

## PERHITUNGAN *BURN UP* BAHAN BAKAR REAKTOR RSG-GAS MENGUNAKAN PAKET PROGRAM BATAN-FUEL

Mochamad Imron, Ariyawan Sunardi

### ABSTRAK

**PERHITUNGAN *BURN UP* BAHAN BAKAR REAKTOR RSG-GAS MENGGUNAKAN PAKET PROGRAM BATAN-FUEL.** Perhitungan distribusi *burn up* bahan bakar silisida 2,96 grU/cc RSG-GAS teras 78 menggunakan paket program BATAN-FUEL perlu dilakukan. Dengan memberikan karakter input berupa: daya yang terbangkitkan, lama waktu operasi, dan asumsi model teras 5/1, diperoleh hasil perhitungan *burn up* pada seluruh teras dan selnya. Dari hasil perhitungan didapatkan: *burn up* minimum RI-505 sebesar 6,82 % pada posisi A-9, sedangkan *burn up* maksimum RI-467 sebesar 57,57 % pada posisi B-7. Hal ini masih memenuhi kriteria keselamatan sebagaimana disyaratkan dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) reaktor RSG-GAS dimana *burn up* maksimum sebesar 59,59 %. Hal ini juga menunjukkan bahwa pola penempatan elemen bahan bakar teras reaktor RSG-GAS sudah optimal.

Kata kunci : *burn up*, BATAN-FUEL.

### ABSTRACT

**BURN-UP CALCULATION OF THE FUEL ELEMENT IN RSG-GAS REACTOR USING PROGRAM PACKAGE BATAN-FUEL.** Calculation of *burn up* distribution of 2.96 grU/cc Silicide fuel element at the 78<sup>th</sup> reactor cycle using computer code program of BATAN-FUEL has been done. This calculation uses inputs such as generated power, operation time and a core assumption model of 5/1. Using this calculation model *burn up* for the entire fuel elements at the reactor core are able to be calculated. From the calculation it is obtained that the minimum *burn up* of 6.82% is RI-505 at the position of A-9, while the the maximum *burn up* of 57.57% is RI 467 at the position of B-7. Based on the safety criteria as specified in the Safety Analysis Report (SAR) RSG-GAS reactor, the maximum fuel *burn up* allowed is 59.59%. It then can be concluded that pattern of fuel elements placement at the reactor core are properly and optimally done.

Keywords: *burn up*, BATAN-FUEL.

### PENDAHULUAN

Reaktor RSG-GAS adalah jenis reaktor riset dengan daya nominal 30 MW. Dalam pengoperasiannya reaktor ini memerlukan elemen bakar nuklir berupa Elemen Bakar Standar (FE) sebanyak 40 elemen dan Elemen Bakar Kendali (CE) sebanyak 8 elemen. Setiap elemen bakar standar terdiri dari 21 pelat dan 15 pelat pada setiap elemen kendali. Bahan ketongsong elemen bakar terbuat dari paduan Aluminium, yaitu AlMg<sub>2</sub>.

Selama pengoperasian satu siklus teras, elemen bakar nuklir terbakar dengan masing-masing *burn up* yang berbeda. Berdasarkan jadwal operasi periode Teras 78 dimulai dari tanggal 07 Maret 2012 sampai dengan tanggal 05 Juni 2012. Diperhitungkan energi yang dibangkitkan selama teras ke 78 ini sebesar 654,0094 MWD. Elemen bakar yang digunakan adalah elemen bakar standar dan kendali jenis U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>Al. Untuk elemen bakar segar/baru di teras 78 adalah sebagai berikut : FE RI-504, FE RI-505, FE RI-506, FE RI-507, FE RI-508 dan CE RI-514.

Perhitungan *burn up* dilakukan dengan menggunakan paket program BATAN-FUEL.

Setelah dilakukan perhitungan ini, akan diperoleh *burn up* setiap elemen bakar standar (FE) dan elemen bakar kendali (CE). Di dalam tulisan ini akan diberikan rincian *burn up* masing-masing elemen bakar sehingga diperoleh distribusi *burn up* yang merata, *burn up* minimum dan maksimum di teras 78.

### TEORI

#### Paket Program BATAN-FUEL

Paket program BATAN-FUEL terdiri dari 3 program perhitungan teras yaitu BATAN-EQUIL, BATAN-2DIFF dan BATAN-3DIFF dikembangkan dengan menggunakan metode difusi neutron banyak kelompok tenaga neutron untuk dua dan tiga dimensi. Paket program BATAN-FUEL telah diuji keakuratannya melalui beberapa kegiatan verifikasi dan validasi. Verifikasi dengan paket program 2DBUM telah dilakukan dengan perbedaan relatif untuk penentuan faktor perlipatan efektif dan fluks neutron berkisar antara 10<sup>-4</sup> % sampai dengan 10<sup>-3</sup> %<sup>[5]</sup>.

Validasi paket program BATAN-FUEL dengan hasil eksperimen teras pertama reaktor RSG-GAS

juga telah dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Teras pertama dipilih karena seluruh elemen bakar yang digunakan masih segar sehingga keakuratan dan data nuklida penyusun elemen bakar dapat dijamin. Tabel 1 menunjukkan bahwa dalam penentuan kritis pertama hanya ada perbedaan relatif

sebesar 0,2%. Sedangkan untuk penentuan  $k_{eff}$  teras penuh dan reaktivitas padam masing-masing memiliki perbedaan mutlak sebesar 1,3% dan 1,7%. Hal ini menunjukkan bahwa konstanta kelompok difusi dengan WIMSD dan penyelesaian teras oleh program BATAN-FUEL sangat akurat.

Tabel 1. Perbandingan Hasil perhitungan BATAN-FUEL dengan Data Hasil Eksperimen Pada Teras Pertama RSG-GAS

Konfigurasi Teras	Eksperimen	Perhitungan	Perbedaan Relatif (%)
$k_{eff}$ Teras Kritis Pertama (9 EB, 6 EK)	1,0	1,00207	0,2
$k_{eff}$ Teras Penuh (12 EB, 6 EK)	1,09242	1,10721	1,3
Reaktivitas Padam, % $\Delta$	-17,80	-17,50	1,7

#### Elemen Bakar Reaktor RSG-GAS

Reaktor RSG-GAS merupakan reaktor penelitian dan uji material (*Material Testing Reactor, MTR*) pertama di dunia yang dirancang khusus menggunakan elemen bakar uranium pengayaan rendah (kandungan U-235 di dalam uranium kurang dari 20% berat). Elemen bakar yang dipakai di Reaktor RSG-GAS adalah elemen bakar uranium pengayaan rendah sekitar 19,75% tipe dispersi  $U_3Si_2-Al$  (2,96 gr  $U/cm^3$ ) bentuk pelat lurus (*MTR box shape fuel element*). Dimensi pelat elemen bakar adalah 62,5 cm (panjang), 7,075 cm (lebar) dan 0,13 cm (tebal). Dimensi daging elemen bakar (dispersi  $U_3Si_2-Al$ ) adalah 60 cm (panjang), 6,275 cm (lebar) dan 0,054 cm (tebal).

Pola pemasukan elemen bakar baru yang menghasilkan teras setimbang baru. Teras setimbang baru ini memiliki 8 buah *burn up* baru yaitu 0%, 7%,

14%, 21%, 28%, 35%, 42%, dan 49% pada awal siklus. Sedangkan pada akhir siklus, akan memiliki 8 buah kelas *burn up* baru yaitu 7%, 14%, 21%, 28%, 35%, 42%, 48%, dan 56%. Dengan demikian ada 5 buah elemen bakar segar dan 1 buah elemen kendali segar yang dimasukkan ke dalam teras setimbang baru di awal siklus. Oleh karena itu pola ini disebut pola "5/1". Pada setiap akhir siklus juga ada 5 buah elemen bakar dan 1 buah elemen kendali dengan *burn up* kurang lebih 56% yang keluar dari teras sebagai elemen bakar bekas. Nilai 56% didapatkan secara sederhana dengan asumsi setiap elemen bakar mengalami 7% *burn up* dimana terdapat 8 kelas *burn up* maka *burn up* maksimal berkisar 56%. Dengan demikian seluruh elemen bakar digunakan secara optimal. Lebih lengkapnya dapat dilihat di dalam Tabel 2.

Tabel 2. Manajemen elemen bakar teras setimbang baru RSG-GAS sesuai dengan kelas *burn up*

Kelas Burn up	Teras ke- n-1		Teras ke-n		Teras ke- n+1	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
EB/EK	56%	5/1		5/1		5/1
	49%	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1
	42%	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1
	35%	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1
	28%	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1
	21%	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1
	14%	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1
	7%	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1
0%	5/1		5/1		5/1	
Jumlah total	40/8	40/8	40/8	40/8	40/8	40/8

Keterangan: EB/EK=jumlah elemen bakar/elemen kendali

Dengan pola 5/1 ini, telah ditemukan pola perpindahan yang pasti dari satu posisi grid teras ke posisi grid teras berikutnya. Perpindahan ini dapat dilihat di dalam Tabel 3. Dari Tabel 3 diperoleh bahwa 5 buah elemen bakar segar akan menempati posisi grid teras A-9, C-3, F-3, H-4, dan H-9. Sedangkan 1 buah elemen kendali segar akan

menempati posisi C-8. Di akhir siklus, elemen bakar di posisi B-5, B-8, D-8, F-6, dan G-8 serta elemen kendali di posisi B-7 dikeluarkan menjadi elemen bakar bekas<sup>[4]</sup>.

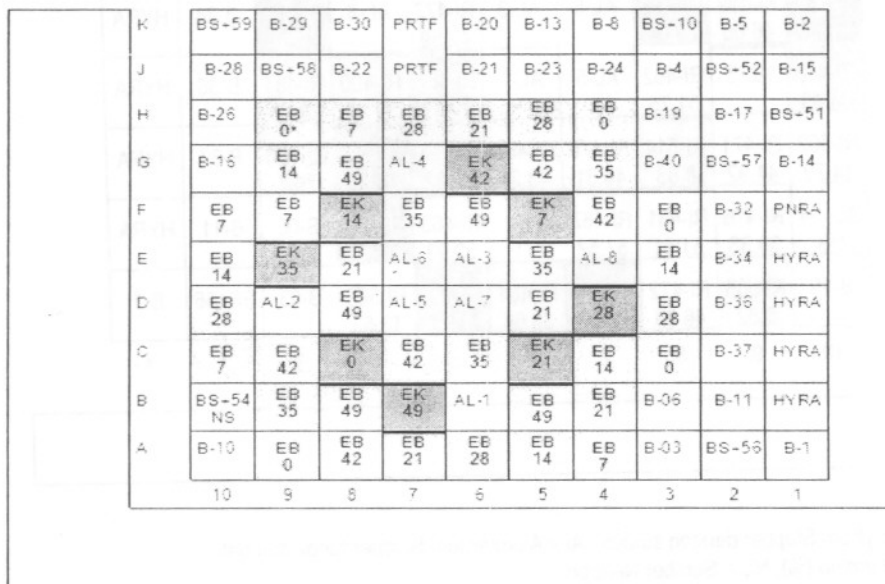
Dengan demikian bagi pengelola elemen bakar reaktor RSG-GAS, pola ini sangat memudahkan di dalam pelaksanaan pembentukan teras baru, karena

elemen bakar yang dimasukkan, dipindahkan, dan dikeluarkan sudah pasti posisinya.

Sedangkan untuk distribusi Burn up diperoleh melalui paket program BATAN-FUEL ditunjukkan dalam Gambar 1.

Tabel 3. Pola Manajemen Teras Setimbang Reaktor RSG-GAS

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



Keterangan:  
B = Beryllium, BS = Beryllium Stopper dengan sumbat, Al = Aluminium Stopper tanpa sumbat.  
EB = Elemen Bakar, EK = Elemen Kendal, \* = angka yang menunjukkan fraksi bakar (% atom <sup>235</sup>U)

Gambar 1. Distribusi Burn up di Teras Setimbang reaktor RSG-GAS

**TATA KERJA**

Perhitungan burn up di akhir siklus (EOC) adalah untuk mendapatkan distribusi burn up tiap elemen bakar setelah dibakar dalam waktu satu siklus tertentu. Untuk menghitung prediksi burn up

elemen bakar teras ke-78 dilakukan langkah kerja sebagai berikut :

1. Perhitungan Parameter Teras Awal Siklus Baru.  
Langkah-langkah perhitungan parameter teras awal siklus baru antara lain:

- a) Pengambilan data berat isotop U-235 untuk 5 buah elemen bakar standar segar dan 1 buah elemen bakar kendali (*fresh fuel*).
  - b) Pembuatan data inputan untuk perhitungan parameter teras awal siklus baru (BOC).
  - c) *Running program*.
2. Perhitungan *Burn up* Akhir Teras Untuk Teras Berikutnya.

- a) Pembuatan data inputan untuk perhitungan *burn up* akhir siklus (EOC).
- b) *Running program*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Konfigurasi Teras 78 penuh seperti Gambar 2.

Langkah-langkah perhitungan *burn up* akhir teras untuk teras berikutnya antara lain:

K	BS+59	B-29	B-30	PRTF	B-20	B-13	B-8	BS+10	B-5	B-2
J	B-28	BS+58	B-22	PRTF	B-21	B-23	B-24	B-4	BS+52	B-15
H	B-26	RI-508 7.35	RI-501 14.58	RI-483 34.07	RI-485 27.55	RI-482 35.21	RI-504 7.15	B-19	B-17	BS+51
G	B-16	RI-498 21.96	RI-469 54.04	AL-4	RI-468 51.90	RI-474 48.37	RI-475 40.09	B-40	BS+57	B-14
F	RI-503 15.22	RI-499 15.21	RI-492 24.69	RI-478 41.57	RI-464 53.20	RI-513 17.20	RI-473 47.10	RI-507 7.60	B-32	PNRA
E	RI-495 20.36	RI-489 46.00	RI-493 30.04	AL-6	AL-3	RI-477 42.59	AL-8	RI-497 21.42	B-34	HYRA
D	RI-480 34.38	AL-2	RI-462 51.75	AL-5	AL-7	RI-487 29.63	RI-490 39.33	RI-484 36.03	B-36	HYRA
C	RI-502 14.79	RI-471 44.92	RI-514 8.83	RI-470 46.31	RI-479 43.21	RI-491 32.22	RI-496 21.56	RI-506 7.87	B-37	HYRA
B	BS+54 NS	RI-476 39.33	RI-461 51.51	RI-467 57.57	AL-1	RI-463 52.93	RI-486 27.21	B-06	B-11	HYRA
A	B-10	RI-505 6.82	RI-472 46.99	RI-488 27.89	RI-481 33.68	RI-494 21.31	RI-500 13.53	B-03	BS+56	B-1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Keterangan :

B = Beryllium, BS+ = Beryllium Stopper dengan sumbat, AI = Aluminium Stopper tanpa sumbat, RI = Elemen Bakar + *burn up* (%), NS = Sumber Neutron

Gambar 2. Distribusi *burn up* Teras 78

Adapun elemen bakar standar dan kendali baru yang dimasukkan ke dalam teras 78 adalah RI-504 posisi H-4, RI-505 posisi A-9, RI-506 posisi C-3, RI-507 posisi F-3, RI-508 posisi H-9, dan RI-514 posisi C-8 (Elemen Kendali).

Hasil Perhitungan *burn up* masing-masing elemen bakar teras ke-78 akhir siklus ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Burn up (*Burn-Up*) Elemen Bakar Teras ke 78 Akhir Siklus  
(Hasil Perhitungan Program Batan-FUEL)

KODE ELEMEN	POSISI TERAS	BU (%)
FE RI-508	H-9	7.35
FE RI-501	H-8	14.58
FE RI-483	H-7	34.07
FE RI-485	H-6	27.55
FE RI-482	H-5	35.21
FE RI-504	H-4	7.15
FE RI-498	G-9	21.96
FE RI-469	G-8	54.04
CE RI-468	G-6	51.90
FE RI-474	G-5	48.37
FE RI-475	G-4	40.09
FE RI-503	F-10	15.22
FE RI-499	F-9	15.21
CE RI-492	F-8	24.69
FE RI-478	F-7	41.57
FE RI-464	F-6	53.20
CE RI-513	F-5	17.20
FE RI-473	F-4	47.10
FE RI-507	F-3	7.60
FE RI-495	E-10	20.36
CE RI-489	E-9	46.00
FE RI-493	E-8	30.04
FE RI-477	E-5	42.59
FE RI-497	E-3	21.42
FE RI-480	D-10	34.38
FE RI-462	D-8	51.75
FE RI-487	D-5	29.63
CE RI-490	D-4	39.33
FE RI-484	D-3	36.03
FE RI-502	C-10	14.79
FE RI-471	C-9	44.92
CE RI-514	C-8	8.83
FE RI-470	C-7	46.31
FE RI-479	C-6	43.21
CE RI-491	C-5	32.22
FE RI-496	C-4	21.56
FE RI-506	C-3	7.87
FE RI-476	B-9	39.33
FE RI-461	B-8	51.51
CE RI-467	B-7	57.57
FE RI-463	B-5	52.93
FE RI-486	B-4	27.21

Tabel 1. Lanjutan.

KODE ELEMEN	POSISI TERAS	BU (%)
FE RI-505	A-9	6.82
FE RI-472	A-8	46.99
FE RI-488	A-7	27.89
FE RI-481	A-6	33.68
FE RI-494	A-5	21.31
FE RI-500	A-4	13.53

Dari tabel 3, didapatkan *burn up* minimum pada FE RI-505 posisi A-9 sebesar 6,82 % dan *burn up* maksimum pada CE RI-467 posisi B-7 sebesar 57,57 %. Hal ini masih sesuai dengan LAK reaktor RSG-GAS dimana *burn up* buang maksimal 59,59 %.

#### KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Burn up minimum didapatkan oleh elemen bakar FE RI-505 pada posisi A-9 sebesar 6,82 %. Hal ini sesuai dengan konfigurasi teras RSG GAS yang menyatakan posisi A-9 dihuni elemen bakar segar/baru.
2. Burn up maksimal didapatkan oleh elemen bakar CE RI-467 pada posisi B-7 sebesar 57,57 %. Hal ini sesuai dengan LAK reaktor RSG GAS tentang batasan *burn up* buang maksimal sebesar 59,59 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Petunjuk Teknis Perhitungan Refueling Bahan Bakar Teras RSG-GAS (Teras Model 5-1) Dengan Paket Program BATAN-Fuel*, Rev. 01, No Ident : RSG.OR.05.03.44.11
- [2] *Laporan Analisis Keselamatan (LAK) RSG-GAS Rev.10.1*, PRSG-BATAN, Desember 2011
- [3] *Prosedur Pembentukan Teras Kerja Baru (Teras Yang Dikenal, Model 5-1, Teras No. 54, dst.)*, Rev.02, No. Ident. RSG.OR.03.02.42.10
- [4] **MOCHAMMAD IMRON**, *Manajemen Teras*, Diktat Diklat Operator dan Supervisor 2009, Pusdiklat – BATAN.
- [5] **LIEM PENG HONG**, *Batan-2DIFF, ADJOINT-2DIFF dan PERTURB-2DIFF Codes Input Manual*”, Batan, Jakarta 1994
- [6] **TUKIRAN S DAN TAGOR MS**, *Analisis Neutronik Teras RSG-Gas Berbahan Bakar Silisida*, 2001, Jurnal Kontribusi Fisika Indonesia.
- [7] **TUKIRAN & IMAN KUNTORO**, *Peningkatan Batas Maksimum Burn up Buang Bahan Bakar Silisida Reaktor RSG-GAS*, 2001, Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir VI P2TBDU - BATAN Jakarta