

**ANALISIS KESELAMATAN MENGGUNAKAN POLA PENGGANTIAN 5/1
TERAS BERBAHAN BAKAR SILISIDA DARI 2,96 gr U/cc KE 3,55 gr U gr/cc.**

Lily Suparlina, Tagor M. Sembiring

ABSTRAK

Dengan telah dimulainya penggunaan elemen bakar Uranium Silisida 2,96 gr U/cc pada teras RSG-GAS dan dengan adanya rencana penggunaan bahan bakar silisida dengan kerapatan tinggi 3,55 gr U/cc, maka telah dilakukan penelitian mengenai keselamatan penggunaan elemen bakar tersebut dengan menggunakan pola pergantian 5/1. Analisis keselamatan ditinjau dari segi neutronik dengan menganalisis hasil perhitungan neutronik mengenai penggunaan elemen bakar tersebut. Perhitungan dilakukan untuk delapan buah teras transisi sampai mencapai teras setimbang. Teras transisi yang digunakan adalah campuran teras yang berisi bahan bakar silisida 2,96 gr/cc dan silisida 3,55 gr/cc. Perhitungan kesetimbangan reaktivitas untuk kondisi teras panas, xenon setimbang dan bebas xenon serta kondisi dingin bebas xenon dilakukan dengan menggunakan paket program Batan-Equil-2D. Dari hasil perhitungan melalui teras transisi didapat fraksi bakar rerata teras setimbang di awal siklus untuk teras berbahan bakar silisida 3,55 gr/cc adalah 31,64 % dan di akhir siklus 40,64 % dengan energi yang dibangkitkan selama satu siklus adalah 1083,84 MWD. Hasil analisis menunjukkan bahwa kesetimbangan reaktivitas yang dicapai berada dalam kriteria keselamatan

ABSTRACT

SAFETY ANALYSIS OF SILICIDE PATTERN 5/1 CHANGE FROM 2,96 g U/cc to 3,55 g U/cc DENSITY. Concerning to the use of 2,96 g U/cc Silicide uranium usage, the study of the fuel utilization safety had been carried out. The neutronic safety analysis was done by neutronic calculation results. The calculation was done for 8 transition cores to achieved the equilibrium core. The compositions of transition core are Silicide 2,96 g U/cc and 3,55 g U/cc. The reactivity balance for hot-xenon equilibrium and xenon free, cold xenon free condition calculations are done using Batan-Equil-2D code. The transition cores calculation results for silicide of 3,55 g U/cc showed that the average burn-up at beginning of cycle and end of cycle are 31,64 % and 40,64 % respectively while the energy built up for one cycle is 1083,84 MWD. The analysis result showed that the reached reactivity balance is in safety criteria.

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar silisida dalam teras reaktor RSG-GAS sebagai pengganti bahan bakar oksida bertujuan untuk memperpanjang waktu siklus operasi sehingga kemampuan dan penggunaan reaktor dapat ditingkatkan. Untuk mencapai tujuan tersebut, Liem dkk ¹⁾ mengusulkan agar teras RSG-GAS menggunakan bahan bakar silisida dengan kerapatan tinggi 3,55 gr U/cc atau sama dengan 300 gr U235 di dalam satu perangkat elemen bakar. Penggunaan elemen bakar tersebut diharapkan dapat memperpanjang siklus operasi dari 25 hari menjadi 32,5 hari dengan daya nominal 30 MW.

Untuk mencapai konfigurasi teras RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan kerapatan tersebut, Arbie dkk ²⁾ mengusulkan agar teras reaktor berbahan bakar oksida dikonversi langsung ke

bahan bakar silisida dengan kerapatan 3,55 gr U/cc. Konversi langsung ini dilakukan dengan menggunakan teras campuran yang tersusun atas campuran bahan bakar oksida dan silisida.

Akan tetapi, konversi teras RSG-GAS menuju teras silisida dilakukan bertahap. Tahap pertama konversi teras adalah konversi menuju teras silisida penuh dengan kerapatan 2,96 gr U/cc dengan teras campuran oksida dan silisida. Setelah itu akan dilanjutkan dengan konversi tahap ke dua yaitu menuju teras silisida dengan kerapatan 3,55 gr U/cc.

Alasan utama digunakannya konversi bertahap adalah memberikan jaminan yang pasti tidak terjadinya penyimpangan pembangkitan panas dari nilai keselamatan operasi akibat adanya perbedaan kerapatan Uranium selama di teras campuran.

Penelitian ini akan melakukan konversi teras RSG-GAS tahap ke dua tersebut dengan teras campuran silisida dengan kerapatan berbeda yaitu 2,96 gr U/cc dan 3,55 gr U/cc. Teras setimbang silisida dengan kerapatan 2,96 gr U/cc telah diperoleh peneliti sebelumnya⁽³⁾ digunakan sebagai teras awal untuk dimasuki oleh 5 buah elemen bakar dan 1 elemen kendali silisida kerapatan 3,55 gr U/cc untuk tiap awal siklus. Manajemen bahan bakar di teras dilakukan sesuai dengan pola yang diusulkan oleh Liem dkk⁽¹⁾ dengan pola pergeseran bahan bakar dalam teras yang dinyatakan dalam Tabel 1. Pola ini disebut sebagai pola 5/1, yaitu 5 buah elemen bakar dan 1 buah elemen kendali dikeluarkan dan dimasukkan pada akhir dan awal siklus. Penggunaan Pola penggantian 5/1 ini mempunyai beberapa keuntungan antara lain utilisasi elemen bakar menjadi lebih optimal karena seluruh elemen bakar yang dikeluarkan berfraksi bakar dengan kelas yang sama (kelas 8). Sedangkan pada program pergantian yang lama, kelas fraksi bakar dari elemen bakar yang dikeluarkan tidak seragam (kelas 7 dan 8).

Tujuan dari penelitian ini ialah diperolehnya desain teras campuran silisida kerapatan 2,96 gr U/cc dan 3,55 gr U/cc untuk membentuk teras RSG-GAS penuh silisida dengan kerapatan 3,55 gr U/cc. Parameter teras yang berkaitan dengan reaktivitas lebih, fraksi bakar dan panjang siklus operasi masing-masing teras campuran juga dihitung dalam penelitian ini.

Analisis dilakukan melalui perhitungan dengan menggunakan paket program Batan-EQUIL-2D yang menggunakan metode difusi neutron dalam banyak kelompok.⁽³⁾ Perhitungan dimulai dari teras transisi sampai teras setimbang. Teras transisi terdiri dari 7 teras campuran berisi bahan bakar silisida dengan kerapatan 2,96 gr U/cc dan bahan bakar silisida dengan kerapatan 3,55 gr U/cc dan satu teras penuh berisi bahan bakar silisida dengan kerapatan 3,55 gr U/cc.

TEORI

Pengendalian Reaktivitas

Reaktivitas ialah fraksi yang menggambarkan selisih dari kondisi kritis suatu reaktor ($k=1$) dinyatakan dengan reaktivitas (ρ) dan didefinisikan dengan :

$$\rho = \frac{k-1}{k} \quad (1)$$

Dari persamaan di atas, nilai reaktivitas sebanding dengan faktor multiplikasi k . Sehingga reaktor menjadi super kritis saat nilai reaktivitas positif ($\rho > 0$) reaktor subkritis terjadi pada saat nilai reaktivitas negatif ($\rho < 0$) dan apabila nilai reaktivitas sama dengan nol ($\rho = 0$) maka reaktor dalam keadaan kritis. Dari persamaan di atas diperoleh perubahan reaktivitas ($\Delta\rho$) akibat perubahan teras dari kondisi kedua dan kondisi pertama:

$$\Delta\rho = \frac{k_2 - k_1}{k_2 k_1} \quad (2)$$

dengan k_1 adalah faktor multiplikasi pada kondisi pertama dan k_2 adalah faktor multiplikasi pada kondisi kedua digunakan satuan adalah *dollar*, *cent* (seperseratus *dollar*), persen (%) dan pcm (*percent per mille*) di dalam menyatakan reaktivitas dan selisih reaktivitas.

Reaktor nuklir pada awalnya harus dimuati sejumlah elemen bakar lebih dari pada hanya sekedar mencapai kondisi kritis, karena faktor multiplikasi intrinsik teras akan berubah selama operasi yang disebabkan proses fraksi bakar dan produksi produk fisi. Reaktivitas lebih teras juga harus dapat mengkompensasi reaktivitas umpan balik negatif temperatur dan daya.

Manajemen Bahan Bakar

Optimasi susunan elemen bakar dilakukan terlebih dahulu melalui ukuran teras, desain elemen bakar, komposisi bahan bakar, keterkaitan parameter neutronik-thermohidrolika, pengendalian reaktivitas dan persyaratan operasi. Kemudian, ditentukan manajemen bahan bakar yang lebih detail, seperti pengkayaan bahan bakar segar, frekuensi pemasukan bahan bakar, pola pergeseran bahan bakar di teras dan pengeluaran bahan bakar yang sudah mencapai tingkat fraksi bakar maksimum.

Manajemen bahan bakar harus dapat menjamin bahwa distribusi pembangkitan panas di teras cukup rata sehingga panas yang dibangkitkan di tiap elemen bakar dapat dipindahkan oleh pendingin dan temperatur di teras tidak melampaui batas keselamatan. Faktor kerataan distribusi panas di teras dinyatakan oleh parameter faktor puncak daya (*power peaking factor*) yang ditentukan melalui persamaan :

$$FPD_i = \frac{P_i}{\bar{P}} \quad (3)$$

dengan :

- FPD_i = faktor puncak daya elemen bakar ke-i
 P_i = pembangkitan panas di elemen bakar ke-i, watt
 \bar{P} = pembangkitan panas rerata di teras, watt

TATA KERJA

Pola Manajemen Bahan Bakar Reaktor RSG-GAS

Sejak tahun 1998 pemuatan bahan bakar reaktor RSG-GAS telah digunakan pola penggantian 5/1, yaitu 5 buah EB dan 1 buah EK akan dikeluarkan dan dimasukkan pada akhir dan awal siklus. Pola pergeseran, pengeluaran dan pemasukan elemen bakar dengan pola 5/1 yang digunakan pada pembentukan teras RSG-GAS saat ini ditunjukkan pada Tabel 1.

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

Dengan dipakainya strategi ini maka terdapat beberapa keuntungan, yaitu pertama, utilisasi elemen bakar menjadi lebih optimal karena seluruh elemen bakar yang dikeluarkan berfraksi bakar dengan kelas yang sama (kelas 8). Sedangkan pada program pergantian yang lama, kelas fraksi bakar dari elemen bakar yang dikeluarkan tidak seragam (kelas 7 dan 8). Sedangkan keuntungan kedua adalah bagi operator reaktor, karena pola 5/1 memiliki pergantian yang tetap dan teratur maka operator memiliki acuan yang pasti di dalam mengelola bahan bakar. Sedangkan pola pergantian yang lama tidak memiliki pola yang tetap dan teratur. Dan keuntungan pola 5/1 yang

ketiga adalah bahwa pola ini dapat dipakai di teras reaktor RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan kerapatan uranium $3,55 \text{ gr cm}^{-3}$. Prosedur pembentukan teras campuran silisida $2,96 \text{ g U/cc}$ dan $3,55 \text{ g U/cc}$.

Pembentukan teras campuran dimulai dari pemasukan 5 elemen bakar dan 1 elemen bakar kendali pada posisi teras yang sesuai dengan pola pergeseran yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Jumlah teras campuran serta jumlah bahan bakar kedua jenis kerapatan silisida yang digunakan dalam teras untuk membentuk teras penuh silisida $3,55 \text{ g U/cc}$ ditunjukkan pada pada Tabel 2.

Tabel 2. Susunan pemasukan bahan bakar silisida 3,55 g U/cc ke dalam teras berbahan bakar silisida 2,96 g U/cc melalui teras campuran

TERAS	Pemasukan		Jumlah EB		Jumlah EK	
	EB	EK	2,96 g U/cc	3,55 g U/cc	2,96 g U/cc	3,55 g U/cc
1	5	1	35	5	7	1
2	5	1	30	10	6	2
3	5	1	25	15	5	3
4	5	1	20	20	4	4
5	5	1	15	25	3	5
6	5	1	10	30	2	6
7	5	1	5	35	1	7
8	5	1	0	40	0	8

Dari Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa pada teras ke 8 seluruh elemen bakar dan elemen kendali yang digunakan adalah elemen bakar silisida dengan kerapatan 3,55 g U/cc.

Pembentukan teras penuh melalui teras campuran dilakukan dengan bantuan paket program Batan-EQUIL-2D yang mampu mencari teras setimbang secara otomatis.

Sebelum melakukan pembentukan teras penuh silisida 3,55 g U/cc melalui teras campuran, terlebih dahulu telah dilakukan pembentukan teras

penuh silisida 2,96 g U/cc melalui teras campuran oksida dan silisida dengan muatan yang sama yaitu 2,96 g U/cc, karena pada saat ini teras RSG-GAS masih menggunakan kedua bahan bakar tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan teras campuran sampai dengan teras penuh silisida menggunakan paket program Batan-EQUIL-2D ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan parameter neutronik teras campuran dan setimbang silisida 3,55 gr U/cc

Teras	Panjang siklus (MWD)	Fraksi bakar rearata awal siklus (%)	Fraksi bakar rearata Akhir siklus (%)	FPD radial /posisi
1	1115.37	23.840	35.210	1.6320 / E-8
2	781.53	28.250	35.190	1.6496 / F-10
3	814.26	28.810	36.720	1.7459 / F-10
4	870.51	29.400	37.440	1.7627/ E-8
5	888.96	29.940	38.070	1.7629 / E-8
6	966.99	30.330	38.950	1.7507 / E-8
7	991.11	30.950	39.750	1.7391 / E-8
8	1083.84	31.460	40.640	1.6885 / E-8

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 3, panjang siklus teras campuran 1 paling besar dibandingkan dengan teras campuran lainnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 maupun dengan teras penuh silisida 3,55 g U/cc (teras ke-8). Hal ini disebabkan beberapa faktor antara lain :

Karena pada awal siklus teras ke-1 dimasukkan 5 buah elemen bakar dan 1 buah elemen kendali silisida kerapatan 3,55 gr U/cc, sehingga reaktivitas lebih teras di awal siklus

sangat besar. Dengan demikian teras perlu dibakar lebih lama agar reaktivitas teras di teras ke-2 tidak terlalu besar.

Perhitungan teras untuk mendapatkan parameter teras campuran selain menghasilkan faktor puncak daya radial di teras seperti ditunjukkan pada Tabel 3, maka dihitung juga parameter reaktivitas untuk kondisi panas dan dingin, dengan dan tanpa xenon serta fraksi bakar awal dan akhir siklus dalam pengoperasian selama satu siklus yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter teras campuran silisida 2,96 gr U/cc dan 3,55 g U/cc hingga teras penuh silisida 3,55 g U/cc

Teras	Perubahan reaktivitas kondisi panas ke dingin (% $\Delta k/k$)	Perubahan reaktivitas kondisi xenon ke tanpa xenon (% $\Delta k/k$)	Selisih fraksi bakar satu siklus (% BU)
1	0,5707	3,6679	11,370
2	0,5853	3,6816	6,940
3	0,6142	3,6945	7,910
4	0,5687	3,7016	8,040
5	0,5678	3,7069	8,130
6	0,5997	3,7068	8,620
7	0,5973	3,7046	8,800
8	0,5417	3,6973	9,180

Pada Tabel 4 di atas, harga-harga yang ditunjukkan untuk teras campuran silisida 2,96 gr U/cc dan 3,55 gr U/cc dan teras penuh silisida 3,55 gr U/cc perubahan reaktivitas dari kondisi panas ke dingin, reaktivitas xenon setimbang dan selisih fraksi bakar antara awal dan akhir siklus, mempunyai harga yang cukup baik, sehingga dapat

dikatakan harga tersebut berada dalam batas keselamatan. Selanjutnya hasil perhitungan teras penuh silisida melalui teras campuran dibandingkan dengan hasil perhitungan teras setimbang silisida tanpa teras campuran ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan hasil perhitungan teras penuh dan teras setimbang silisida 3,5 g U/cc

Parameter	Teras penuh Silisida melalui teras campuran 3,55 g U/cc	Teras setimbang silisida 3,55 g U/cc ⁽¹⁾	Perbedaan (%)
Perubahan reaktivitas kondisi xenon (% $\Delta k/k$)	3.6973	3,70	0,3
Fraksi bakar rerata awal siklus (% BU)	31,46	32,2	2,2
Fraksi bakar rerata akhir siklus (% BU)	40,64	40,5	3,5
Selisih fraksi bakar satu siklus (% $\Delta k/k$)	9.180	8,30	11

Dari Tabel 5 terlihat bahwa parameter teras penuh silisida melalui teras campuran jika dibandingkan dengan teras setimbang memiliki perbedaan antara 0,33 – 11 %.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan teras campuran, maka diperoleh bahwa:

1. Dari keseluruhan hasil perhitungan teras penuh silisida yang diperoleh melalui teras

- campuran memiliki kesetimbangan reaktivitas yang mendekati teras setimbang silisida
2. Penggunaan pola manajemen bahan bakar di dalam teras campuran silisida dengan pola penggantian 5/1 dapat membentuk teras penuh silisida yang memenuhi syarat batas keselamatan operasi..
3. Perlu dilakukan perhitungan selanjutnya dengan mempertahankan reaktivitas lebih teras yang sesuai dengan yang diinginkan, yaitu sekitar 9.2 % $\Delta k/k$

DAFTAR PUSTAKA

1. LIEM P.H et al, *Fuel Management Strategy for the New Equilibrium Core Silicide Core Design of RSG-GAS (MPR 30)*, *Journal of Nuclear Engineering and Design* , 180 (1998)
2. B. ARBIE , et al ., *Conversion Study for Oxide to Silicide for the Indonesian 30 MW Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy*, *Proceedings of the XVIII International meeting* , Paris 1995
3. TAGOR M. SEMBIRING dkk, *Desain Neutronik Teras Campuran Oksida-Silisida dalam Konversi Teras Reaktor RSG-GAS*, diajukan untuk diterbitkan pada *Jurnal ATOM INDONESIA*”