

VALIDASI PERHITUNGAN MANUAL FRAKSI BAKAR TERAS OPERASI KE-65 RSG-GAS DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM BATAN-2DIFF

Jaja Sukmana, Ariyawan Sunardi, Jonnie A. Korua

ABSTRAK

VALIDASI PERHITUNGAN MANUAL FRAKSI BAKAR TERAS OPERASI KE-65 RSG-GAS DENGAN PAKET PROGRAM BATAN-2DIFF. Fraksi bakar merupakan parameter penting dalam pengoperasian suatu reaktor nuklir. Keakuratan perhitungan fraksi bakar berpengaruh terhadap keselamatan operasi reaktor. Perhitungan dengan program Batan-2Diff ditujukan untuk memvalidasi perhitungan manual fraksi bakar, karena sejak program BATAN-FUEL tidak dapat dioperasikan, manajemen teras RSG-GAS dilakukan secara manual. Metode perhitungan berdasar pada difusi neutron banyak kelompok tenaga. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tingkatan fraksi bakar tertinggi di akhir siklus operasi teras 65 adalah 55,8% dicapai oleh elemen bakar RI-392. Tingkatan fraksi bakar rerata di awal dan di akhir siklus masing-masing adalah 24,6% dan 31,5%. Jumlah total U235 terbakar selama operasi teras 65 adalah 3,57. 103 gram dan U235 yang tersisa sebesar 7,83. 103 gram. Hasil perhitungan program Batan-2Diff tidak berbeda secara signifikan dengan perhitungan manual. Hasil perhitungan manual adalah fraksi bakar rerata di akhir siklus 55,3%, fraksi bakar rerata di awal siklus 24,1% dan di akhir siklus 31,2%. Dapat disimpulkan bahwa perhitungan manual yang telah dilakukan tidak menyimpang dari aspek keselamatan. Meskipun demikian untuk memenuhi persyaratan ijin operasi dari Bapeten, perhitungan teras selanjutnya harus dilakukan dengan program komputer Batan-2Diff.

Kata Kunci : Fraksi baker, Batan-2Diff

ABSTRACT

VALIDATION OF MANUAL BURN UP CALCULATION OPERATION AT CORE 65TH USING BATAN-2DIFF COMPUTER PROGRAM. Burn up is considered as one of important parameters to reactor nuclear operation Its accuracy impact on reactor safety. This Batan-2diff calculation is aimed to validate burn up calculation carried out manually. Since BATAN-FUEL computer code failed, the RSG-GAS core management had been done manually. Calculation method of Batan-2Diff is based on neutron diffusion with many energy group. Calculation result shown that the highest burn up of operation 65th was 55.8% for RI-392. Average burn up of beginning of cycle and end of cycle respectively were 24.6% and 31.5%. Total U235 burned of operation 65th was 3.57E03 grams while the remaining U235 was 7.83E03 grams. Those were not significantly different to the manual calculation result which were the highest burn up at end of cycle was average 55.3%, average burn up of beginning of cycle and end of cycle respectively were 24.1% and 31.2%. It can be concluded that manual method for burn up calculation were still comply to reactor operation safety aspect. Even though, to meet reactor operation license from Bapeten the next calculation for fuel element burn up should be carried out using computer code of Batan-2Diff.

Key Words : Burn-up, Batan-2Diff

PENDAHULUAN

Fraksi bakar merupakan parameter penting dalam pengoperasian suatu reaktor nuklir. Keakuratan perhitungan fraksi bakar berpengaruh terhadap keselamatan operasi reaktor. Perhitungan manajemen teras terkait fraksi bakar dari elemen bakar dan elemen kendali RSG-GAS dapat dilakukan dengan menggunakan program komputer tertentu atau secara perhitungan manual.

Nilai parameter neutronik reaktor (di antaranya: neraca raktivitas, generasi kelompok difusi neutron, konfigurasi teras setimbang, kinetika teras, faktor puncak daya, dan fraksi bakar) pada tingkat desain dapat dihitung dengan menggunakan paket program WIMS-D/4, Batan-Fuel, dan Batan-3Diff^[1].

Paket program Batan-Fuel saat ini tidak dapat dioperasikan sehingga digunakan Batan-2Diff yang telah teruji keakuratannya dan telah tervalidasi^[1]. Penggunaan Batan-2Diff dalam perhitungan fraksi bakar teras RSG-GAS dimaksudkan agar perhitungan tidak hanya pada tingkat desain melainkan juga pada pelaksanaan operasi sehingga hasil hitungan fraksi bakar secara manual pada tiap laporan operasi reaktor dapat tervalidasi dengan hasil perhitungan paket program komputer sebagaimana yang diminta Bapeten.

Perhitungan menggunakan *computer code* oleh Bidang Keselamatan dilakukan untuk mengkaji, mengoreksi dan memberikan verifikasi keselamatan neutronik sebagaimana yang disyaratkan dalam LAK RSG-GAS.

Metode perhitungan dengan paket program yang digunakan akan disajikan dengan detil agar dapat menjadi acuan dalam membahas setiap analisis neutronik reaktor yang menggunakan Batan-2Diff ini.

TEORI

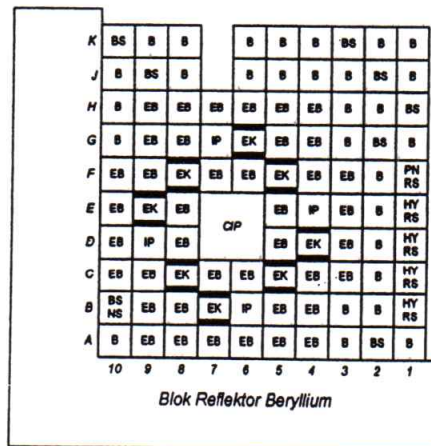
Desain Neutronik RSG-GAS

Analisis neutronik RSG-GAS yang dilakukan dengan paket program komputer diantaranya adalah; pencarian konfigurasi teras setimbang, distribusi fraksi bakar teras setimbang; distribusi pembangkitan panas ke arah radial dan aksial, neraca reaktivitas teras setimbang, dan parameter kinetika teras setimbang.

Batasan desain yang digunakan di dalam penentuan teras setimbang silisida adalah^[1]:

- Reaktivitas lebih teras (ρ_{ex}) maks. pada awal siklus (BOC), adalah 10,9 % $\Delta k/k$.
- Marjin reaktivitas padam adalah $\geq 0,5$ % $\Delta k/k$.
- Fraksi bakar buang maksimum dibatasi $\leq 56\%$.

Gambar 1, merupakan konfigurasi teras setimbang (TWC) silisida RSG-GAS. Teras aktif dari TWC terdiri atas 40 elemen bakar standar (EB), 8 elemen bakar kendali (EK), satu posisi iradiasi di tengah (CIP) dan 4 posisi iradiasi (IP) di dalam teras reaktor.



Gambar 1. Konfigurasi teras setimbang silisida RSG-GAS

Selain dari 8 elemen berilium di tepi, teras reaktor dikelilingi pada kedua sisinya oleh dua baris posisi pelat kisi (seluruhnya berjumlah 36) yang menyediakan ruang untuk elemen reflektor berilium (B atau BS) maupun posisi iradiasi di reflektor dan piranti-piranti untuk sistem *rabbit* (RS).

Untuk mendapatkan fraksi bakar buang sesuai dengan yang dipersyaratkan di akhir siklus (EOC), maka teras setimbang silisida RSG-GAS harus memiliki pola pemasukan, pergeseran dan pengeluaran elemen bakar tertentu yang mempertimbangkan kesetimbangan fraksi bakar dan keselamatan.

Kesetimbangan manajemen teras diperoleh dengan pola 5+1, yaitu mengganti 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali.

Analisis dan evaluasi desain neutronik terhadap teras RSG-GAS dengan posisi batang kendali dan distribusi fraksi bakar yang memadai, sehingga sistem kendali dan proteksi reaktor memberikan reaktivitas kendali yang cukup kendatipun batang kendali yang memiliki nilai reaktivitas tertinggi macet (*stuck*) pada saat posisi ditarik penuh (*fully-up*).

Parameter neutronik RSG-GAS disajikan seperti tabel berikut ini.

Tabel 1. Parameter desain neutronik RSG-GAS⁽¹⁾

Karakteristik Teras	Nilai
Jumlah elemen bakar	40
Jumlah elemen kendali & penyerap	8
Panjang siklus (pada daya penuh), hari / MWD	21,8 / 654
Fraksi bakar rata-rata awal siklus, % hilangnya ²³⁵ U	24
Fraksi bakar rata-rata akhir siklus, % hilangnya ²³⁵ U	31
Fraksi bakar buang rerata (<i>discharged</i>), % hilangnya ²³⁵ U	56
Nilai Reaktivitas	
Reaktivitas lebih saat awal siklus, dingin dan tanpa Xenon, %	9,7
Reaktivitas untuk eksperimen, %	2,9

Nilai Reaktivitas (lanjutan)	Nilai
Nilai reaktivitas 8 batang kendali, %	-13,8
Marjin reaktivitas padam, %	-1,3
Laju maksimum sisipan reaktivitas yang terkendali (termasuk 15% penambahan untuk keselamatan), Δρ per s	2,2x 10 ⁻⁴
Karakteristik Kinetik (Awal Siklus)	
Koefisien suhu elemen bakar, /K	-1,92 x 10 ⁻³
Koefisien suhu moderator, /K	-1,14 x 10 ⁻⁴
Koefisien void moderator, % void	-1,34 x 10 ⁻³
Fraksi neutron kasip total	0,00719
Umur hidup neutron serentak, μs	64,5

Model Perhitungan dengan Batan-2Diff

Program perhitungan komputer (*code*) Batan-2Diff adalah suatu program komputer yang dipergunakan untuk menyelesaikan persamaan difusi neutron banyak kelompok tenaga dalam geometri 2-D. Persamaan difusi neutron yang diselesaikan adalah⁽²⁾:

$$-\nabla D_g(r) \cdot \nabla \Phi_g(r) + \Sigma_{r,g}(r) \Phi_g(r) = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{f,g'}(r) \Phi_{g'}(r) - \lambda_g(r) \Phi_g(r) + \frac{\lambda_g}{k_{eff}^{(n-1)}} S_f^{(n-1)}(r), \quad g = 1, 2, \dots, G \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dengan metode *finite difference* untuk iterasi ke-n persamaan di atas menjadi:

$$-\nabla D_g(r) \cdot \nabla \Phi_g^{(n)}(r) + \Sigma_{r,g}(r) \Phi_g^{(n)}(r) = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{f,g'}(r) \Phi_{g'}^{(n)}(r) - \lambda_g(r) \Phi_g^{(n)}(r) + \frac{\lambda_g}{k_{eff}^{(n-1)}} S_f^{(n-1)}(r) \quad \dots\dots\dots(2)$$

karena suku bagian kanan tidak bergantung pada Φ_g, maka :

$$-\nabla D_g(r) \cdot \nabla \Phi_g^{(n)}(r) + \Sigma_{r,g}(r) \Phi_g^{(n)}(r) = S_g(r) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$S_g(r) = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{f,g'}(r) \Phi_{g'}^{(n)}(r) + \frac{\lambda_g}{k_{eff}^{(n-1)}} S_f^{(n-1)}(r) \quad \dots\dots\dots(3)$$

dengan,

- G = number of energy groups
- g = energy group index.
- r = position.
- Φ_g = neutron flux in group g.
- D_g = diffusion constant for group g (=1/3Σ_{t,r,g})
- Σ_{t,r,g} = transport cross section for group g.

- $\nu\Sigma_{tr,g}$ = fission source cross section from group g.
- $\Sigma_{t,g}$ = total cross section for group g.
- $\Sigma_{a,g}$ = absorption cross section for group g.
- $\Sigma_{s,g' \rightarrow g}$ = scattering (transfer) cross section from g' to g.
- X_g = fission source fraction in group g.
- k_{eff} = effective multiplication constant.

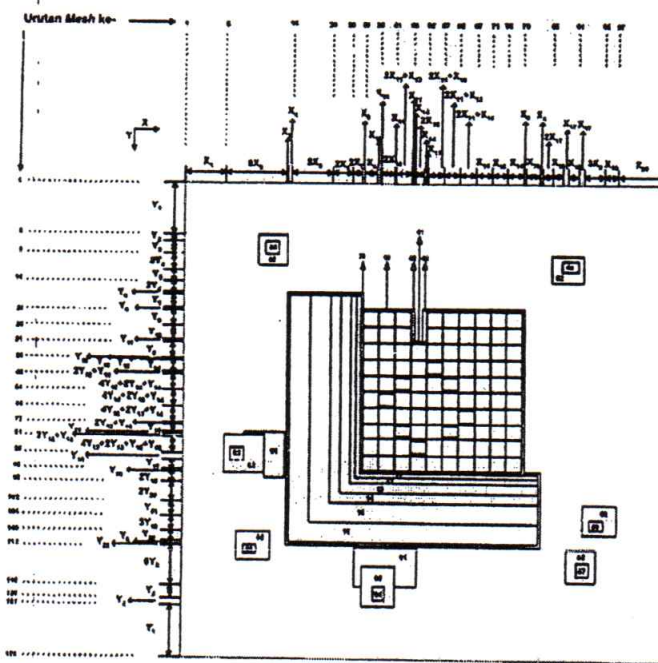
Akurasi perhitungan parameter teras reaktor RSG-GAS dengan Batan-2Diff sangat ditentukan oleh: tampang lintang material penyusun teras, pemodelan teras yang detil, dan keakuratan perhitungan fraksi bakar tiap elemen bakar yang ada di teras. Dalam pemodelan, ukuran teras ke arah-X dan ke arah-Y dirinci sebagai mesh. Jumlah mesh ke arah-X sebanyak 100 dan ke arah-Y sebanyak 125. Pada Gambar 2 disajikan pembagian mesh pada

tiap region dari teras RSG-GAS.

Material teras reaktor didefinisikan dalam file data tertentu begitu pula nilai tampang lintang neutron yang terlebih dahulu digenerasi oleh WIMSD didefinisikan dalam file data tersendiri.

Pekerjaan yang harus dilakukan oleh Batan-2Diff dalam manajemen teras RSG-GAS, yaitu: perhitungan kritikalitas teras penuh di awal siklus, perhitungan kritis pertama di awal siklus, perhitungan margin padam di awal siklus, dan perhitungan fraksi bakar dan inventori di akhir siklus. Untuk memberikan hasil terhadap perhitungan fraksi bakar diperlukan kartu masukan (*input card*): *BURNUP. Kartu BURNUP digunakan untuk menghitung inventori suatu teras jika dibakar dalam waktu dan jumlah siklus tertentu.

Format BUTIME harus diubah dengan jumlah waktu dalam satu teras operasi (*time interval for one cycle, s*) dalam satuan detik.

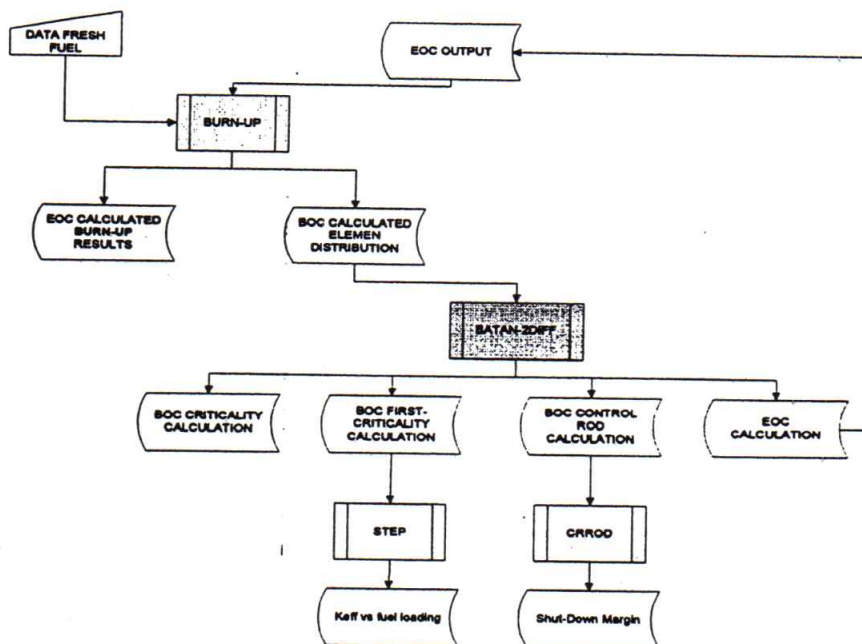


Gambar 2. Pembagian mesh pada region teras RSG-GAS

Contoh penyusunan material teras dalam Batan-2Diff, seperti yang ditunjukkan dalam data “*MATERIAL ZONE”, formatnya nomor 1-70 untuk material tidak dapat belah dan nomor 71-118 diperuntukkan untuk elemen bakar standard (EB) dan kendali (EK).

METODOLOGI

- a) Menyiapkan *inputan* data Batan-2Diff, yaitu parameter desain teras, manajemen elemen bakar, dan elemen kendali. Data dimasukkan melalui fasilitas program *acredit0.9.4.15-application*, seperti yang ditunjukkan pada lampiran 1.
- b) Menjalankan program Batan-2Diff. Alur pemrograman ditunjukkan pada Gambar 3: Diagram alir perhitungan neutronik dengan code Batan-2Diff. Dimana dalam menghitung fraksi bakar diperlukan data kondisi EOC dan data elemen bakar segar (*fresh*). Dan dari eksekusinya dihasilkan pula data konfigurasi EB awal (FEBOC) untuk teras operasi selanjutnya.
- c) Membandingkan hasil perhitungan fraksi bakar Batan-2Diff dengan hasil perhitungan manual fraksi bakar pada teras 65.
- d) Membuat kesimpulan.



Gambar 3. Diagram alir perhitungan neutronik dengan code Batan-2Diff

HASIL

Data hasil eksekusi Batan-2Diff yang ditampilkan adalah *output* dari program yang diperlukan untuk memverifikasi data fraksi bakar hasil perhitungan manual operasi teras 65. Hasil yang ditampilkan adalah data elemen bakar awal siklus BOC dan fraksi bakar elemen bakar akhir siklus EOC.

A. OUTPUT BOC:

 * PERHITUNGAN AWAL SIKLUS
 (BOC) *
 * KONFIGURASI TERAS 65 *
 * TERAS PENUH *

.....
 CRITICALITY CALC. RESULTS
 OUTER ITER. NO. = 182
 KEFF (ITERATION) =
 1.0825741291
 KEFF (NEUT. BAL.) =
 1.0826078653
 KEFF (EIGENVALUE) =
 1.0825788975
 REACTIVITY (%) =
 7.627571E+00
 REL. ERR. OF KEFF = 2.175703E-06

REL. ERR. OF FLUX PER ENERGY
 GROUP:
 1) 9.91873E-06 2) 9.44665E-06 3)
 9.03635E-06 4) 7.56817E-06

>GRID

1

MAPPING OF MAT. NO. ON GRID

	10	9	8	7	6
5	4	3			
H	0	71	72	73	74
75	76	0			
G	0	77	78	48	79
80	81	0			
F	82	83	84	85	86

87	88	89			
E	90	91	92	50	47
93	52	94			
D	95	46	96	49	51
97	98	99			
C	100	101	102	103	104
105	106	107			
B	0	108	109	110	45
111	112	0			
A	0	113	114	115	116
117	118	0			
1					
POWER PEAKING FACTOR (AVE., MAX., EDGE AND LOCAL)					
AVERAGE POWER DENSITY (W/CC)					
= 8.7569E+01					
	10	9	8	7	6
5	4	3			
H	0.0000	1.0218	0.9645	0.9147	
	0.9293	0.8342	0.9921	0.0000	
	0.0000	1.2941	1.1814	1.1669	
	1.1361	0.9006	1.2418	0.0000	
	0.0000	1.3636	1.3524	1.4504	
	1.3456	0.9976	1.3046	0.0000	
	0.0000	1.3345	1.4022	1.5856	
	1.4480	1.1959	1.3151	0.0000	
G	0.0000	1.0554	0.8979	0.0000	
	0.9805	0.8563	0.8753	0.0000	
	0.0000	1.2361	1.2248	0.0000	
	1.2912	1.0286	1.0033	0.0000	
	0.0000	1.2883	1.2992	0.0000	
	1.3631	1.0416	1.0371	0.0000	
	0.0000	1.2207	1.4469	0.0000	
	1.3902	1.2165	1.1848	0.0000	
F	1.1209	1.1640	1.1862	1.1233	
	0.9448	1.2019	0.9196	1.0555	
	1.4332	1.4231	1.2460	1.4958	
	1.2868	1.2874	1.3113	1.3045	
	1.5795	1.4444	1.4326	1.5712	
	1.3485	1.4764	1.3734	1.4077	
	1.4092	1.2408	1.2077	1.3987	
	1.4274	1.2284	1.4935	1.3337	
E	1.0604	1.0312	1.1885	0.0000	
	0.0000	1.1225	0.0000	1.0412	

1.2561 1.1754 1.6398 0.0000
 0.0000 1.4268 0.0000 1.2949
 1.5666 1.4569 1.7643 0.0000
 0.0000 1.5330 0.0000 1.6967
 1.4774 1.4128 1.4845 0.0000
 0.0000 1.3656 0.0000 1.6295

D 0.9967 0.0000 1.0244 0.0000
 0.0000 1.1721 1.0874 0.8921
 1.2045 0.0000 1.2956 0.0000
 0.0000 1.6085 1.2397 1.0641
 1.5575 0.0000 1.3866 0.0000
 0.0000 1.7333 1.5588 1.3180
 1.5626 0.0000 1.3536 0.0000
 0.0000 1.4788 1.4335 1.4775

C 1.0298 0.9101 1.2330 0.9947
 1.0950 1.1090 1.0935 1.0897
 1.2847 1.3157 1.3280 1.3718
 1.4449 1.1599 1.3344 1.3253
 1.4196 1.3784 1.5508 1.4411
 1.5186 1.3245 1.3515 1.4105
 1.3785 1.5146 1.2577 1.4488
 1.3869 1.1944 1.2359 1.2944

B 0.0000 0.8528 0.8164 0.9176
 0.0000 0.8946 0.9867 0.0000
 0.0000 0.9762 0.9742 1.1849
 0.0000 1.2169 1.1412 0.0000
 0.0000 1.0117 0.9857 1.2541
 0.0000 1.2931 1.1836 0.0000
 0.0000 1.1862 1.2074 1.3668
 0.0000 1.4455 1.1995 0.0000

A 0.0000 0.9527 0.7465 0.9549
 0.9693 0.9466 0.9658 0.0000
 0.0000 1.1797 0.8321 1.1550
 1.2128 1.1352 1.2010 0.0000
 0.0000 1.2528 0.9477 1.3528
 1.4895 1.2781 1.2637 0.0000
 0.0000 1.3149 1.2696 1.4167
 1.5367 1.3501 1.3084 0.0000

MAXIMUM VALUES ACROSS THE GRID
 PPF RAD AVE., GRID POS. 1.2330
 8 -C
 PPF RAD MAX., GRID POS. 1.6398

8 -E
 PPF RAD EDGE, GRID POS. 1.7643
 8 -E
 PPF RAD LOCAL, GRID POS. 1.6295
 3 -E

CORE ACTIVE REGION
 NO. OF FUEL ELEMENTS 48
 SUM OF AVE PPF 48.2134
 SUM OF FE VOL. FRACT. 45.7143

1
 GROUP NEUTRON FLUX (AVERAGE)
 UNIT = 1.0000E+14

	10	9	8	7
6	5	4	3	
H	0.0000	0.3452	0.3791	0.3502
	0.3642	0.3669	0.3256	0.0000
	0.0000	0.4004	0.4110	0.3720
	0.3972	0.4077	0.3810	0.0000
	0.0000	0.3650	0.3697	0.3405
	0.3620	0.3737	0.3497	0.0000
	0.0000	0.4176	0.4154	0.4804
	0.4553	0.4412	0.4052	0.0000

G 0.0000 0.4499 0.4475 0.3580
 0.4194 0.4428 0.4026 0.0000
 0.0000 0.4919 0.4694 0.3924
 0.4399 0.4634 0.4446 0.0000
 0.0000 0.4447 0.4317 0.3933
 0.4080 0.4233 0.4078 0.0000
 0.0000 0.4834 0.5978 1.0454
 0.6248 0.5241 0.4845 0.0000

F 0.4015 0.5078 0.4980 0.4316
 0.4227 0.4678 0.4325 0.3585
 0.4529 0.5284 0.5126 0.4480
 0.4408 0.4813 0.4572 0.4118
 0.4136 0.4730 0.4615 0.4108
 0.4062 0.4335 0.4191 0.3746
 0.4825 0.4983 0.5527 0.6259
 0.6209 0.5239 0.5513 0.4325

E 0.4104 0.4627 0.4563 0.2927
 0.2853 0.4253 0.3610 0.3743
 0.4442 0.4823 0.4705 0.3291
 0.3221 0.4419 0.3982 0.4141
 0.4048 0.4417 0.4265 0.3453

0.3397 0.4060 0.4010 0.3782
 0.4800 0.6112 0.5878 1.2728
 1.2782 0.6369 1.0925 0.4789

D 0.3723 0.3559 0.4128 0.2833
 0.2905 0.4544 0.4586 0.3879
 0.4065 0.3925 0.4312 0.3199
 0.3268 0.4683 0.4776 0.4303
 0.3758 0.3961 0.3996 0.3375
 0.3431 0.4240 0.4363 0.3936
 0.5170 1.0909 0.6636 1.2705
 1.2704 0.5782 0.5898 0.4741

C 0.3497 0.4239 0.4635 0.4230
 0.4243 0.4816 0.4882 0.3842
 0.3951 0.4470 0.4755 0.4395
 0.4409 0.4973 0.5099 0.4416
 0.3623 0.4091 0.4265 0.4028
 0.4047 0.4499 0.4584 0.4013
 0.4465 0.5375 0.5036 0.5963
 0.6230 0.5586 0.4954 0.4455

B 0.0000 0.3891 0.4285 0.4101
 0.3545 0.4375 0.4303 0.0000
 0.0000 0.4284 0.4484 0.4312
 0.3893 0.4590 0.4715 0.0000
 0.0000 0.3919 0.4102 0.4018
 0.3910 0.4227 0.4282 0.0000
 0.0000 0.4666 0.5177 0.6328
 1.0464 0.5881 0.4761 0.0000

A 0.0000 0.3088 0.3479 0.3645
 0.3636 0.3761 0.3308 0.0000
 0.0000 0.3529 0.3812 0.3956
 0.3956 0.4071 0.3786 0.0000
 0.0000 0.3239 0.3530 0.3641
 0.3655 0.3711 0.3479 0.0000
 0.0000 0.3914 0.4535 0.4685
 0.5004 0.4346 0.4157 0.0000
 *END OF CASE

Tabel 2. Data OUTPUT FRAKSI BAKAR T65 *)

KODE ELEMEN	POSISI TERAS	BU(%)	BU (MWD/TH)	U-235 SISA (g)	U-235 Trbakar (g)
RI-392ce	B-7	5,58E+01	9,47E+04	7,88E+01	9,95E+01
RI-388	G-8	5,35E+01	9,05E+04	1,15E+02	1,33E+02
RI-387	F-6	5,28E+01	8,92E+04	1,18E+02	1,32E+02
RI-386	B-5	5,26E+01	8,90E+04	1,18E+02	1,31E+02
RI-385	D-8	5,19E+01	8,76E+04	1,20E+02	1,29E+02
RI-393ce	G-6	5,08E+01	8,57E+04	8,75E+01	9,05E+01
RI-384	B-8	5,06E+01	8,52E+04	1,24E+02	1,27E+02
RI-397	G-5	4,80E+01	8,06E+04	1,30E+02	1,20E+02
RI-396	F-4	4,66E+01	7,82E+04	1,33E+02	1,17E+02
RI-395	A-8	4,65E+01	7,80E+04	1,34E+02	1,16E+02
RI-389	C-7	4,61E+01	7,73E+04	1,34E+02	1,15E+02
RI-394ce	E-9	4,61E+01	7,73E+04	9,61E+01	8,22E+01
RI-390	C-9	4,49E+01	7,52E+04	1,37E+02	1,12E+02
RI-403	C-6	4,31E+01	7,19E+04	1,43E+02	1,08E+02
RI-400	E-5	4,27E+01	7,12E+04	1,43E+02	1,07E+02
RI-401	F-7	4,14E+01	6,89E+04	1,47E+02	1,04E+02
RI-398	G-4	4,01E+01	6,68E+04	1,50E+02	1,00E+02
RI-402ce	D-4	3,96E+01	6,58E+04	1,09E+02	7,11E+01
RI-399	B-9	3,91E+01	6,50E+04	1,52E+02	9,80E+01
RI-408	D-3	3,64E+01	6,02E+04	1,59E+02	9,07E+01
RI-406	H-5	3,56E+01	5,89E+04	1,60E+02	8,88E+01
RI-404	D-10	3,46E+01	5,72E+04	1,64E+02	8,71E+01
RI-407	H-7	3,45E+01	5,71E+04	1,63E+02	8,61E+01
RI-405	A-6	3,38E+01	5,59E+04	1,66E+02	8,49E+01
RI-415ce	C-5	3,25E+01	5,36E+04	1,20E+02	5,80E+01
RI-413	E-8	3,03E+01	4,98E+04	1,73E+02	7,54E+01
RI-411	D-5	2,99E+01	4,92E+04	1,74E+02	7,44E+01
RI-412	A-7	2,82E+01	4,62E+04	1,79E+02	7,00E+01

RI-409	H-6	2,79E+01	4,57E+04	1,79E+02	6,93E+01
RI-410	B-4	2,74E+01	4,50E+04	1,80E+02	6,81E+01
RI-416ce	F-8	2,50E+01	4,08E+04	1,34E+02	4,46E+01
RI-420	G-9	2,23E+01	3,63E+04	1,93E+02	5,54E+01
RI-418	C-4	2,19E+01	3,57E+04	1,95E+02	5,47E+01
RI-419	E-3	2,17E+01	3,54E+04	1,95E+02	5,41E+01
RI-414	A-5	2,16E+01	3,52E+04	1,96E+02	5,39E+01
RI-417	E-10	2,06E+01	3,35E+04	1,98E+02	5,15E+01
RI-425ce	F-5	1,68E+01	2,73E+04	1,48E+02	3,01E+01
RI-421	F-9	1,51E+01	2,45E+04	2,11E+02	3,77E+01
RI-427	F-10	1,50E+01	2,42E+04	2,13E+02	3,74E+01
RI-424	C-10	1,46E+01	2,36E+04	2,13E+02	3,64E+01
RI-423	H-8	1,43E+01	2,31E+04	2,14E+02	3,58E+01
RI-422	A-4	1,33E+01	2,15E+04	2,16E+02	3,32E+01
RI-426ce	C-8	8,79E+00	1,41E+04	1,63E+02	1,58E+01
RI-430	C-3	7,82E+00	1,26E+04	2,29E+02	1,95E+01
RI-431	F-3	7,57E+00	1,22E+04	2,30E+02	1,89E+01
RI-432	H-9	7,32E+00	1,17E+04	2,31E+02	1,83E+01
RI-428	H-4	7,09E+00	1,14E+04	2,33E+02	1,78E+01
				7,83E+03	3,57E+03

*) Urutan data berdasar nilai fraksi bakar dari besar ke kecil

PEMBAHASAN

Salah satu *output* Batan-2Diff yang akan digunakan untuk verifikasi kegiatan operasi teras RSG-GAS adalah tingkatan fraksi bakar yang sebelumnya dilakukan secara perhitungan manual.

Untuk menjalankan program Batan-2Diff diperlukan perangkat program pendukung yang didesain dan dibuat untuk menghitung dan menyelesaikan persamaan difusi neutron. Program pendukung yang telah disediakan untuk menjalankan Batan-2Diff, diantaranya: *RESHUFFLE .application*, *STEP .application*, *CRROD .application*, dan *BURN-UP .application*. Contoh dari tampilan eksekusi Batan-2Diff ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan eksekusi data fraksi bakar

Output lain dari Batan-2Diff adalah kekritisan, *power peaking factor (PPF)*, *flux* neutron merata tiap grup elemen bakar, dan reaktivitas.

Data yang dihasilkan Batan-2diff pada perhitungan validasi teras operasi ke-LXV (T65) tersebut, diantaranya, adalah:

- K_{eff} : 1,0826
- Reactivity % : 7,6276
- PPF rad ave : 1,2330 (posisi C-8)
- Flux n grup : 0,4265E+14 - 0,5036E+14

Perbandingan fraksi bakar hasil perhitungan Batan-2Diff dan manual, ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan fraksi bakar hasil progam Batan-2Diff dan perhitungan manual³⁾ T65

(urutan berdasar kode elemen)

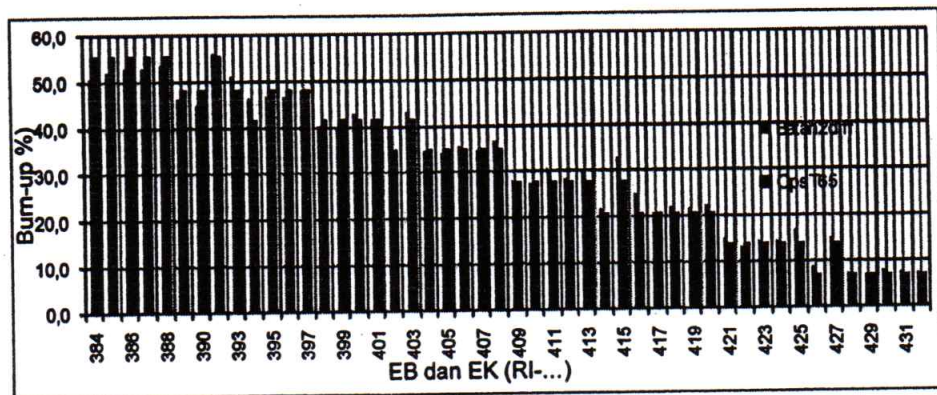
KODE	BU (%) Batan2dif	BU (%) Ops T65	Perbandinga n selisih (%)
RI-384	50,6	55,3	-9,32
RI-385	51,9	55,3	-6,60
RI-386	52,6	55,3	-5,04
RI-387	52,8	55,3	-4,78
RI-388	53,5	55,3	-3,38

RI-389	46,1	47,97	-3,95
RI-390	44,9	47,97	-6,76
RI-392ce	55,8	55,3	0,90
RI-393ce	50,8	47,97	5,63
RI-394ce	46,1	41,61	9,78
RI-395	46,5	47,97	-3,10
RI-396	46,6	47,97	-2,87
RI-397	48,0	47,97	0,02
RI-398	40,1	41,61	-3,65
RI-399	39,1	41,61	-6,33
RI-400	42,7	41,61	2,54
RI-401	41,4	41,61	-0,60
RI-402ce	39,6	35,02	11,52
RI-403	43,1	41,61	3,42
RI-404	34,6	35,02	-1,17
RI-405	33,8	35,02	-3,52
RI-406	35,6	35,02	1,64
RI-407	34,5	35,02	-1,44
RI-408	36,4	35,02	3,68
RI-409	27,9	27,79	0,29
RI-410	27,4	27,79	-1,37
RI-411	29,9	27,79	7,07
RI-412	28,2	27,79	1,29
RI-413	30,3	27,79	8,29
RI-414	21,6	20,81	3,57
RI-415ce	32,5	27,79	14,54
RI-416ce	25,0	20,81	16,65
RI-417	20,6	20,81	-0,99
RI-418	21,9	20,81	4,86
RI-419	21,7	20,81	4,11
RI-420	22,3	20,81	6,56
RI-421	15,1	13,83	8,46
RI-422	13,3	13,83	-3,98
RI-423	14,3	13,83	3,33
RI-424	14,6	13,83	5,12
RI-425ce	16,8	13,83	17,83
RI-426ce	8,8	7,05	19,83
RI-427	15,0	13,83	7,50
RI-428	7,1	7,05	0,55
RI-429	6,8	7,05	-3,11
RI-430	7,8	7,05	9,86
RI-431	7,6	7,05	6,90
RI-432	7,3	7,05	3,64
Rerata	31,5	31,2	2,4

Fraksi bakar rerata teras silisida pada saat akhir siklus sebesar 31,5%. Sedangkan fraksi bakar buang (*spent fuel*) terbesar pada CE RI-392 yaitu 55,8% dan rerata fraksi bakar dari 5 EB buang yaitu 52,3%. Fraksi buang tertinggi dari keenam elemen bakar yang akan diangkat dari teras ini masih dibawah 56% seperti yang dipersyaratkan dalam LAK RSG-GAS. Semua elemen bakar buang yang keluar di akhir siklus telah dioperasikan selama 8 (delapan) siklus. Sedangkan fraksi bakar rerata awal siklus dapat dilihat pada *file: EOC-T65.out* pada bagian *beginning of cycle* (BOC), yaitu bila dirata-ratakan adalah 24,64%, lihat lampiran 2.

Dengan demikian pada saat BOC ada 5 elemen bakar standar (EB) dan 1 elemen kendali (EK) yang dimasukkan ke dalam teras silisida. Demikian juga pada saat EOC terdapat 5 EB dan 1 EK yang dikeluarkan dari teras sebagai elemen bakar bekas (*spent fuel*). Keadaan ini dapat terlihat dari Tabel 2, data *output fraksi bakar T65*. Dari data tersebut (berdasar urutan besar *fraksi bakar*) teramati bahwa 5 elemen teratas dan selalu dengan urutan ke-7 yang harus keluar, urutan berikutnya naik ke posisi di atas, dan seterusnya secara teratur. Posisi EB atau EK yang harus keluar selalu berasal dari G8, F6, D8, B8, B7, dan B5. Sedangkan EB atau EK yang segar akan masuk ke posisi H9, H4, F3, C8, C3, dan A9.

Masih dari Tabel 2, jumlah U-235 tersisa sebanyak $7,83E+03$ gram dan yang terbakar sebanyak $3,57E+03$ gram sehingga jumlah U-235 awal siklus adalah jumlah keduanya yaitu 11.407,04 gram.



Gambar 5. Grafik kondisi fraksi bakar dari 8 kelas akhir siklus (EOC) T-65

Dari Gambar 5, dapat diamati bahwa hasil perhitungan manual yang dilaporkan tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan Batan-2Diff. Hasil perhitungan manual terlihat selalu mengambil rerata dari setiap kelas EB sedangkan hasil perhitungan program terlihat lebih fluktuatif. Jika No. urut EB yang ke 7 ditukar dengan No. 6 maka rata-rata dari tiap siklus akan lebih jelas teramati.

Rangkuman hasil perhitungan ditampilkan dalam Tabel 4, sehingga dengan mudah akan teramati perbandingan beberapa parameter yang dilaporkan dari

operasi teras 65 dengan parameter yang sama sebagai hasil Batan-2diff.

Dari data tersebut, dapat dinyatakan bahwa fraksi bakar operasi teras 65 yang dihitung secara manual dari awal hingga akhir siklus sesuai dengan hasil perhitungan program komputer Batan-2Diff. Secara neutronik perhitungan secara manual tetap memenuhi persyaratan keselamatan.

Setelah evaluasi ini maka PRSG khususnya bidang keselamatan dapat melakukan verifikasi terhadap kegiatan suatu operasi dari segi fraksi bakar atau neutronik.

Tabel 4. Perbandingan parameter fraksi bakar hasil Batan-2Diff terhadap hasil operasi T65 dan SAR Rev.10

Parameter	HASIL Batan-2Diff	Hasil Operasi T65	LAK REV. 10
Jml bahan bakar awal siklus	11.407,04 g (Burn-up.dat)	11.407,03 g	-
Jml bahan bakar akhir siklus	7.832,5 g (Burn-up.dat)	7.851,76 g	-
Fraksi bakar rerata awal siklus	24,64% (EOC-T65.out)	24,12%	24%
Fraksi bakar rerata akhir siklus	31,5% (Burn-up.dat)	31,17%	31%
Fraksi bakar maks <i>spent fuel</i>	55,8% (Burn-up.dat)	55,3%	≤56%
Reaktivitas lebih awal siklus	7,6276% (Krit-T-65.dat)	7,5509%	≤9,7
Reaktivitas pada kondisi stuck rod	3,737% (Stuck-T65.dat)	3,6624%	≥2,2

KESIMPULAN

Batan-2Diff dapat digunakan untuk menggantikan Batan-Fuel dalam perhitungan neutronik RSG-GAS. Fraksi bakar elemen bakar buang hasil perhitungan manual pada operasi teras 65 adalah rerata 55,3% sedangkan menurut hasil perhitungan Batan-2Diff fraksi bakar buang tertinggi pada CER-392, yaitu 55,8%. Dengan demikian nilai fraksi bakar hasil perhitungan manual pada operasi teras ke-65 telah tervalidasi sesuai dengan hasil perhitungan Batan-2Diff dan dalam batas keselamatan sesuai LAK-RSG-GAS yang dipersyaratkan Bapeten. Hasil ini juga menunjukkan bahwa Batan-2Diff dapat diterapkan untuk verifikasi parameter keselamatan desain neutronik oleh tim keselamatan reaktor.

PUSTAKA

1. ANONIMOUS, LAK RSG-GAS Rev. 10 PRSG, 2008.
2. T.M.SEMBIRING, Program Komputer (code) Batan-2Diff untuk Analisis Nutronik pada Reaktor Riset Berelemen Bakar tipe pelat, Coaching Keselamatan Operasi RSG-GAS, PRSG, April, 2009.
3. ANONIMOUS, Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS Teras LXV, PRSG, 2008.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Tagor Malam Sembiring, Ir., Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - Batan, yang telah mengajarkan code Batan-2Diff dan membantu mengevaluasi isi makalah kajian fraksi bakar teras 65 ini.
2. Lily Suparlina, Dra., PTRKN-Batan, yang telah membimbing penyelesaian perhitungan neutronik teras reaktor menggunakan code Batan-2Diff.

01	67	71	36	45	81	62	67	36	45	G3/G4	2
80	57	62	36	45	79	52	57	36	45	G5/G6	3
48	46	52	36	45	78	41	46	36	45	G7/G8	4
77	35	41	36	45	01	31	35	36	45	G9/G0	5
03	75	79	31	36	01	71	75	31	36	H1/H2	6
01	67	71	31	36	76	62	67	31	36	H3/H4	7
75	57	62	31	36	74	52	57	31	36	H5/H6	8
73	46	52	31	36	72	41	46	31	36	H7/H8	9
71	35	41	31	36	01	31	35	31	36	H9/H0	06
01	75	79	26	31	03	71	75	26	31	I1/I2	1
01	67	71	26	31	01	62	67	26	31	I3/I4	2
01	57	62	26	31	01	52	57	26	31	I5/I6	3
01	41	46	26	31	03	35	41	26	31	I8/I9	4
01	31	35	26	31	01	75	79	21	26	I0/K1	5
01	71	75	21	26	03	67	71	21	26	K2/K3	6
01	62	67	21	26	01	57	62	21	26	K4/K5	7
01	52	57	21	26	01	41	46	21	26	K6/K8	8
01	35	41	21	26	03	31	35	21	26	K9/K0	9
40	46	52	81	84	40	46	52	87	90	F-B7	07
40	57	62	72	75	40	57	62	78	81	F-C5	1
40	41	46	72	75	40	41	46	78	81	F-C8	2
40	62	67	63	66	40	62	67	69	72	F-D4	3
40	35	41	54	57	40	35	41	60	63	F-E9	4
40	57	62	45	48	40	57	62	51	54	F-F5	5
40	41	46	45	48	40	41	46	51	54	F-F8	6
40	52	57	36	39	40	52	57	42	45	F-G6	7
40	47	51	82	83	40	47	51	88	89	A-B7	8
40	58	61	73	74	40	58	61	79	80	A-C5	9
40	42	45	73	74	40	42	45	79	80	A-C8	08
40	63	66	64	65	40	63	66	70	71	A-D4	1
40	36	40	55	56	40	36	40	61	62	A-E9	2
40	58	61	46	47	40	58	61	52	53	A-F5	3
40	42	45	46	47	40	42	45	52	53	A-F8	4
40	53	56	37	38	40	53	56	43	44	A-G6	5
*CROSS SECTION											
0											
REFL2DB.DAT											
*FUEL ELEMENT											
48 'LIBSI2545.IAP'											
'RI-432'	1	0.00000E+00	2.49730E+02	1.00000E+00	71 /	0.00000E+00	§				
'RI-423'	1	1.20657E+04	2.50160E+02	1.00000E+00	72 /	7.51430E+00	§				
'RI-407'	1	4.65208E+04	2.49280E+02	1.00000E+00	73 /	2.83430E+01	§				
'RI-409'	1	3.49794E+04	2.48350E+02	1.00000E+00	74 /	2.14690E+01	§				
'RI-406'	1	4.93053E+04	2.49270E+02	1.00000E+00	75 /	2.99860E+01	§				
'RI-428'	1	0.00000E+00	2.50280E+02	1.00000E+00	76 /	0.00000E+00	§				
'RI-420'	1	2.41255E+04	2.48510E+02	1.00000E+00	77 /	1.49100E+01	§				
'RI-388'	1	8.00949E+04	2.48160E+02	1.00000E+00	78 /	4.77100E+01	§				
'RI-393'	1	7.43955E+04	2.49310E+02	1.00000E+00	79 /	4.44910E+01	§				
'RI-397'	1	7.07336E+04	2.49600E+02	1.00000E+00	80 /	4.24080E+01	§				
'RI-398'	1	5.67218E+04	2.49860E+02	1.00000E+00	81 /	3.43300E+01	§				
'RI-427'	1	1.13307E+04	2.50190E+02	1.00000E+00	82 /	7.05970E+00	§				
'RI-421'	1	1.10335E+04	2.49050E+02	1.00000E+00	83 /	6.87550E+00	§				
'RI-416'	1	2.72009E+04	2.49872E+02	1.00000E+00	84 /	1.67780E+01	§				
'RI-401'	1	5.60280E+04	2.50480E+02	1.00000E+00	85 /	3.39250E+01	§				
'RI-387'	1	7.83055E+04	2.49140E+02	1.00000E+00	86 /	4.67020E+01	§				
'RI-425'	1	1.34808E+04	2.49872E+02	1.00000E+00	87 /	8.38820E+00	§				
'RI-396'	1	6.76297E+04	2.50080E+02	1.00000E+00	88 /	4.06330E+01	§				
'RI-431'	1	0.00000E+00	2.49150E+02	1.00000E+00	89 /	0.00000E+00	§				
'RI-417'	1	2.13510E+04	2.49660E+02	1.00000E+00	90 /	1.32190E+01	§				
'RI-394'	1	6.54133E+04	2.49610E+02	1.00000E+00	91 /	3.93610E+01	§				
'RI-413'	1	3.61304E+04	2.48880E+02	1.00000E+00	92 /	2.21590E+01	§				
'RI-400'	1	5.83515E+04	2.50080E+02	1.00000E+00	93 /	3.52780E+01	§				
'RI-419'	1	2.33712E+04	2.49170E+02	1.00000E+00	94 /	1.44510E+01	§				
'RI-404'	1	4.58326E+04	2.51440E+02	1.00000E+00	95 /	2.79370E+01	§				
'RI-385'	1	7.57383E+04	2.48630E+02	1.00000E+00	96 /	4.52520E+01	§				
'RI-411'	1	3.56297E+04	2.48620E+02	1.00000E+00	97 /	2.18590E+01	§				
'RI-402'	1	5.33861E+04	2.51570E+02	1.00000E+00	98 /	3.23820E+01	§				
'RI-408'	1	4.99398E+04	2.49340E+02	1.00000E+00	99 /	3.03590E+01	§				
'RI-424'	1	1.17335E+04	2.49590E+02	1.00000E+00	100 /	7.30870E+00	§				
'RI-390'	1	6.46483E+04	2.48270E+02	1.00000E+00	101 /	3.89210E+01	§				
'RI-426'	1	0.00000E+00	2.50348E+02	1.00000E+00	102 /	0.00000E+00	§				
'RI-389'	1	6.58131E+04	2.48130E+02	1.00000E+00	103 /	3.95910E+01	§				
'RI-403'	1	5.93984E+04	2.51010E+02	1.00000E+00	104 /	3.58860E+01	§				
'RI-415'	1	4.08635E+04	2.49550E+02	1.00000E+00	105 /	2.49870E+01	§				
'RI-418'	1	2.30969E+04	2.50030E+02	1.00000E+00	106 /	1.42840E+01	§				
'RI-430'	1	0.00000E+00	2.48970E+02	1.00000E+00	107 /	0.00000E+00	§				
'RI-399'	1	5.52439E+04	2.50460E+02	1.00000E+00	108 /	3.34680E+01	§				
'RI-384'	1	7.59114E+04	2.51040E+02	1.00000E+00	109 /	4.53480E+01	§				
'RI-392'	1	8.41437E+04	2.49510E+02	1.00000E+00	110 /	4.99740E+01	§				
'RI-386'	1	7.86164E+04	2.48440E+02	1.00000E+00	111 /	4.68780E+01	§				
'RI-410'	1	3.35404E+04	2.48190E+02	1.00000E+00	112 /	2.06040E+01	§				
'RI-429'	1	0.00000E+00	2.49250E+02	1.00000E+00	113 /	0.00000E+00	§				

```

'RI-395' 1 6.94185E+04 2.49710E+02 1.00000E+00 114 / 4.16570E+01 §
'RI-412' 1 3.51765E+04 2.48690E+02 1.00000E+00 115 / 2.15870E+01 §
'RI-405' 1 4.47747E+04 2.50900E+02 1.00000E+00 116 / 2.73100E+01 §
'RI-414' 1 2.42770E+04 2.49590E+02 1.00000E+00 117 / 1.50020E+01 §
'RI-422' 1 1.03676E+04 2.49340E+02 1.00000E+00 118 / 6.46330E+00 §
*DERIVATIVE CONSTANT
1
38 38 6.0078E-4 3.8520E-3 1.0822E-1 0.42295
*BUCKLING
3
1 118 2.1000E-3 2.1000E-3 2.1000E-3 2.1000E-3
61 61 1.2700E-3 9.7000E-4 2.9000E-4 6.9000E-5
63 69 0. 0. 0. 0.
*CRITERIA
500 1.E-5 1.E-5 10 1.7
*GRID
8 8
'10' '9' '8' '7' '6' '5' '4' '3'
'H' 0 71 72 73 74 75 76 0
'G' 0 77 78 48 79 80 81 0
'F' 82 83 84 85 86 87 88 89
'E' 90 91 92 50 47 93 52 94
'D' 95 46 96 49 51 97 98 99
'C' 100 101 102 103 104 105 106 107
'B' 0 108 109 110 45 111 112 0
'A' 0 113 114 115 116 117 118 0
§
§-COMMAND
§
>CLOCK
!PREPARATION
>HEADER
>GENERAL
>X-COORDINATE
>Y-COORDINATE
>VOLUME
>MATERIAL ZONE
>CROSS SECTION
>CRITERIA
!CRITICALITY
>CRITICALITY
!GRID
>GRID
>CLOCK
*END OF CASE
*START OF CASE
!SCREEN ON
*HEADER
5
*****
!* PERHITUNGAN AKHIR SIKLUS (EOC) *!
!* KONFIGURASI TERAS 65 *!
!* ENERGY=664.4554 *!
*****
*GENERAL
1 0 0 0 0 4 15.E+6
*CITATION-ZONE
60 83
4 19.9998 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333
1 1.0000 1 1.3000 4 10.0000 4 10.0000 2 5.0000 2 5.0000 1 2.5000 1 2.5000 1 2.5000 1 2.5000 1 2.5000 1 2.5000 1 2.5000
1 1.9275 1 0.6050 2 3.2500 2 3.2500 1 0.6050 1 0.6050 3 6.5000 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050
1 1.9275 1 1.9275 1 1.3225 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 3 6.5000 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050 1 0.6050
1 0.6050 3 6.5000 1 0.6050 4 7.7100 4 7.7100 4 7.7100 1 1.3500 3 6.6935 1 1.3000 1 2.5718
1 2.5718 2 5.1436 1 2.5718 2 5.1436 1 2.5718 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 2 6.6666 4 23.3331
5 26.6664 1 3.3333 2 6.6666 1 2.7900 1 2.7900 2 5.5800 1 2.7900 1 2.7900 1 2.7900 1 1.3000
3 6.8001 1 1.3500 5 8.1000 4 6.9429 1 1.1571 5 8.1000 1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096 3 5.7856 1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096
1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096
1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096 3 5.7856 1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096
3 5.7856 1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096 1 0.4096
1 0.3380 1 0.4096 1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096 2 3.8570 1 1.9286 1 0.4096 1 0.3380 1 0.4096
2 3.0857 3 5.0143 1 1.3500 1 2.5000 1 2.5000 2 5.0000 2 5.0000 3 7.5000 1 2.5000 1 2.5000 1 2.5000
1 2.5000 2 5.0000 1 1.3000 1 1.0000 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333 1 3.3333
2 6.6666 1 3.3333 5 26.6664
*MATERIAL ZONE
95
23 01 101 01 126 22 09 89 11 117 W.OUT 1
21 12 85 15 114 20 15 31 16 111 W.MID 2
20 15 84 95 111 16 16 20 17 110 W.LINE 3
16 20 83 106 110 15 20 24 17 106 R.SHR 4
15 24 83 102 106 14 24 26 17 102 BE-BL 5
14 26 83 100 102 13 26 28 17 100 BE-BL 6
13 28 83 98 100 12 28 29 17 98 BE-BL 7
12 29 83 97 98 11 29 30 17 97 BE-BL 8
11 30 83 96 97 10 30 80 20 96 C.SHR 9

```

21	31	79	21	95	41	46	52	30	31	W.INC 01
61	08	14	77	97	62	05	11	78	96	J2811 1
63	06	08	86	92	62	07	12	108	114	J2/J3 2
66	08	10	111	113	61	29	49	112	118	J3/J2 3
62	31	42	115	121	64	34	38	118	120	J2821 4
62	89	94	112	117	67	91	93	114	116	J3831 5
62	92	97	102	108	69	93	95	105	107	J4001 6
62	96	92	09	14	68	88	91	10	12	J3841 7
62	10	15	06	11	65	11	13	07	09	J3811 8
42	46	48	20	30	42	50	52	20	30	PRTF 9
27	48	49	20	30	27	49	50	20	30	PRTF 02
01	75	79	90	95	03	71	75	90	95	A1/A2 1
01	67	71	90	95	118	62	67	90	95	A3/A4 2
117	57	62	90	95	116	52	57	90	95	A5/A6 3
115	46	52	90	95	114	41	46	90	95	A7/A8 4
113	35	41	90	95	01	31	35	90	95	A9/A0 5
56	75	79	81	90	01	71	75	81	90	B1/B2 6
01	67	71	81	90	112	62	67	81	90	B3/B4 7
111	57	62	81	90	45	52	57	81	90	B5/B6 8
110	46	52	81	90	109	41	46	81	90	B7/B8 9
108	35	41	81	90	01	31	35	81	90	B9/B0 03
57	75	79	72	81	01	71	75	72	81	C1/C2 1
107	67	71	72	81	106	62	67	72	81	C3/C4 2
105	57	62	72	81	104	52	57	72	81	C5/C6 3
103	46	52	72	81	102	41	46	72	81	C7/C8 4
101	35	41	72	81	100	31	35	72	81	C9/C0 5
58	75	79	63	72	01	71	75	63	72	D1/D2 6
99	67	71	63	72	98	62	67	63	72	D3/D4 7
97	57	62	63	72	51	52	57	63	72	D5/D6 8
49	46	52	63	72	96	41	46	63	72	D7/D8 9
46	35	41	63	72	95	31	35	63	72	D9/D0 04
59	75	79	54	63	01	71	75	54	63	E1/E2 1
94	67	71	54	63	52	62	67	54	63	E3/E4 2
93	57	62	54	63	47	52	57	54	63	E5/E6 3
50	46	52	54	63	92	41	46	54	63	E7/E8 4
91	35	41	54	63	90	31	35	54	63	E9/E0 5
60	75	79	45	54	01	71	75	45	54	F1/F2 6
89	67	71	45	54	88	62	67	45	54	F3/F4 7
87	57	62	45	54	86	52	57	45	54	F5/F6 8
85	46	52	45	54	84	41	46	45	54	F7/F8 9
83	35	41	45	54	82	31	35	45	54	F9/F0 05
01	75	79	36	45	03	71	75	36	45	G1/G2 1
01	67	71	36	45	81	62	67	36	45	G3/G4 2
80	57	62	36	45	79	52	57	36	45	G5/G6 3
48	46	52	36	45	78	41	46	36	45	G7/G8 4
77	35	41	36	45	01	31	35	36	45	G9/G0 5
03	75	79	31	36	01	71	75	31	36	H1/H2 6
01	67	71	31	36	76	62	67	31	36	H3/H4 7
75	57	62	31	36	74	52	57	31	36	H5/H6 8
73	46	52	31	36	72	41	46	31	36	H7/H8 9
71	35	41	31	36	01	31	35	31	36	H9/H0 06
01	75	79	26	31	03	71	75	26	31	I1/I2 1
01	67	71	26	31	01	62	67	26	31	I3/I4 2
01	57	62	26	31	01	52	57	26	31	I5/I6 3
01	41	46	26	31	03	35	41	26	31	I8/I9 4
01	31	35	26	31	01	75	79	21	26	I0/K1 5
01	71	75	21	26	03	67	71	21	26	K2/K3 6
01	62	67	21	26	01	57	62	21	26	K4/K5 7
01	52	57	21	26	01	41	46	21	26	K6/K8 8
01	35	41	21	26	03	31	35	21	26	K9/K0 9
40	46	52	81	84	40	46	52	87	90	F-B7 07
40	57	62	72	75	40	57	62	78	81	F-C5 1
40	41	46	72	75	40	41	46	78	81	F-C8 2
40	62	67	63	66	40	62	67	69	72	F-D4 3
40	35	41	54	57	40	35	41	60	63	F-E9 4
40	57	62	45	48	40	57	62	51	54	F-F5 5
40	41	46	45	48	40	41	46	51	54	F-F8 6
40	52	57	36	39	40	52	57	42	45	F-G6 7
40	47	51	82	83	40	47	51	88	89	A-B7 8
40	58	61	73	74	40	58	61	79	80	A-C5 9
40	42	45	73	74	40	42	45	79	80	A-C8 08
40	63	66	64	65	40	63	66	70	71	A-D4 1
40	36	40	55	56	40	36	40	61	62	A-E9 2
40	58	61	46	47	40	58	61	52	53	A-F5 3
40	42	45	46	47	40	42	45	52	53	A-F8 4
40	53	56	37	38	40	53	56	43	44	A-G6 5

*CROSS SECTION
0
REFL2DB.DAT
*fUEL ELEMENT
48 'LIBSI2545.IAF'
'RI-432' 1 0.00000E+00 2.49730E+02 1.00000E+00 71 / 0.00000E+00 8


```

'RI-423' 1 1.20657E+04 2.50160E+02 1.00000E+00 72 / 7.51430E+00 %
'RI-407' 1 4.65208E+04 2.49280E+02 1.00000E+00 73 / 2.83430E+01 %
'RI-409' 1 3.49794E+04 2.48350E+02 1.00000E+00 74 / 2.14690E+01 %
'RI-406' 1 4.93053E+04 2.49270E+02 1.00000E+00 75 / 2.99860E+01 %
'RI-428' 1 0.00000E+00 2.50280E+02 1.00000E+00 76 / 0.00000E+00 %
'RI-420' 1 2.41255E+04 2.48510E+02 1.00000E+00 77 / 1.49100E+01 %
'RI-388' 1 8.00949E+04 2.48160E+02 1.00000E+00 78 / 4.77100E+01 %
'RI-393' 1 7.43955E+04 2.49310E+02 7.14290E-01 79 / 4.44910E+01 %
'RI-397' 1 7.07336E+04 2.49600E+02 1.00000E+00 80 / 4.24080E+01 %
'RI-398' 1 5.67218E+04 2.49860E+02 1.00000E+00 81 / 3.43300E+01 %
'RI-427' 1 1.13307E+04 2.50190E+02 1.00000E+00 82 / 7.05970E+00 %
'RI-421' 1 1.10335E+04 2.49050E+02 1.00000E+00 83 / 6.87550E+00 %
'RI-416' 1 2.72009E+04 2.49872E+02 7.14290E-01 84 / 1.67780E+01 %
'RI-401' 1 5.60280E+04 2.50480E+02 1.00000E+00 85 / 3.39250E+01 %
'RI-387' 1 7.83055E+04 2.49140E+02 1.00000E+00 86 / 4.67020E+01 %
'RI-425' 1 1.34808E+04 2.49872E+02 7.14290E-01 87 / 8.38820E+00 %
'RI-396' 1 6.76297E+04 2.50080E+02 1.00000E+00 88 / 4.06330E+01 %
'RI-431' 1 0.00000E+00 2.49150E+02 1.00000E+00 89 / 0.00000E+00 %
'RI-417' 1 2.13510E+04 2.49660E+02 1.00000E+00 90 / 1.32190E+01 %
'RI-394' 1 6.54133E+04 2.49610E+02 7.14290E-01 91 / 3.93610E+01 %
'RI-413' 1 3.61304E+04 2.48880E+02 1.00000E+00 92 / 2.21590E+01 %
'RI-400' 1 5.83515E+04 2.50080E+02 1.00000E+00 93 / 3.52780E+01 %
'RI-419' 1 2.33712E+04 2.49170E+02 1.00000E+00 94 / 1.44510E+01 %
'RI-404' 1 4.58326E+04 2.51440E+02 1.00000E+00 95 / 2.79370E+01 %
'RI-385' 1 7.57383E+04 2.48630E+02 1.00000E+00 96 / 4.52520E+01 %
'RI-411' 1 3.56297E+04 2.48620E+02 1.00000E+00 97 / 2.18590E+01 %
'RI-402' 1 5.33861E+04 2.51570E+02 7.14290E-01 98 / 3.23820E+01 %
'RI-408' 1 4.99398E+04 2.49340E+02 1.00000E+00 99 / 3.03590E+01 %
'RI-424' 1 1.17335E+04 2.49590E+02 1.00000E+00 100 / 7.30870E+00 %
'RI-390' 1 6.46483E+04 2.48270E+02 1.00000E+00 101 / 3.89210E+01 %
'RI-426' 1 0.00000E+00 2.50348E+02 7.14290E-01 102 / 0.00000E+00 %
'RI-389' 1 6.58131E+04 2.48130E+02 1.00000E+00 103 / 3.95910E+01 %
'RI-403' 1 5.93984E+04 2.51010E+02 1.00000E+00 104 / 3.58860E+01 %
'RI-415' 1 4.08635E+04 2.49550E+02 7.14290E-01 105 / 2.49870E+01 %
'RI-418' 1 2.30969E+04 2.50030E+02 1.00000E+00 106 / 1.42840E+01 %
'RI-430' 1 0.00000E+00 2.48970E+02 1.00000E+00 107 / 0.00000E+00 %
'RI-399' 1 5.52439E+04 2.50460E+02 1.00000E+00 108 / 3.34680E+01 %
'RI-384' 1 7.59114E+04 2.51040E+02 1.00000E+00 109 / 4.53480E+01 %
'RI-392' 1 8.41437E+04 2.49510E+02 7.14290E-01 110 / 4.99740E+01 %
'RI-386' 1 7.86164E+04 2.48440E+02 1.00000E+00 111 / 4.68780E+01 %
'RI-410' 1 3.35404E+04 2.48190E+02 1.00000E+00 112 / 2.06040E+01 %
'RI-429' 1 0.00000E+00 2.49250E+02 1.00000E+00 113 / 0.00000E+00 %
'RI-395' 1 6.94185E+04 2.49710E+02 1.00000E+00 114 / 4.16570E+01 %
'RI-412' 1 3.51765E+04 2.48690E+02 1.00000E+00 115 / 2.15870E+01 %
'RI-405' 1 4.47747E+04 2.50900E+02 1.00000E+00 116 / 2.73100E+01 %
'RI-414' 1 2.42770E+04 2.49590E+02 1.00000E+00 117 / 1.50020E+01 %
'RI-422' 1 1.03676E+04 2.49340E+02 1.00000E+00 118 / 6.46330E+00 %

*DERIVATIVE CONSTANT
1
38 38 6.0078E-4 3.8520E-3 1.0822E-1 0.42295

*BUCKLING
3
1 118 2.1000E-3 2.1000E-3 2.1000E-3 2.1000E-3
61 61 1.2700E-3 9.7000E-4 2.9000E-4 6.9000E-5
63 69 0. 0. 0. 0.

*CRITERIA
500 1.E-5 1.E-5 10 1.7

*GRID
8 8
'10' '9' '8' '7' '6' '5' '4' '3'
'H' 0 71 72 73 74 75 76 0
'G' 0 77 78 48 79 80 81 0
'F' 82 83 84 85 86 87 88 89
'E' 90 91 92 50 47 93 52 94
'D' 95 46 96 49 51 97 98 99
'C' 100 101 102 103 104 105 106 107
'B' 0 108 109 110 45 111 112 0
'A' 0 113 114 115 116 117 118 0

*BURNUP
3827263.104 1 0 0

$
$-COMMAND
$
>CLOCK
!PREPARATION
>HEADER
>GENERAL
>X-COORDINATE
>Y-COORDINATE
>VOLUME
>MATERIAL ZONE
>CROSS SECTION

```

>CRITERIA
|CRITICALITY
>CRITICALITY
|GRID
>GRID
|BURNUP
>BURNUP
>GRID-DENSITY
>CLOCK
*END OF CASE