

## PERHITUNGAN FRAKSI BAKAR ELEMEN BAKAR TERAS KE-82 DI REAKTOR RSG-GAS DENGAN BATAN-FUEL

Ariyawan Sunardi dan Muchammad Imron  
PRSG-BATAN

### ABSTRAK

**PERHITUNGAN FRAKSI BAKAR ELEMEN BAKAR TERAS KE-82 DI REAKTOR RSG-GAS DENGAN BATAN-FUEL.** Selama pengoperasian reaktor dalam satu periode teras, elemen bakar nuklir telah terbakar dengan masing-masing fraksi bakar yang berbeda. Periode Teras 82 dimulai dari 6 Maret s.d. 22 Mei 2013. Energi yang dibangkitkan selama teras ke 82 sebesar 652,3474 MWD. Sedangkan menurut jadwal operasi, rencana energi yang akan dibangkitkan 654 MWD. Hal ini dikarenakan adanya gangguan selama pengoperasian reaktor. Perhitungan fraksi bakar masing-masing elemen bakar menggunakan paket program BATAN-FUEL. Dari perhitungan tersebut didapatkan fraksi bakar minimal didapatkan oleh elemen bakar RI-529 pada posisi A-9 sebesar 6,72 %. Dan fraksi bakar maksimal didapatkan oleh elemen bakar RI-491 pada posisi B-7 sebesar 57,58 %. Hal ini masih sesuai dengan Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Reaktor RSG-GAS dimana fraksi bakar buang maksimum 59,96 %. Dari perhitungan juga didapatkan elemen bakar yang harus dikeluarkan adalah RI-485, RI-486, RI-487, RI-488, RI-493 dan RI-491.

**Kata kunci :** fraksi bakar, teras 82, BATAN-FUEL.

### ABSTRACT

**FUEL FRACTION ANALYSIS OF CORE 82 IN REACTOR RSG-GAS WITH BATAN FUEL.** During operation of the reactor core during a period of nuclear fuel would have burned with each different fuel fractions of core 82 period beginning on the date 2013 March 6, until May, 22. Energy generated during this period of 82 at 652,3474 MWD. Meanwhile, according to the operating schedule of energy plan that will be raised 654 MWD. This is due to interference during operation of the reactor The calculation of the fraction of each fuel using fuel-FUEL BATAN program package. The fractions obtained from the calculation of minimum fuel fuel obtained by RI-529 A-9 position of 6.72%. Fraction of maximum fuel and the fuel obtained by RI-491 B-7 position of 57.58%. It is still in accordance with the Safety Analysis Report (SAR) Reactor RSG-GAS where the fraction of the maximum 59.96% waste fuels. Also obtained from the calculation of fuel that must be removed is RI-485, RI-486, RI 487, RI-488, RI 493 and RI-491.

**Key words:** the fraction of fuel, core 82, BATAN-FUEL.

### PENDAHULUAN

Reaktor RSG-GAS adalah jenis reaktor riset dengan daya nominal 30 MW. Reaktor RSG-GAS memerlukan elemen bakar nuklir (EBN) berupa Elemen Bakar Standar (EBS) dan Elemen Bakar Kendali (EBK) masing-masing sebanyak 40 elemen dan 8 elemen. Setiap elemen bakar terdiri dari 21 pelat elemen bakar pada setiap EBS dan 15 pelat elemen bakar pada EBK. Bahan kelongsong elemen bakar terbuat dari paduan Aluminium, yaitu Aluminium Magnesium ( $AlMg_2$ ). Elemen bakar standar dan kendali yang digunakan adalah Uranium Silisida dan Aluminium ( $U_3Si_2-Al$ ).

Selama reaktor dioperasikan, masing-masing elemen bakar nuklir akan terbakar dimana persyaratan fraksi bakar buang maksimum adalah 59,96%<sup>(1)</sup>. Berdasarkan jadwal operasi, pelaksanaan operasi reaktor dari 6 Maret s.d. 22 Mei 2013 dengan maksimum daya 15 MW bahwa fraksi bakar

yang dibangkitkan telah mencapai 652,3474 MWD yang disebut satu siklus teras (Teras 82). Oleh karena itu dengan berpedoman pada parameter desain neutronik RSG-GAS bahwa energi yang terbangkitkan selama 1 siklus adalah 675,5 MWD<sup>(1)</sup> maka diperlukan analisis sesuai manajemen elemen bakar Reaktor RSG-GAS sehingga diperlukan parameter perhitungan fraksi bakar tiap elemen bakar

Perhitungan fraksi elemen bakar dilakukan dengan menggunakan paket program BATAN-FUEL. Setelah dilakukan perhitungan ini, akan diperoleh fraksi bakar maksimum setiap elemen bakar standar dan elemen bakar kendali. Akan diperoleh 5 buah elemen bakar standar dan 1 elemen bakar kendali dengan fraksi bakar maksimum. Kemudian elemen-elemen bakar tersebut harus diganti dengan elemen bakar segar/baru untuk siklus teras berikutnya. Penggantian/*refueling* elemen bakar tersebut diatur dalam manajemen elemen

bakar Reaktor RSG-GAS agar diperoleh fraksi bakar yang merata dan optimal.

## 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  $10^{-4}$  % sampai dengan  $10^{-3}$  % (Liem, 1994).

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

### Manajemen Elemen Bakar 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). Berdasarkan disainnya, RSG-GAS memiliki daya nominal 30 MW (termal), elemen bakar dispersi ( $U_3O_8$ -Al) dengan densitas uranium sekitar  $2,96 \text{ g/cm}^3$  dan pengayaan Uranium U-235 sekitar 19,75% U. Elemen bakar yang dipakai di Reaktor RSG-GAS adalah elemen bakar uranium pengayaan rendah tipe dispersi ( $2,96 \text{ gr U/cm}^3$ ) 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 kelas fraksi bakar baru yaitu 0%, 7%, 14%, 21%, 28%, 35%, 42%, dan 49% pada awal siklus, Sedangkan pada akhir siklus, akan memiliki 8 buah kelas fraksi bakar 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 akhir siklus juga ada 5 buah elemen bakar dan 1 buah elemen kendali dengan fraksi bakar 56% yang keluar dari teras sebagai elemen bakar bekas. 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 fraksi bakar

Kelas Fraksi Bakar	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	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

Tabel 2. Lanjutan

Kelas Fraksi Bakar		Teras ke- n-1		Teras ke-n		Teras ke- n+1	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
	14%	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1	5/1
	7%	5/1	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 4 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>3)</sup>.

Dengan demikian bagi pengelola elemen bakar RSG-GAS, pola ini sangat memudahkan di dalam pelaksanaan pembentukan teras baru, karena elemen bakar yang dimasukkan, dipindahkan, dan dikeluarkan sudah pasti posisinya.

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

Pola pergeseran dan pengeluaran elemen bakar yang dikenal dengan pola manajemen teras setimbang reaktor RSG-GAS sesuai dengan yang tertera dalam tabel 3.

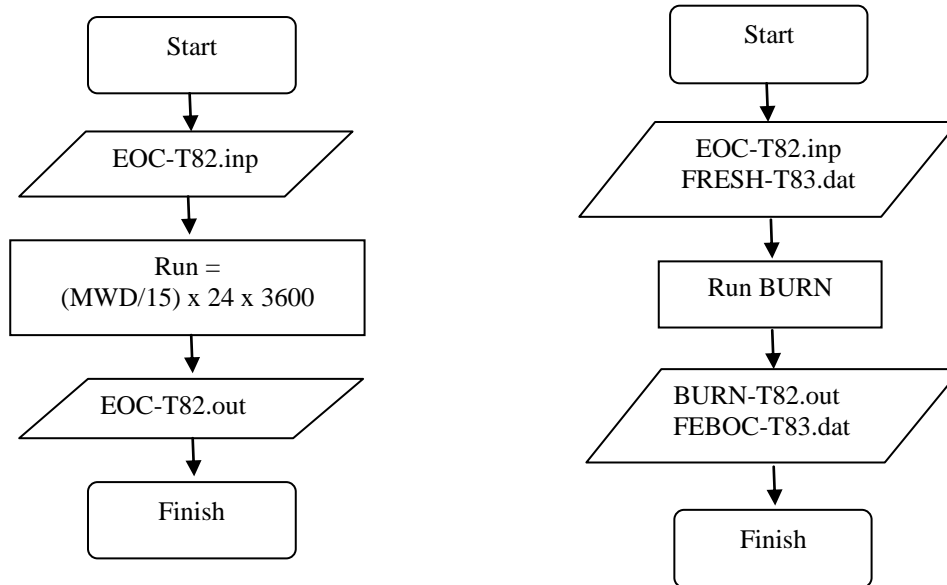
### PERHITUNGAN FRAKSI BAKAR

Perhitungan fraksi bakar di akhir siklus (EOC) adalah untuk mendapatkan distribusi fraksi bakar tiap elemen bakar setelah dibakar dalam waktu satu siklus tertentu. Perhitungan EOC juga dipergunakan untuk memprediksi fraksi bakar elemen bakar bekas.

Untuk menghitung fraksi bakar elemen bakar teras ke-82 dilakukan langkah langkah sebagai berikut :

- Pengambilan data total daya terbangkitkan pada Lembar Evaluasi Operasi.
- Pembuatan data inputan untuk perhitungan fraksi bakar/*burn up real* di akhir siklus (EOC).
- Running program*.
- Pembuatan data inputan untuk perhitungan parameter teras akhir siklus (Burn).
- Running program*.

Sedangkan flowchart untuk perhitungan fraksi bakar elemen bakar teras ke-82 disajikan sebagai berikut :



Gambar 1. Flowchart Perhitungan Fraksi Bakar Teras ke-82

#### PEMBAHASAN

Dari pola manajemen elemen bakar Reaktor RSG-GAS didapatkan konfigurasi teras 82 penuh

seperti pada gambar 2.

Hasil Perhitungan fraksi bakar masing-masing elemen bakar teras ke-82 akhir siklus ditunjukkan pada tabel 4.

K	BS+59	B-29	B-30	PRTF	B-20	B-13	B-8	BS+10	B-5	B-2
	B-28	BS+58	B-22	PRTF	B-21	B-23	B-24	B-4	BS+52	B-15
	B-26	RI-532 1.0268	RI-525 0.9652	RI-507 0.9175	RI-509 0.9338	RI-506 0.8372	RI-528 0.9941	B-19	B-17	BS+51
	B-16	RI-522 1.0604	RI-493 0.8953	AL-4	RI-492 0.9695	RI-498 0.8566	RI-499 0.8794	B-40	BS+57	B-14
	RI-527 1.1221	RI-523 1.1699	RI-516 1.1849	RI-502 1.1164	RI-488 0.9444	RI-537 1.2012	RI-497 0.9194	RI-531 1.0613	B-32	PNRA
	RI-519 1.0649	RI-513 1.0284	RI-517 1.1925	AL-6	AL-3	RI-501 1.1204	AL-8	RI-521 1.0441	B-34	HYRA
	RI-504 0.9932	AL-2	RI-486 1.0298	AL-5	AL-7	RI-511 1.1752	RI-514 1.0805	RI-508 0.8965	B-36	HYRA
	RI-526 1.0303	RI-495 0.9168	RI-538 1.2289	RI-494 0.9971	RI-503 1.0846	RI-515 1.1081	RI-520 1.0956	RI-530 1.0948	B-37	HYRA
	BS+54 NS	RI-500 0.8522	RI-485 0.8060	RI-491 0.8953	AL-1	RI-487 0.8959	RI-510 0.9889	B-06	B-11	HYRA
	B-10	RI-529 0.9513	RI-496 0.7432	RI-512 0.9530	RI-505 0.9624	RI-518 0.9469	RI-524 0.9672	B-03	BS+56	B-1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Keterangan :B = Beryllium, BS+ = Beryllium dengan sumbat, Al = Alumminium tanpa sumbat, RI = Elemen Bakar, NS = Sumber Neutron

Gambar 2. Konfigurasi Teras 82 Penuh

Tabel 4 Perhitungan Fraksi Bakar (Burn-Up) Elemen Bakar Teras ke 82 Akhir Siklus (Hasil Perhitungan Program Batan-FUEL)

No	Nomor-Kode Elemen Bakar	Posisi di Teras	PPF	BurnUp/Fraksi Bakar		Berat <sup>235</sup> U (gram)		Keterangan
				%	$\frac{MWD}{Ton\ Heavy\ Metal}$	Sisa	Terbakar	
1	RI-532	H-9	1.0268	7.22	11583.2	231.760	18.070	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
2	RI-525	H-8	0.9652	14.42	23318.9	212.850	35.900	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
3	RI-507	H-7	0.9175	34.31	56682.3	163.260	85.300	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
4	RI-509	H-6	0.9338	27.74	45501.7	179.830	69.080	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
5	RI-506	H-5	0.8372	35.40	58563.6	160.530	88.010	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al

No	Nomor-Kode Elemen Bakar	Posisi di Teras	PPF	BurnUp/Fraksi Bakar		Berat <sup>235</sup> U (gram)		Keterangan
				%	$\frac{MWD}{\text{Ton Heavy Metal}}$	Sisa	Terbakar	
6	RI-528	H-4	0.9941	7.01	11256.2	231.390	17.490	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
7	RI-522	G-9	1.0604	22.28	36338.4	193.570	55.550	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
8	RI-493	G-8	0.8953	54.07	91542.9	114.160	134.440	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
9	RI-492	G-6	0.9695	51.99	87775.6	85.360	92.481	Elemen Kendali U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
10	RI-498	G-5	0.8566	48.31	81160.7	129.220	120.780	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
11	RI-499	G-4	0.8794	40.15	66785.7	149.880	100.580	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
12	RI-527	F-10	1.1221	15.03	24316.7	211.320	37.410	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
13	RI-523	F-9	1.1699	15.09	24424.6	211.880	37.700	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
14	RI-516	F-8	1.1849	25.12	41089.7	132.550	44.501	Elemen Kendali U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
15	RI-502	F-7	1.1164	41.68	69455.5	144.260	103.140	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
16	RI-488	F-6	0.9444	53.04	89677.8	117.050	132.270	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
17	RI-537	F-5	1.2012	17.00	27571.2	147.380	30.221	Elemen Kendali U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
18	RI-497	F-4	0.9194	47.03	78898.1	132.640	117.830	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
19	RI-531	F-3	1.0613	7.46	11975.9	231.090	18.670	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
20	RI-519	E-10	1.0649	20.70	33698.7	197.950	51.720	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
21	RI-513	E-9	1.0284	46.34	77668.6	94.920	82.021	Elemen Kendali U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
22	RI-517	E-8	1.1925	30.16	49592.1	173.720	75.040	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
23	RI-501	E-5	1.1204	42.74	71309.5	142.080	106.090	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
24	RI-521	E-3	1.0441	21.81	35543.7	194.630	54.320	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
25	RI-504	D-10	1.9932	34.55	57091.6	161.870	85.480	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
26	RI-486	D-8	1.0298	51.52	86923.8	120.620	128.240	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
27	RI-511	D-5	1.1752	29.76	48923.2	174.120	73.820	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
28	RI-514	D-4	1.0805	39.70	65998.4	106.320	70.021	Elemen Kendali U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
29	RI-508	D-3	0.8965	36.17	59888.3	158.780	90.020	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
30	RI-526	C-10	1.0303	14.63	23660.4	212.300	36.420	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
31	RI-495	C-9	0.9168	44.80	74939.2	138.430	112.380	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
32	RI-538	C-8	1.2289	8.68	13958.4	161.810	15.421	Elemen Kendali U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
33	RI-494	C-7	0.9971	46.24	77486.2	134.160	115.430	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
34	RI-503	C-6	1.0846	43.39	72451.7	140.000	107.340	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
35	RI-515	C-5	1.1081	32.43	53470.2	119.470	57.381	Elemen Kendali U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
36	RI-520	C-4	1.0956	21.92	35737.6	194.590	54.690	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
37	RI-530	C-3	1.0948	7.71	12384.1	229.890	19.250	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
38	RI-500	B-9	0.8522	39.26	65240.8	152.150	98.390	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
39	RI-485	B-8	0.8060	51.35	86616.8	120.990	127.760	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
40	RI-491	B-7	0.8953	57.58	97969.9	75.390	102.381	Elemen Kendali U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
41	RI-487	B-5	0.8959	52.77	89186.0	117.880	131.760	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
42	RI-510	B-4	0.9889	27.36	44857.1	180.030	67.850	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
43	RI-529	A-9	0.9513	6.72	10788.4	231.740	16.740	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
44	RI-496	A-8	0.7432	46.95	78751.4	132.750	117.540	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
45	RI-512	A-7	0.9530	28.08	46083.1	178.310	69.670	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al

No	Nomor-Kode Elemen Bakar	Posisi di Teras	PPF	BurnUp/Fraksi Bakar		Berat <sup>235</sup> U (gram)		Keterangan
				%	$\frac{MWD}{\text{Ton Heavy Metal}}$	Sisa	Terbakar	
46	RI-505	A-6	0.9624	33.88	55949.1	163.750	83.950	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
47	RI-518	A-5	0.9469	21.61	35212.7	195.440	53.920	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
48	RI-524	A-4	0.9672	13.43	21690.1	215.900	33.520	Elemen Bakar U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al

Berdasarkan tabel diatas didapatkan fraksi bakar maksimal sebesar 57,58 % oleh elemen bakar RI-465 pada posisi teras B-7. Hal ini masih memenuhi persyaratan keselamatan dimana menurut Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Reaktor RSG-GAS persyaratan fraksi bakar buang maksimum 59,96%<sup>(1)</sup>. Batasan fraksi bakar tersebut akan tercapai ketika energi yang terbangkitkan dalam satu siklus teras adalah 675,5 MWD. Dikarenakan pertimbangan keselamatan, maka penjadwalan operasi reactor teras 82 selama 78 hari dan akan dibangkitkan energi 654 MWD.

Penjadwalan operasi reaktor telah dilakukan pada awal tahun, disepakati para pengguna reaktor dan telah dirilis secara terbuka/*online*. Tetapi dalam kondisi nyata, ternyata operasi reaktor hanya mampu membangkitkan energy 652, 3474 MWD. Tidak sesuai dengan rencana jadwal operasi, dikarenakan ketika teras 82 terjadi beberapa masalah teknis reaktor yang mengakibatkan terganggunya operasi reaktor. Hasil perhitungan tersebut masih mempertimbangkan keselamatan yang tinggi terhadap pembatasan derajat bakar maksimum 72%<sup>(6)</sup>. Pembakaran Uranium diatas 60% sudah tidak efektif karena menghasilkan gas Xenon yang berlebihan.

Dari tabel tersebut didapatkan 6 elemen bakar yang harus dikeluarkan untuk siklus teras selanjutnya. Elemen bakar tersebut terdiri dari 5 elemen bakar standar dan 1 elemen bakar kendali. Elemen bakar yang harus dikeluarkan adalah RI-485 (fraksi bakar 51,35%), RI-486 (fraksi bakar 51,52%), RI-487 (fraksi bakar 52,77%), RI-488 (fraksi bakar 53,04%), RI-493 (fraksi bakar 54,07%) dan RI-491 (fraksi bakar 57,58%).

## KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Burn Up minimal didapatkan oleh elemen bakar RI-529 pada posisi A-9 sebesar 6,72%. Hal ini sesuai dengan konfigurasi teras Reaktor RSG GAS yang menyatakan posisi A-9 ditempati elemen bakar segar/baru.
2. Burn Up maksimal didapatkan oleh elemen bakar RI-491 pada posisi B-7 sebesar 57,58%. Hal ini sesuai dengan batasan LAK Reaktor RSG GAS tentang batasan burn up elemen bakar rata-rata sebesar 59,96%<sup>(1)</sup>.
3. Elemen bakar standar yang harus diganti setelah Teras 82 adalah FE RI-485, FE RI-486, FE RI-487, FE RI-488 dan FE RI-493. Sedangkan elemen bakar kendali yang harus diganti adalah FE RI-491.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS Rev.10.1 Bab V, 2011, PRSG – BATAN
- [2] Petunjuk Teknis Perhitungan Refueling Bahan Bakar Teras Reaktor RSG-GAS (Teras Model 5-1) Dengan Paket Program BATAN-Fuel, Rev. 01, No Ident : RSG.OR.05.03.44.11
- [3] *Muchammad Imron, Manajemen Teras*, Diktat Diklat Operator dan Supervisor 2009, Pusediklat – BATAN.
- [4] Laporan Operasi Teras 82 RSG-GAS, Sub Bidang Perencanaan Operasi
- [5] 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
- [6] *Tukiran S dan Tagor MS, Analisis Neutronik Teras Reaktor RSG-GAS Berbahan Bakar Silisida*, 2001, Jurnal Kontribusi Fisika Indonesia.
- [7] *Tukiran S dan Iman Kuntoro, Peningkatan Batas Maksimum Fraksi Bakar Buang Bahan Bakar Silisida Reaktor RSG-GAS*, 2001, Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir VI P2TBDO - BATAN Jakarta