

## PEMBENTUKAN TERAS KOMPAK 15 MW RSG-GAS BERBAHAN BAKAR SILISIDA

Surian Pinem, Tagor M. Sembiring

### ABSTRAK

**PEMBENTUKAN TERAS KOMPAK 15 MW RSG-GAS BERBAHAN BAKAR SILISIDA**RSG-GAS saat ini sering dioperasikan pada daya 15 MW sesuai dengan kebutuhan pengguna reaktor. Untuk lebih efisien maka perlu dilakukan pembentukan teras 15 MW. Dalam penelitian ini akan dilakukan pembentukan teras 15 MW dengan cara mengurangi jumlah bahan bakar dari 40 elemen bakar menjadi 36 elemen bakar dengan tetap mempertahankan CIP dan tanpa CIP. Cara ini dilakukan agar mudah membentuk teras 30 MW apabila diperlukan. Dari hasil perhitungan menunjukkan teras 15 MW dengan CIP dapat dioperasikan sampai 530 MWD dan teras 15 MW tanpa CIP dapat dioperasikan sampai 650 MWD tetapi fraksi bakar sampai 60 %.

### ABSTRACT

**FUEL MANAGEMENT OF THE COMPACK CORE 15 MW RSG-GAS USING SILICIDE FUEL.** The RSG-GAS is operating at 15 MW power level now and it's suitable to user need. Based on efficiency it is needed to know the fuel management of RSG-GAS for 15 MW power level. In this research, it is done the core configuration of the 15 MW taking four fuels out from 40 to 36 fuels using CIP and without CIP. This way is done because if the 30 MW core configuration is needed it is easy to change again. From the result of calculation showed that the core using CIP core can operated 530 MWD. But without CIP can be operated 600 MWD with discharge maximum burn-up 60%.

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G. A. Siwabessy saat ini sering dioperasikan pada daya 15 MW karena dengan daya tersebutpun kebutuhan konsumen terpenuhi. Selain itu berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh kelompok Termohidrolik menunjukkan bahwa reaktor dengan daya 15 MW dapat dioperasikan dengan menggunakan satu pompa pendingin. Sementara itu konfigurasi teras adalah untuk daya 30 MW. Untuk penggunaan reaktor yang lebih efisien maka perlu dilakukan penelitian untuk memperoleh teras RSG-GAS 15 MW.

Dalam penelitian ini akan ditentukan teras kompak 15 MW dengan menggunakan elemen bakar silisida bermuatan 250 gr. Teras kompak yang dimaksud dalam penelitian ini adalah pengurangan jumlah elemen bakar atau fasilitas iradiasi didalam teras aktif. Dalam hal ini digunakan 36 elemen bakar dengan tetap mempertahankan seluruh fasilitas iradiasi dan tanpa fasilitas iradiasi CIP. Hal ini dilakukan agar bila dibutuhkan kembali teras 30 MW akan mudah untuk pembentukannya. Dengan demikian diperoleh teras 15 MW yang dapat menghemat 4 buah elemen bakar dan dengan mudah pula dapat dirubah kembali ke teras 30 MW

sehingga teras ini menjadi efektif, efisien, berdaya guna dan berhasil guna.

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program WIMS/D4 [1,2] dan BATAN-EQUIL-2D. Program WIMS/D4 digunakan untuk menggenerasi konstanta kelompok difusi untuk tiap-tiap material pada teras reaktor. Program BATAN-EQUIL-2D digunakan untuk mencari konfigurasi teras setimbang untuk reaktor kompak 15 MW.

### TEORI

#### Paket Program Batan-FUEL.

Salah satu kelebihan program Batan-FUEL adalah dapat mencari teras setimbang secara otomatis dengan memberi masukan berupa pola pergeseran-pemuatan-pembuangan bahan bakar yang diadopsi dari paket program Batan-EQUIL-2D [3-4].

Berikut ini disajikan prosedur pencarian teras setimbang dalam paket program Batan-FUEL. Jika sebuah reaktor dioperasikan dengan hanya menggunakan sebuah isotop  $N_F$ , misal  $U^{235}$ , maka laju penyusutan nuklida  $U^{235}$  adalah:

$$\frac{\partial N_F}{\partial t} = - N_F(r, t) \sigma_a^F \phi(r, t) \quad (1)$$

dengan:

$N_F(r,t)$  = kerapatan nuklida di posisi  $r$  pada waktu  $t$  ( $\text{cm}^{-3}$ )  
 $\sigma_a^F$  = tampang lintang serapan bahan bakar ( $\text{cm}^2$ )  
 $\phi(r,t)$  = fluks neutron ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

jika fluks diketahui, maka penyusutan  $N_F(r,t)$  adalah:

$$N_F(r,t) = N_F(r,0) \exp\left[-\sigma_a^F \int_0^t \phi(r,t') dt'\right] \quad (2)$$

dengan:

$$\phi(r,t) \equiv \int_0^t \phi(r,t') dt' \quad (3)$$

sehingga persamaan (2) menjadi

$$N_F(r,t) = N_F(r,0) \exp\left[-\sigma_a^F \phi(r,t)\right] \quad (4)$$

Jika daya reaktor dipertahankan tetap dengan harga  $P(r,0)$  maka :

$$P(r,t) = w_a N_F(r,t) \sigma_a^F \phi(r,t) = P(r,0) \quad (5)$$

dengan  $w_a$  adalah energi yang dilepaskan setiap neutron diserap oleh bahan bakar. Sedangkan nilai  $w_a$  adalah

$$w_a = \frac{\sigma_f^F}{\sigma_a^F} \gamma \quad (6)$$

Sehingga persamaan (1) menjadi

$$\frac{\partial N_F}{\partial t} = -N_F(r,t) \sigma_a^F \phi(r,t) = \frac{P(r,0)}{w_a} \quad (7)$$

Besarnya penyusutan bahan bakar dinyatakan dalam fraksi bakar (*burn-up*) dengan berbagai satuan seperti % (hilangnya  $^{235}\text{U}$ ), MWD (*Mega watt day*) atau MWD/ton HM (*heavy metal*).

Kerapatan nuklida persamaan (1) dapat dinyatakan dengan vektor kerapatan nuklida  $N(r,t) = [N_1(r,t), N_2(r,t), \dots, N_k(r,t)]^T$  dengan  $k$  sebagai indeks nuklida dengan jumlah total nuklida sebanyak  $K$  dan  $T$  menyatakan transpos matriks. Dengan demikian kerapatan nuklida dalam teras gayut waktu dapat diekspresikan dalam persamaan diferensial orde satu:

$$\frac{\partial}{\partial t} N(r,t) = T(\phi, \sigma, \lambda) N(r,t) \quad (8)$$

dengan  $\phi$ ,  $\sigma$  dan  $\lambda$  masing-masing menyatakan fluks neutron (gayut tenaga dan ruang), tampang lintang serapan atau tangkapan dan konstanta peluruhan.

Distribusi fluks neutron yang digunakan dalam persamaan (8) diperoleh dari perhitungan kekritisan

$$M(N)\phi = \frac{1}{k_{eff}} F(N)\phi \quad (9)$$

Operator  $M$  adalah operator migrasi dan hilangnya neutron sedangkan operator  $F$  adalah operator produksi neutron.

Pada saat adanya pemuatan dan pergeseran bahan bakar, maka

$$N^{j+1}(r,0) = S^j N^j(r,\tau) + N_{in}^{j+1}(r,0) \quad (10)$$

Pada persamaan (5.2.10),  $j$  dan  $\tau$  masing-masing menyatakan indeks siklus teras dan periode/panjang satu siklus operasi.  $N^{j+1}(r,0)$  adalah vektor kerapatan nuklida pada awal siklus (BOC) untuk siklus teras berikutnya. Vektor  $N^j(r,\tau)$  menyatakan kerapatan nuklida pada akhir siklus (EOC) siklus teras  $j$ .  $N^j(r,0)$  menyatakan kerapatan nuklida pada BOC siklus teras  $j$ .  $S^j$  disebut sebagai matriks pergeseran, dengan matriks ini didefinisikan seluruh pemuatan dan pergeseran bahan bakar di teras.  $N_{in}^{j+1}(r,0)$  mendefinisikan komposisi bahan bakar baru/segar yang dimasukkan ke teras pada BOC.

Teras dikatakan sebagai teras setimbang jika seluruh parameter teras tidak berubah dari satu siklus ke siklus berikutnya. Oleh karena itu, teras setimbang dicapai bila memenuhi kondisi berikut ini:

$$\begin{aligned} N^{j+1}(r,t) &= N^j(r,t) = 0 \\ S^{j+1} &= S^j \quad \text{untuk seluruh } j \\ N_{in}^{j+1}(r,0) &= N_{in}^j(r,0) \quad \text{untuk seluruh } j \end{aligned} \quad (11)$$

Dengan cara melakukan perhitungan persamaan (9), (8) dan (10) secara berurutan melalui metode iterasi dengan mempertimbangkan nilai-nilai konvergensi maka dapat diperoleh teras setimbang yang sesuai dengan persamaan (11).

#### Strategi manajemen teras

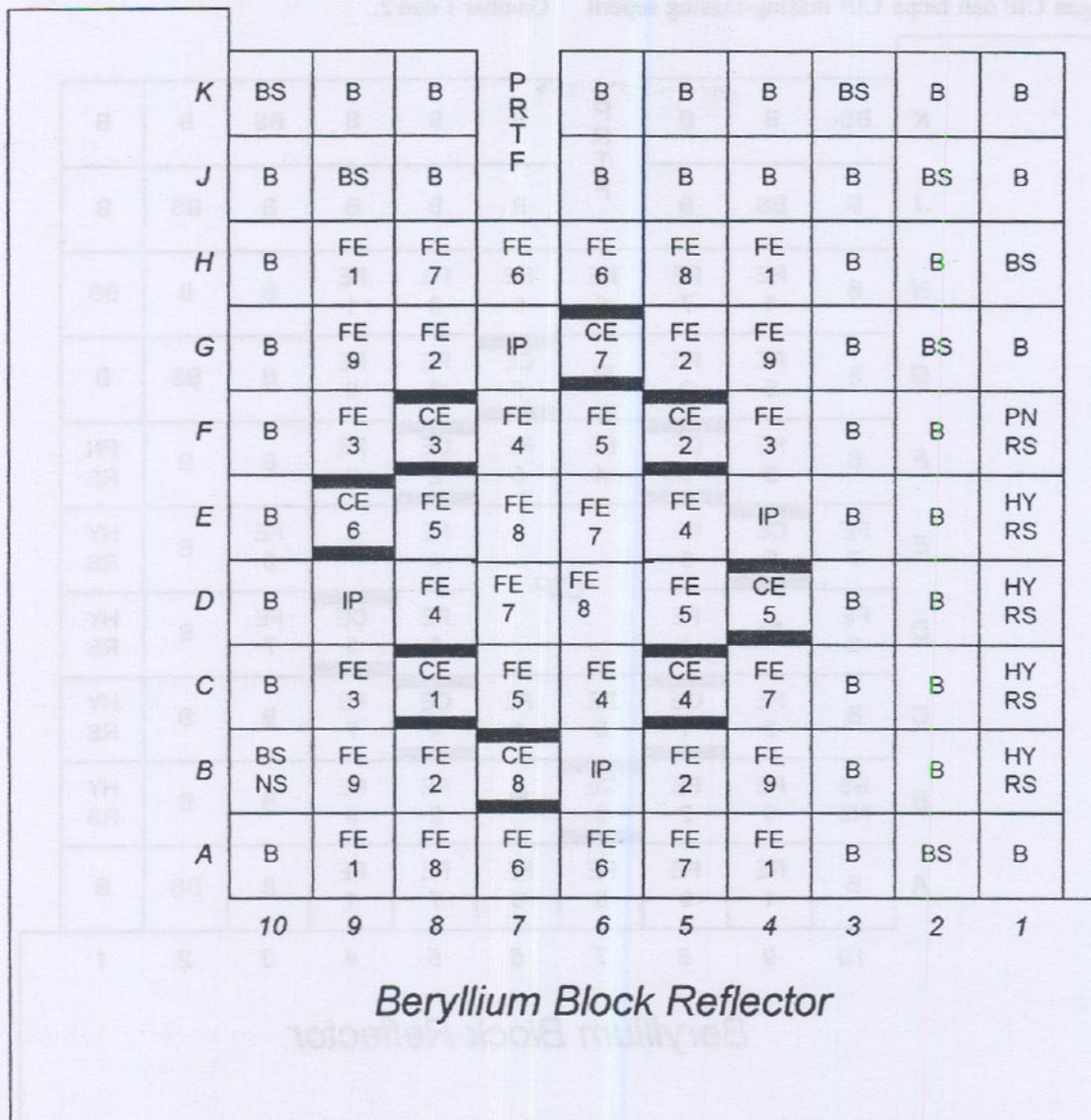
Dalam mengelola bahan bakar di dalam teras, dibentuk teras 15 MW dengan 36 elemen bakar

dengan CIP dan tanpa CIP masing-masing seperti Gambar 1 dan 2.

K	BS	B	B	P R T F	B	B	B	BS	B	B	
J	B	BS	B		B	B	B	B	BS	B	
H	B	FE 1	FE 7	FE 6	FE 6	FE 8	FE 1	B	B	BS	
G	B	FE 9	FE 2	IP	CE 7	FE 2	FE 9	B	BS	B	
F	B	FE 3	CE 3	FE 4	FE 5	CE 2	FE 3	B	B	PN RS	
E	FE 7	CE 6	FE 5	CIP			FE 4	IP	FE 8	B	HY RS
D	FE 8	IP	FE 4				FE 5	CE 5	FE 7	B	HY RS
C	B	FE 3	CE 1	FE 5	FE 4	CE 4	FE 7	B	B	HY RS	
B	BS NS	FE 9	FE 2	CE 8	IP	FE 2	FE 9	B	B	HY RS	
A	B	FE 1	FE 8	FE 6	FE 6	FE 7	FE 1	B	BS	B	
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	

**Beryllium Block Reflector**

Gambar 1. Pembagian Kelas Fraksi Bakar Pada Teras Setimbang RSG-GAS dengan CIP



Gambar 2. Pembagian Kelas Fraksi Bakar Pada Teras Setimbang RSG-GAS tanpa CIP

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Batasan desain yang digunakan di dalam penentuan teras setimbang silisida 15 MW adalah:

- Reaktivitas lebih teras ( $\rho_{ex}$ ) maksimum pada saat awal siklus (BOC), dingin dan tanpa Xenon adalah 10,9 % $\Delta k/k$ . Nilai ini diperoleh dari neraca reaktivitas teras setimbang oksida [5], yaitu penjumlahan reaktivitas lebih dan margin reaktivitas padam minimum,  $9,2 + (2,2 - 0,5)$  % $\Delta k/k$
- Margin reaktivitas padam adalah  $\geq 0,5$  % $\Delta k/k$
- Faktor puncak daya (FPD) ke arah radial maksimum adalah 1,40

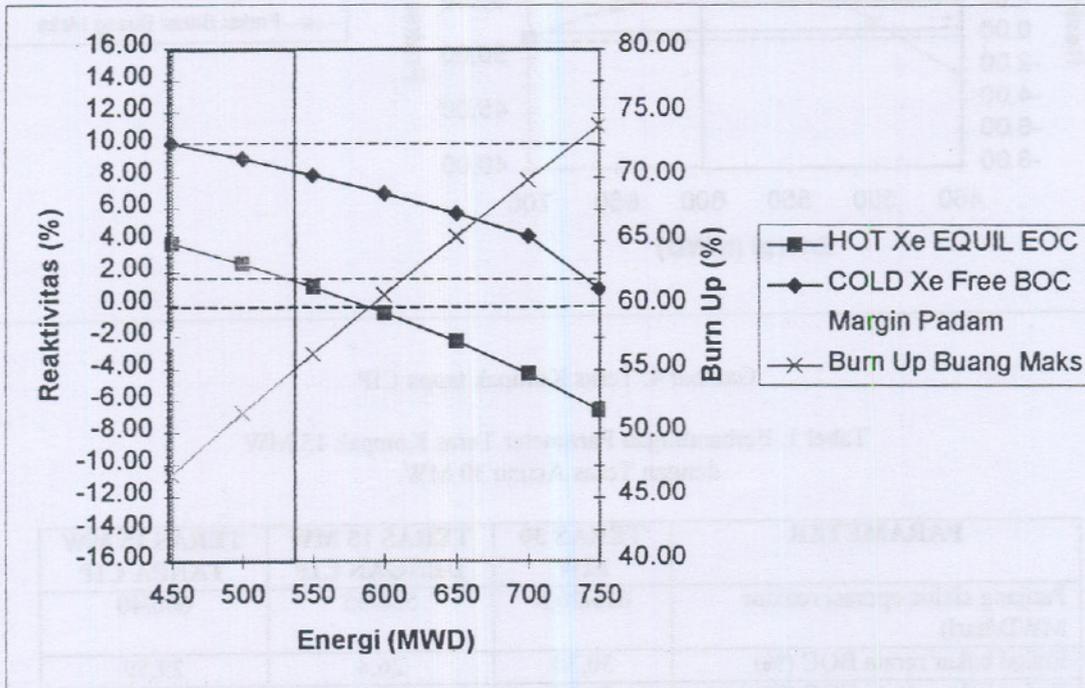
- Fraksi bakar buang dibatasi  $\leq 56\%$ .

Dengan batasan desain tersebut akan dilakukan dalam penentuan panjang siklus operasi optimum. Jika salah satu dari batasan tersebut di atas terlampaui, maka dilakukan perubahan strategi manajemen bahan bakar dan panjang siklus untuk mendapatkan batasan desain. Panjang siklus untuk teras kompak dengan dan tanpa CIP ditunjukkan masing-masing pada Gambar 3 dan 4. Perbandingan parameter neutronik untuk teras kompak dan teras acuan 30 MW disajikan dalam Tabel 1. Untuk teras teras kompak dengan CIP diperoleh panjang siklus sekitar 530 MWD dan tanpa CIP sekitar 600 MWD. Teras kompak tanpa

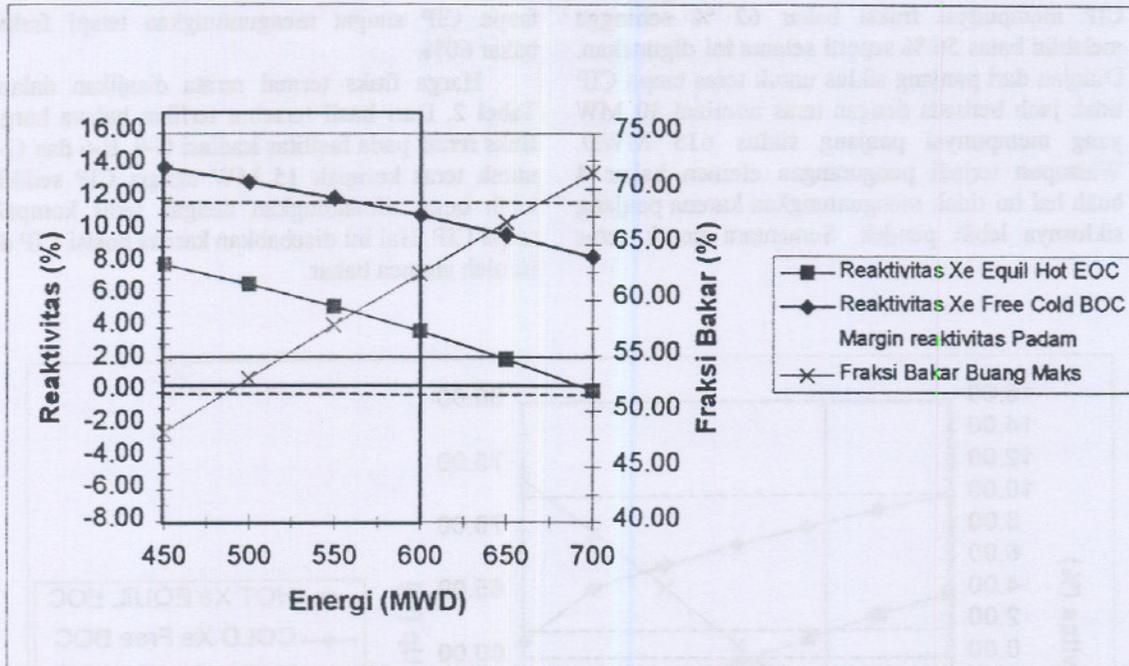
CIP mempunyai fraksi bakar 62 % sehingga melebihi batas 56 % seperti selama ini digunakan. Ditinjau dari panjang siklus untuk teras tanpa CIP tidak jauh berbeda dengan teras nominal 30 MW yang mempunyai panjang siklus 615 MWD. Walaupun terjadi pengurangan elemen bakar 4 buah hal ini tidak menguntungkan karena panjang siklusnya lebih pendek. Sementara untuk teras

tanpa CIP sangat menguntungkan tetapi fraksi bakar 60%.

Harga fluks termal merata disajikan dalam Tabel 2. Dari hasil tersebut terlihat bahwa harga fluks merata pada fasilitas iradiasi G-9, B-6 dan G-7 untuk teras kompak 15 MW tanpa CIP sedikit lebih besar dibandingkan dengan teras kompak tanpa CIP. Hal ini disebabkan karena posisi CIP di isi oleh elemen bakar.



Gambar 3. Teras Kompak dengan dengan CIP



Gambar 4. Teras Kompak tanpa CIP

Tabel 1. Perbandingan Parameter Teras Kompak 15 MW dengan Teras Acuan 30 MW.

PARAMETER	TERAS 30 MW	TERAS 15 MW DENGAN CIP	TERAS 15 MW TANPA CIP
Panjang siklus operasi reaktor MWD/hari)	615/20,5	530/35	600/40
Fraksi bakar rerata BOC (%)	30,30	26,4	29,59
Fraksi bakar rerata EOC (%)	51,78	36,45	32,48
Fraksi bakar buang maksimum rerata (%)	56,00	54,30	62,38
Reaktivitas lebih teras (%)	9,65		10,93
Reaktivitas lebih saat EOC (%)	2,86		3,78
Margin reaktivitas padam (%)	-1,30		-1,82
Ppf radial rerata	1,23		1,295

Tabel 2. Harga Fluks Termal Teras Kompak 15 MW dengan Teras Acuan 30 MW.

Posisi Iradiasi	Fluks Neutron Termal ( $10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> s)	
	Teras 15 MW tanpa CIP	Teras 15 MW dengan CIP
E-7	1,5349	-
D-7	1,5337	-
E-6	1,5501	-
D-6	1,5508	-
D-9	1,2030	1,3107
G-7	1,2390	1,2700
B-6	1,2800	1,2990

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis teras kompak 15 MW dengan menggunakan 36 elemen bakar dengan tetap mempertahankan posisi iradiasi CIP menunjukkan bahwa teras tidak memberikan

kontribusi ekonomis karena apabila setahun dioperasikan 5000 MWD maka jumlah elemen bakar yang digunakan sama dengan 30 MW. Akan tetapi untuk teras kompak 15 MW tanpa CIP lebih ekonomis tetapi fraksi bakar harus dinaikkan sampai 62 %.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ROTH, M.J., "The Preparation of Input Data WIMS/D4", New York, 1976.
2. J.J. DUDERSTADT and L.J. HAMILTON, " Nuclear Reactor Analysis", John Wiley & Sons, New York, 1976
3. P. H. LIEM., et al., "Fuel Management Strategy for the New Equilibrium Silicide Core Design of RSG-GAS (MPR-30)", Journal of Nuclear Engineering Design, 180, p. 207-219 (1998).
4. P. H. LIEM, " 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).
5. TAGOR M. S., et al, " Neutronic Design of Mixed Oxide-Silicide Cores for the Core Conversion of RSG-GAS Reactor", Atom Indonesia, Batan, 2001.

