang tersebut digunakan sebagai inputan dalam perhitungan teras dengan menggunakan modul CITATION 3 dimensi.

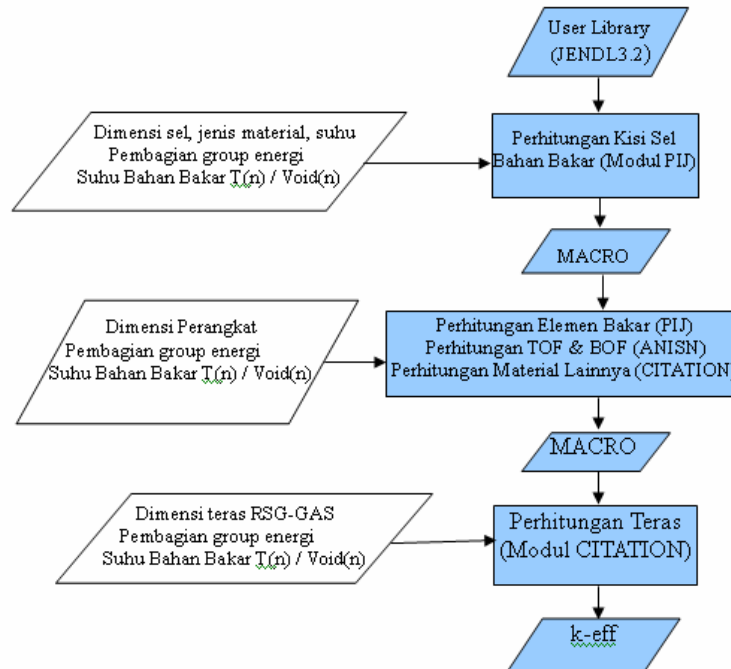
Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan koefisien reaktivitas teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium. Perhitungan tersebut dilakukan dengan paket program SRAC modul CITATION bentuk geometri 3 dimensi. Perhitungan reaktivitas teras dilakukan dengan kondisi sebagai berikut ;

Pada saat suhu saturasi dengan fraksi void 0%, 5%, 15%, 25%, 35%, 45% dan 55%

Suhu bahan bakar dimulai dari suhu kamar 25°C yaitu suhu saat teras tidak beroperasi, kemudian suhu dinaikkan berturut turut menjadi 50°C, 75°C, 100°C, 125°C, dan 150°C

Hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan nilai koefisien reaktivitas teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan

2,96 gU/cc hasil perhitungan juga dengan SRAC-CITATION.



Gambar 4. Diagram Alir Perhitungan Koefisien Reaktivitas Teras Dengan SRAC

#### HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN Koefisien Reaktivitas Suhu Bahan Bakar

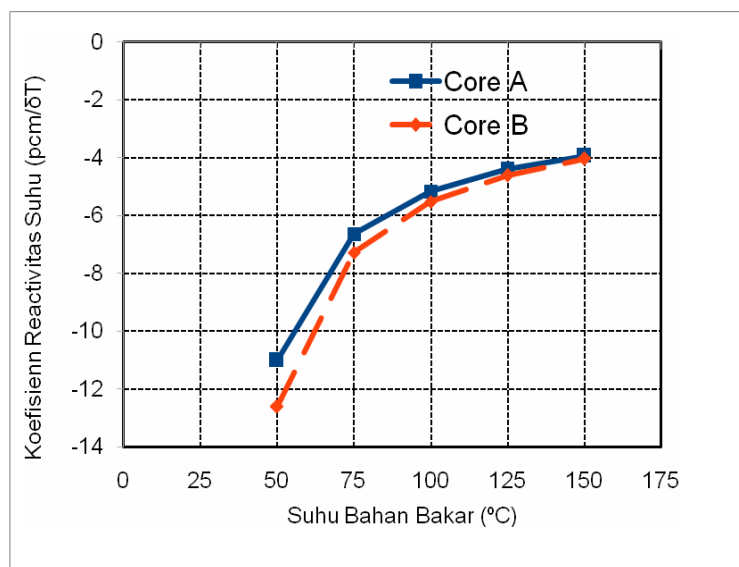
Tabel 1. menunjukkan perubahan nilai reaktivitas teras akibat perubahan suhu bahan bakar teras RSG-GAS dan perbedaannya antara pada  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium (Core A) dan  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 2,96 gU/cc (Core B). Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa naiknya suhu bahan bakar akan mengakibatkan sedikit turunnya nilai reaktivitas teras baik pada teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  4,8 gU/cc dengan kawat kadmium (Core A) maupun  $U_3Si_2-Al$  2,96 gU/cc (Core B). Besarnya perubahan reaktivitas pada

kedua teras tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan yang paling besar saat naiknya suhu bahan bakar dari 25 °C menjadi 50 °C yaitu hanya -0,04% $\Delta k/k$ . Hal tersebut disebabkan karena jenis bahan bakar yang digunakan sama yaitu  $U_3Si_2-Al$ , perbedaan terletak pada besarnya kerapatan uraniumnya saja. Sehingga dapat dikatakan bahwa akibat kenaikan suhu bahan bakar  $U_3Si_2-Al$  4,8 gU/cc dengan kawat kadmium pada teras RSG-GAS menunjukkan karakteristik perubahan reaktivitas yang hampir sama dengan bahan bakar  $U_3Si_2-Al$  2,96 gU/cc.

Tabel 1. Perubahan reaktivitas teras akibat perubahan suhu bahan bakar

Suhu Bahan Bakar (T)	Faktor Multiplikasi Efektif (keff)		Reaktivitas $\rho_T(\% \Delta \rho / \rho)$		Perubahan Reaktivitas ( $\Delta \rho = \rho_{T-25}^0$ )		Perbedaan ( $\Delta \rho_A, \Delta \rho_B$ )
	Core A	Core B	Core A	Core B	Core A	Core B	
25 °C	1,084767	1,1048818	7,81	9,49	0	0	0
50 °C	1,081540	1,101050	7,54	9,18	-0,27	-0,31	0,04
75 °C	1,080873	1,100455	7,48	9,13	-0,33	-0,36	0,03
100 °C	1,080231	1,099850	7,43	9,08	-0,38	-0,41	0,03
125 °C	1,079610	1,099292	7,37	9,03	-0,44	-0,46	0,02
150 °C	1,079001	1,098758	7,32	8,99	-0,49	-0,50	0,01

Gambar 5. menunjukkan perbandingan perubahan koefisien reaktivitas suhu bahan bakar pada teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  2,96 gU/cc dan masih bernilai negatif. Sehingga teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 2,96 gU/cc dengan kawat kadmium (Core B). Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan bahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium memenuhi syarat desain keselamatan karena mempunyai sifat *inherent safety* yaitu koefisien reaktivitas suhu bahan bakar tidak mengaki-



Gambar 5. Perubahan Koefisien Reaktivitas Suhu Bahan Bakar Terhadap Suhu Bahan Bakar

### Koefisien Reaktivitas Void

Tabel 2. menunjukkan perbandingan perubahan reaktivitas teras yang disebabkan oleh perubahan prosentase void moderator pada teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 2,96 gU/cc (Core A) dan  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium (Core B). Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa perubahan bahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 2,96 gU/cc (Core A) menjadi  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium (Core B) pada teras RSG-GAS tidak menunjukkan perbedaan karakteristik perubahan nilai reaktivitas yang semakin kecil akibat naiknya prosentase void pada moderator. Hal tersebut disebabkan karena

semakin besar prosentase void maka semakin kecil densitas air sehingga jumlah neutron cepat yang termoderasi menjadi neutron termal menurun ( $k_{eff}$  mengecil). Besarnya perubahan reaktivitas teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium (Core B) sedikit lebih kecil jika dibandingkan jika berbahan bakar  $U_3Si_2$ -Al kerapatan 2,96 gU/cc (Core A). Perbedaan paling besar sekitar 2,85% $\Delta k/k$  yaitu pada saat prosentase void sebesar 55%. Hal tersebut disebabkan karena bahan bakar yang digunakan pada Core B mengandung kawat kadmium yang berfungsi sebagai penyerap neutron.

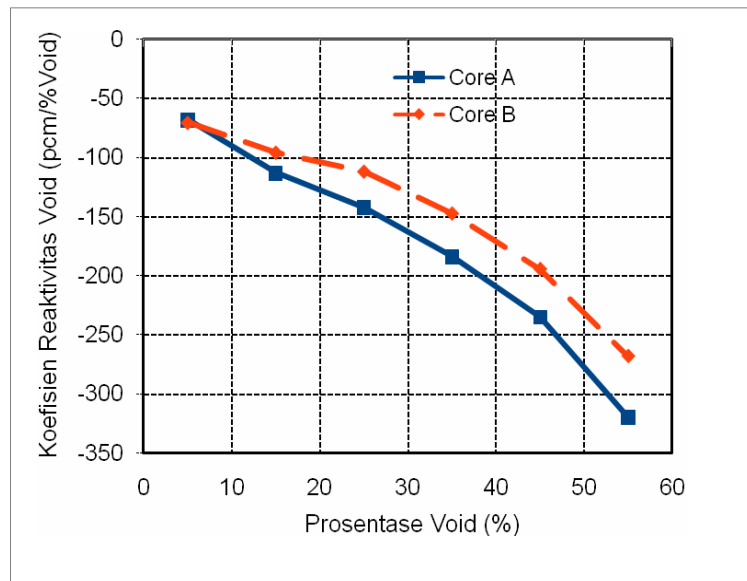
Tabel 2. Perubahan reaktivitas teras akibat perubahan prosentase void

Fraksi Void (V)	Faktor Multiplikasi Efektif ( $k_{eff}$ )		Reaktivitas $\rho_V$ (% $\Delta k/k$ )		Perubahan Reaktivitas ( $\Delta\rho_{V=\rho\%-\rho V}$ )		Perbedaan ( $\Delta\rho_A - \Delta\rho_B$ )
	Core A	Core B	Core A	Core B	Core A	Core B	
0%	1,077959	1,104866	7,23	9,49	0	0	0
5%	1,058641	1,100591	5,54	9,14	-1,69	-0,35	-1,34
15%	1,044936	1,087637	4,30	8,06	-2,93	-1,43	-1,50
25%	1,038182	1,071815	3,68	6,70	-3,55	-2,79	-0,74
35%	1,008119	1,045367	0,81	4,34	-6,42	-5,15	-1,27
45%	0,967719	1,007592	-3,34	0,75	-10,57	-8,74	-1,83
55%	0,906157	0,950121	-10,36	-5,25	-17,59	-14,74	-2,85

Keterangan ; Core A = Teras RSG-GAS  $U_3Si_2$ -Al 2,96 gU/cc

Core B = Teras RSG-GAS  $U_3Si_2$ -Al 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium





Gambar 6. Perubahan Koefisien Reaktivitas Void Terhadap Prosentase Void

Gambar 6. menunjukkan perbandingan perubahan koefisien reaktivitas void terhadap besarnya prosentase void antara teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 2,96 gU/cc (Core A) dan  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium (Core B). Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa koefisien reaktivitas void pada teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium (Core B) tidak mengalami perubahan yang signifikan terhadap teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 2,96 gU/cc (Core A) yaitu masih bernilai negatif. Perubahan koefisien reaktivitas void semakin kecil dengan berkurangnya densitas moderator (prosentase void semakin besar). Hal tersebut disebabkan karena berkurangnya jumlah neutron cepat yang termoderasi menjadi neutron termal yang berdampak pada semakin sedikitnya reaksi fisi bahan bakar. Sehingga dapat diaktakan juga bahwa teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium memenuhi syarat desain keselamatan teras karena mempunyai sifat *inherent*

*safety* yaitu koefisien reaktivitas void negatif<sup>9]</sup>.

Jika dilihat dari Gambar 5. dan Gambar 6. diatas, maka diketahui bahwa terjadi perbedaan fenomena perubahan koefisein reaktivitas. Untuk koefisien reaktivitas suhu bahan bakar (Gambar 5.) pada teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc (Core B) dengan kawat kadmium sedikit lebih kecil dibanding  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 2,96 gU/cc (Core A), sebaliknya untuk koefisien reaktivitas void (Gambar 6.) pada teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc (Core B) dengan kawat kadmium sedikit lebih besar dibanding  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 2,96 gU/cc (Core A). Hal tersebut dikarenakan karena perubahan nilai  $k_{eff}$ , sedangkan nilai  $k_{eff}$  bergantung lebih dominan pada material penyusun teras (prosentase void) daripada suhu bahan bakar. Karena nilai  $k_{eff}$  teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc (Core B) lebih besar dari  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 2,96 gU/cc (Core A), sehingga perubahan prosentase void akan menghasilkan perubahan reaktivitas yang juga lebih besar.

**KESIMPULAN**

Telah dilakukan perhitungan nilai koefisien reaktivitas suhu bahan bakar dan koefisien reaktivitas void teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium. Analisa hasil perhitungan menunjukkan bahwa teras RSG-GAS berbahan bakar  $U_3Si_2-Al$  kerapatan 4,8 gU/cc dengan kawat kadmium tersebut memenuhi kriteria desain keselamatan karena mempunyai koefisien reaktivitas yang negatif. Sehingga jika terjadi penurunan densitas moderator atau kenaikan suhu bahan bakar maka akan memberikan dampak reaktivitas yang negatif atau dengan kata lain populasi neutron akan berkurang. Hal tersebut sesuai dengan prinsip desain teras reaktor pada umumnya yaitu bersifat *inherent safety*.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. ANONIM, "Multipurpose Research Reactor G.A. SIWABESSY – SAFETY ANALYSIS REPORT VI.1 Copy No.2", BATAN, September 1989
2. PUSAT PENGEMBANGAN TEKNOLOGI REAKTOR RISET, "Laporan Uji Operasi Teras Silisida Penuh", No. Ident : TRR.OR.15.04.43.02, BOR-P2TRR-BATAN, 2002
3. LILY SUPARLINA, TAGOR MALEM SEMBIRING, "Manajemen Teras RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida 4,5 Dan 4,8 gU/cc", Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia, Vol. IV, Edisi Khusus 4, Agustus 2003, ISSN 1411-3481
4. JATI SUSILO, ROKHMADI, "Analisis Reaktivitas Batang Kendali Teras Setimbang Silisida RSG-GAS Dengan SRAC-CITATION", Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir, 10 Juli 2007, ISSN : 0216-3128.
5. JATI SUSILO, LILY SUPARLINA, "Penentuan Diameter Kawat Kadmium Pada Bahan Bakar Uranium Silisida 4,8 gU/cc Untuk Teras RSG-GAS", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir TRI DASA MEGA, Vol. 11, No. 1, Pebruari 2009, ISSN 1411-240X, Nomor : 81/AKRED-LIPI/P2MBI/5/2007
6. JATI SUSILO, ENDIAH PUJIHASTUTI, "Analisis Faktor Puncak Daya Teras RSG-GAS Berbahan Bakar  $U_3Si_2-Al$  4,8 gU/cc Dengan Kawat Kawat Kadmium", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir TRI DASA MEGA, Vol. 12, No. 3, Oktober 2010, ISSN 1411-240X, Nomor : 266/AU1/P2MBI/5/2010
7. FUKUTARO ISHIMORI, *et al.*, *Japan Atomic Energy Research Institute*, "Lecture 3 of Reactor Engineering = Reactor Physics", Baifūkan, 25 Juli 1973 (*in japanese*)
8. KEISUKE OKUMURA, TERUHIKO KUGO, KUNIO KANEKO and KEICHIRO TSUCHIHASHI, "SRAC2006; A Comprehensive Neutronics Calculation Code System", JAERI-Data/Code 2007-004, Japan Atomic Energy Agency, January 2007
9. ANONIM, "Laporan Analisis Keselamatan – Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy", No. Ident : RSG.KK03.04.6, Rev.10, PRSG-BATAN, 2008