

STUDI PENGGUNAAN BAHAN BAKAR SILISIDA 4,8 G/CC PADA TERAS RSG-GAS

Lily Suparlina dan Tagor Malem Sembiring

ABSTRAK

STUDI PENGGUNAAN BAHAN BAKAR SILISIDA 4,8 G/CC PADA TERAS RSG-GAS Dengan telah digunakannya bahan bakar silisida 2,96 g/cc di teras RSG-GAS dan telah dilakukannya beberapa penelitian mengenai penggunaan bahan bakar silisida 3,55 g/cc, perlu dilanjutkan studi mengenai penggunaan bahan bakar silisida 4,8 g/cc. Penelitian dilakukan untuk dua jenis kerapatan bahan bakar silisida, yaitu 4,5 dan 4,8 g U/cc, guna mengetahui operasi optimal menuju teras setimbang. Fraksi bakar dibagi atas 8 kelas dengan pola pergantian bahan bakar 5/1. Perhitungan sel menggunakan paket program WIMS/D4 dan perhitungan teras menggunakan paket perhitungan difusi 2 dimensi Batan-EQUIL-2D. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kedua jenis kerapatan bahan bakar silisida di atas tidak dapat digunakan pada teras RSG-GAS dengan komposisi dan konfigurasi saat ini, karena tidak memenuhi kriteria keselamatan yang ditetapkan, kecuali jika ditambahkan batang kendali pengaman.

ABSTRACT

FEASIBILITY STUDY ON THE APPLICATION OF SILICIDE 4.8 G U/CC TO RSG-GAS CORE. Having been the usage of silicide 2.96 g U/cc in the RSG-GAS core and some silicide 3.55 g U/cc researches had been carried out, study on the Silicide 4.8 g U/cc should be continued. The study was performed for two kinds of silicide densities 4.5 and 4.8 g U/cc, to obtain the optimum operation for an equilibrium core. Burn up fraction is divided into 8 classes with 5/1 re-shuffle pattern. The cell calculation was activated using WIMS/D4 code and the core calculation was estimated using 2-D Batan-EQUIL-2D code. The calculation results showed that both kinds of silicide densities could not be applied for the actual RSG-GAS core with the recent composition and configuration, because they are not met with safety criteria defined, except there is a safety rod to be inserted.

Kata kunci: kerapatan, pola 5/1 bahan bakar, silisida,

PENDAHULUAN

Saat ini reaktor RSG-GAS menggunakan uranium silisida (U_3Si_2Al) 2,96 g/cc sebagai bahan bakar. Uranium silisida mempunyai kelebihan yaitu dapat dikemas dalam pelat dengan kerapatan tinggi, sehingga untuk kerapatan yang lebih tinggi dapat digunakan lebih lama di dalam teras. Setelah teras reaktor berisi penuh bahan bakar uranium silisida 2,96 g U/cc, akan dilanjutkan dengan penggunaan bahan bakar uranium silisida dengan tingkat muat 3,55 g U/cc. Studi mengenai penggunaan bahan bakar silisida 3,55 g U/cc pada teras RSG-GAS yang telah dilakukan terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar berada dalam kriteria keselamatan. Selanjutnya bila memungkinkan, direncanakan RSG-GAS akan menuju ke bahan bakar silisida dengan tingkat muat 4,8 g U/cc. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan dan analisis pembentukan terasnya. Perhitungan dilakukan dengan menggenerasi sel material teras dengan

menggunakan program WIMS/D4 dan perhitungan teras yaitu Batan-2DIFF. Dalam penelitian ini pembentukan teras RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan tingkat muat 4,8 g U/cc hanya ditinjau dari aspek neutroniknya saja. Program konversi teras RSG-GAS harus menghasilkan desain teras silisida setimbang yang optimal. Pada penelitian ini, pencarian teras setimbang dilakukan dengan mengacu pada pola pergantian bahan bakar teras RSG-GAS saat ini yaitu pola 5/1.

Dengan pola tersebut, 5 buah elemen bakar standar (EB) dan 1 buah elemen bakar kendali (EK) akan dikeluarkan dan dimasukkan masing-masing pada akhir siklus dan awal siklus teras baru.

Studi mengenai penggunaan bahan bakar silisida 3,55 g/cc sudah dilakukan dalam penelitian sebelumnya [1-5] dan analisis mengenai keselamatan teras dengan perhitungan subkritikalitas teras pada saat satu batang kendali yang memiliki reaktivitas terbesar gagal masuk

(*stuck rod condition*) sudah dilakukan dalam penelitian tersebut

Penelitian lanjutan mengenai bahan bakar silisida adalah untuk mengetahui kemungkinan penggunaan bahan bakar silisida dengan kerapatan yang lebih tinggi sampai dengan 4,8 g/cc pada teras RSG-GAS dengan konfigurasi teras yang sama dengan saat ini yaitu teras 145. Perhitungan teras dilakukan untuk daya maksimum 30 MWt dengan variasi lama operasi 20,30,40,50 dan 60 hari.

TEORI

Sifat-sifat Neutronik Teras Setimbang

Salah satu sifat neutronik adalah harga reaktivitas lebih teras. Secara umum harga reaktivitas lebih teras ρ dapat dirumuskan dengan persamaan (1) dibawah⁴⁾.

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \dots\dots\dots (1)$$

disini, k_{eff} =faktor perlipatan effektive

Sifat neutronik lainnya adalah distribusi daya. Distribusi daya didalam teras digunakan untuk mengetahui faktor puncak daya teras yang merupakan harga densitas daya di suatu tempat dibagi dengan rata-rata daya yang dihasilkan oleh elemen bakar. Harga faktor puncak daya maksimum yang telah ditetapkan adalah sebesar 1,4. Faktor daya FP_1 dapat ditunjukkan dengan persamaan (2) dibawah ini.

$$FP_1 = \frac{P_1}{P} \dots\dots\dots (2)$$

P_1 adalah densitas daya yang ditimbulkan oleh elemen bakar I, sedangkan P adalah densitas daya rerata dan dapat dirumuskan dengan persamaan (3) dibawah.

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots (3)$$

disini, N = jumlah elemen bakar didalam teras

Fraksi bakar ditunjukkan dengan unit %²³⁵U, yaitu seberapa banyak uranium-235 yang telah mengalami pembakaran didalam tiap elemen bakar. Fraksi bakar di EOC BU_{EOC} ditunjukkan dengan rumus sebagai berikut.

$$BU_{EOC} = \frac{n_0 - n_{EOC}}{n_0} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

disini,

n_0 = jumlah atom ²³⁵U elemen bakar standar,
 n_{EOC} = jumlah atom ²³⁵U masing-masing element bakar di EOC

METODE PERHITUNGAN

Sebelum melakukan desain teras transisi RSG-GAS, maka terlebih dahulu perlu dipilih batasan desain dan batasan keselamatan yang digunakan dalam perhitungan teras. Batasan desain yang dipilih adalah seluruh konfigurasi teras dan elemen penyusun teras tidak berubah, baik posisi dan jumlahnya. Batasan keselamatan yang digunakan adalah:

- Marjin reaktivitas padam minimum (*stuck rod condition*) adalah 0,5 % $\Delta k/k$. [5]
- Faktor puncak daya (FPD) radial maksimum adalah 1,4.
- Reaktivitas lebih BOC dingin bebas xenon 10 % $\Delta k/k$
- Reaktivitas lebih EOC dengan xenon 2 % $\Delta k/k$

Sebelum dilakukan perhitungan teras, maka terlebih dahulu disiapkan konstanta kelompok difusi dengan paket program WIMS-D4. Paket program ini menyiapkan konstanta kelompok dalam 4 kelompok tenaga neutron. Konstanta kelompok yang disiapkan merupakan fungsi kondisi reaktor (panas, dingin, xenon setimbang dan tanpa xenon) dan massa ²³⁵U (4,8 g/cc). Hal ini dibuat agar dapat dilakukan perhitungan kesetimbangan reaktivitas teras RSG-GAS.

Perhitungan teras transisi dilakukan dengan bantuan paket program manajemen teras Batan-EQUIL-2D [7]. Metode yang digunakan dalam paket program ini adalah metode difusi neutron banyak kelompok dengan geometri dua dimensi.

Dalam perhitungan teras, teras RSG-GAS dimodelkan dalam geometri X-Y seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Salah satu masukan yang terpenting dalam program Batan-EQUIL-2D ialah pola pergeseran bahan bakar. Pola pergeseran bahan bakar dan pembagian 8 kelas fraksi bakar dalam teras masing-masing ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Gambar 1. Seluruh teras menggunakan pola manajemen bahan bakar ini sampai terbentuknya teras setimbang silisida 4,8 g U/cc.

Dalam penelitian ini, perhitungan teras dimulai dari teras transisi sampai terbentuknya teras setimbang dengan variasi waktu operasi. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui panjang siklus optimal untuk teras silisida 4,8 g U/cc.

Dalam penelitian ini, perhitungan teras dimulai dari teras transisi sampai terbentuknya teras setimbang dengan variasi waktu operasi. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui panjang siklus optimal untuk teras silisida 4,8 g U/cc.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 menunjukkan harga parameter neutronik untuk silisida 4,5 g U/cc dan Gambar 2 menunjukkan grafik parameter neutronik sebagai fungsi panjang siklus. Dari Gambar 2 terlihat bahwa bila menggunakan batasan reaktivitas lebih teras di awal siklus 10 %, maka untuk waktu operasi reaktor 1350 hari, batasan ini terpenuhi, namun dengan harga reaktivitas lebih di akhir siklus kurang dari 2 %, ini berarti besarnya reaktivitas untuk keperluan eksperimen juga berkurang, namun bila menggunakan batasan reaktivitas padam maksimum *kondisi stuck rod* adalah - 0,5 %, maka hal tersebut tidak terpenuhi karena memberikan harga margin reaktivitas padam yang positif. Harga reaktivitas padam *kondisi stuck rod* akan terpenuhi jika reaktivitas lebih teras di awal siklus kurang dari 10 % sekitar 8,5 %, namun tidak memenuhi batasan reaktivitas lebih di akhir siklus.

Tabel 3 menunjukkan parameter neutronik teras silisida 4,8 g U/cc dan Gambar 3 menunjukkan grafik parameter neutronik sebagai fungsi panjang siklus. Dari Gambar 3 terlihat

bahwa bila menggunakan batasan reaktivitas lebih teras di awal siklus 10 %, maka untuk waktu operasi reaktor 1500 hari, batasan ini terpenuhi, dengan harga reaktivitas lebih di akhir siklus kurang dari 2 %, sekitar 1 %, namun bila menggunakan batasan reaktivitas padam maksimum *kondisi stuck rod* adalah - 0,5 %, maka hal tersebut tidak terpenuhi karena memberikan harga reaktivitas positif. Harga reaktivitas padam *kondisi stuck rod* akan terpenuhi jika reaktivitas lebih teras di awal siklus kurang dari 10 % sekitar 8,5 %, namun tidak memenuhi batasan reaktivitas lebih di akhir siklus.

Dari hasil di atas, maka kedua jenis bahan bakar silisida 4,5 dan 4,8 g U/cc tidak dapat digunakan pada teras RSG-GAS, kecuali jika dalam teras RSG-GAS digunakan batang kendali pengaman.

KESIMPULAN

Bila komposisi dan konfigurasi teras dipertahankan seperti *kondisi teras* saat ini, maka kedua jenis kerapatan bahan bakar silisida 4,5 g U/cc dan 4,8 g U/cc tidak dapat digunakan pada teras RSG-GAS, karena tidak memenuhi kriteria keselamatan.

Selanjutnya, kedua jenis kerapatan bahan bakar tersebut dapat digunakan bila jumlah bahan bakar dalam teras dikurangi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ARBIE B. *dkk.*, "Conversion Study for Oxide to Silicide for the Indonesian 30 MW Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy", Proc. of the 18th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactor, Paris, 1995
- [2]. LIEM P.H. *dkk.*, "Fuel Management Strategy For The New Equilibrium Silicide Core Design Of RSG GAS (MPR-30)", Journal of Nuclear Engineering and Design **180** (1998).
- [3]. SEMBIRING T.M., *dkk.*, "Neutronic Design Of Mixed Oxide-Silicide Cores For The Core Conversion Of RSG-GAS Reactor" (will be published in Journal of Atom Indonesia)
- [4]. SUPARLINA L. dan SEMBIRING T.M., (Analisis Keselamatan Menggunakan Pola Penggantian 5/1 Teras Berbahan Bakar Silisida 2,96g u/cc ke 3,55g u/cc)
- [5]. SUPARLINA L dan SEMBIRING T.M, Pembentukan Teras Setimbang Silisida 300 g RSG-GAS melalui Teras Campuran Silisida 250 g dan 300 g, Prosiding Seminar ke7 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir.
- [6]. Safety Analysis Report, revisi 7, Batan 1989
- [7]. ASKEW, J.R. *et al.*, A General Description Of The Code WIMS, Journal Br. Nucl. Energy Soc. 5 (1966).
- [8]. LIEM P.H., "Development Of An In-Core Fuel Management Code For Searching The Equilibrium Core In 2-D Reactor Geometry (Batan-EQUIL-2D)", Atom Indonesia **23**, 2 (1997).

Tabel 1. Pola Pengeluaran dan Pergeseran Elemen Bakar di Setiap Siklus Reaktor RSG-GAS dengan Pola 5/1

Dari	Ke	Dari	Ke	Dari	Ke
H-9	F-10	F-5	F-8	C-7	B-8
H-8	C-4	F-4	F-6	C-6	G-5
H-7	F-7	F-3	C-10	C-5	D-4
H-6	D-10	E-10	B-4	C-4	D-5
H-5	E-5	E-9	G-6	C-3	H-8
H-4	F-9	E-8	D-3	B-9	C-9
G-9	E-8	E-5	A-8	B-8	keluar
G-8	keluar	E-3	A-7	B-7	keluar
G-6	B-7	D-10	G-4	B-5	keluar
G-5	G-8	D-8	keluar	B-4	A-6
G-4	C-7	D-5	H-5	A-9	A-4
F-10	G-9	D-4	E-9	A-8	B-5
F-9	A-5	D-3	C-6	A-7	H-7
F-8	C-5	C-10	E-3	A-6	B-9
F-7	F-4	C-9	D-8	A-5	H-6
F-6	keluar	C-8	F-5	A-4	E-10

Tabel 2. Parameter Neutronik Teras Silisida 4,5 g U/cc

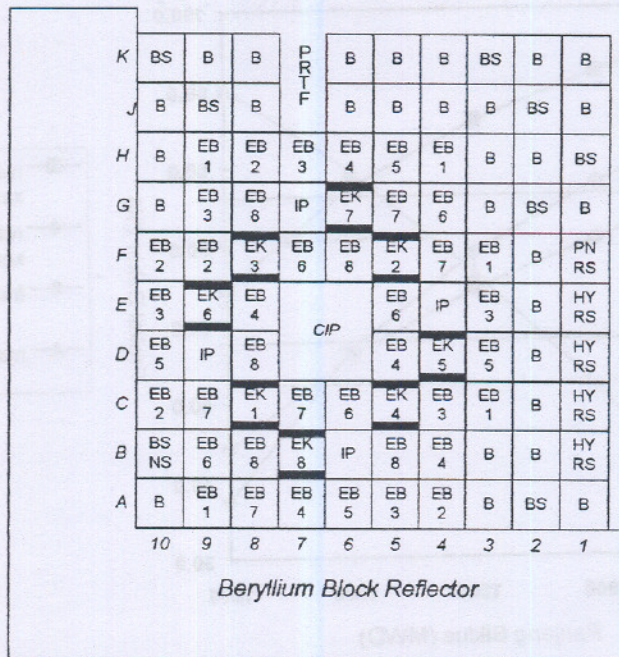
Waktu operasi (hari)	Panjang Siklus ^{*1} (MWD)	ρ_{ex} BOC ^{*2} (%)	ρ_{ex} EOC ^{*3} (%)	ρ_{psr} ^{*4} (%)	^{*5} PPF rad mak
20	600	17,78	12,38	8,57	1,20
30	900	15,37	9,06	6,01	1,20
40	1200	12,25	4,63	2,86	1,24
50	1500	7,82	-1,96	-1,43	1,39

Keterangan: *1 = Dengan operasi penuh 30 MWth; *2 = reaktivitas lebih awal siklus tanpa xenon *3 = reaktivitas lebih akhir siklus dengan xenon, *4 = marjin reaktivitas padam kondisi *one stuck tod*, *5 PPF rad maksimum

Tabel 3. Parameter Neutronik Teras Silisida 4,8 g U/cc

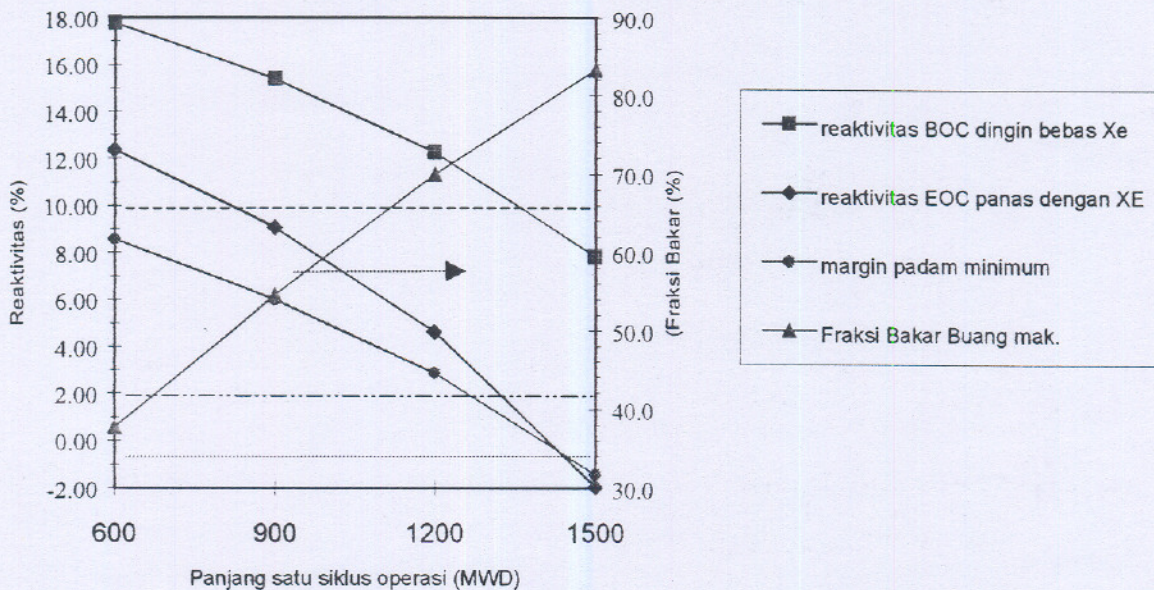
Waktu operasi (hari)	Panjang Siklus ^{*1} (MWD)	ρ_{ex} BOC ^{*2} (%)	ρ_{ex} EOC ^{*3} (%)	ρ_{psr} ^{*4} (%)	^{*5} PPF rad mak
20	600	18,62	13,31	9,57	1,21
30	900	16,47	10,38	7,34	1,20
40	1200	13,81	6,64	4,63	1,23
50	1500	10,22	1,39	1,10	1,32
60	1800	4,82	-6,87	-3,98	1,55

Keterangan: *1 = Dengan operasi penuh 30 MWth; *2 = reaktivitas lebih awal siklus tanpa xenon *3 = reaktivitas lebih akhir siklus dengan xenon, *4 = marjin reaktivitas padam kondisi *one stuck tod*, *5 PPF rad maksimum

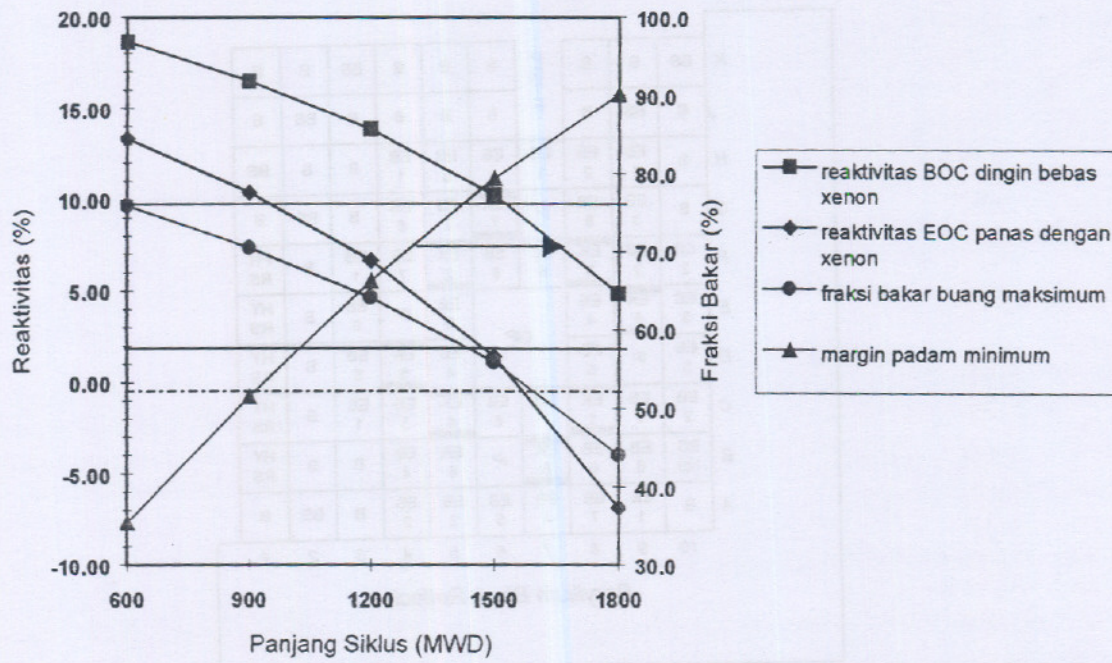


Keterangan: EB = Elemen Bakar Standar; EK = Elemen Bakar kendali; BE = Elemen Reflektor Berilium; BS = Elemen Reflektor Berilium dengan Plug; IP = Posisi Iradiasi; CIP = Posisi Iradiasi Tengah; PNRS = Pneumatic Rabbit System; HYRS = Hydraulic Rabbit System.

Gambar 1. Konfigurasi Teras RSG-GAS (angka dalam grid menunjukkan kelas fraksi bakar)



Gambar 2. Neraca Reaktivitas Teras RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida 4,5 g U/cc



Gambar 3. Neraca Reaktivitas Teras RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida 4,8 g U/cc