

ANALISIS DISTRIBUSI FRAKSI BAKAR TERAS PLTN PWR 1000MWe BERBAHAN BAKAR UO_2 3,4wt%

Jati Susilo¹, Tukiran Surbakti², Iman Kuntoro³

1,2). Pusat Teknologi Reaktor Dan Keselamatan Nuklir (PTRKN)

3).Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir

ABSTRAK

ANALISIS DISTRIBUSI FRAKSI BAKAR TERAS PLTN PWR 1000 MWe BERBAHAN BAKAR UO_2 3,4 wt%. Dalam rangka mendukung program penggunaan energi nuklir sebagai salah satu sumber listrik, maka dilakukan penelitian awal tentang karakteristik neutronik teras reaktor PLTN. Salah satu parameter neutronik yang berhubungan dengan keselamatan teras adalah besarnya fraksi bakar buang (discharge burn-up) maksimum perangkat bahan bakar yang dihasilkan oleh teras reaktor. Dalam penelitian ini, untuk mengetahui besarnya fraksi bakar buang tiap-tiap perangkat bahan bakar, maka dilakukan perhitungan distribusi fraksi bakar teras PLTN jenis PWR berbahan bakar UO_2 pengkayaan 3,4 wt% dengan kelongsong Zr-4. PWR tersebut dapat menghasilkan daya panas sekitar 3411 MWth, sehingga termasuk PWR kelas daya 1000 MWe. Untuk melakukan analisa distribusi fraksi bakar teras, maka penggantian bahan bakar di dalam teras reaktor dilakukan dengan 2 cara yang berbeda. Untuk teras PWR-A, dilakukan pembagian bahan bakar dalam 2 kelas fraksi bakar (2 batch) atau per $\frac{1}{2}$ bagian teras. Sedangkan bahan bakar pada teras PWR-B dilakukan pembagian 3 kelas fraksi bakar (3 batch) atau per $\frac{1}{3}$ bagian teras. Perhitungan teras dilakukan dengan paket program SRAC modul ASMBURN dalam bentuk geometri 2 dimensi melalui pemodelan $\frac{1}{4}$ teras. Tabel tampang lintang makroskopik diperoleh dengan perhitungan kisi sel bahan bakar menggunakan modul PIJ. Data pustaka tampang lintang yang digunakan adalah JENDL.3.3. Suhu bahan bakar, kelongsong dan moderator berturut-turut 900 K, 600 K dan 600 K. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa teras PWR-A menghasilkan rata-rata fraksi bakar buang (31,55 GWd/t) yang lebih rendah dibandingkan dengan teras PWR-B (38,01 GWd/t). Maksimum fraksi bakar buang perangkat bahan bakar pada teras PWR-A dan PWR-B masing-masing adalah sebesar 38,77 GWd/t dan 42,36 GWd/t. Sehingga dengan batasan fraksi bakar buang maksimum untuk bahan bakar UO_2 pengkayaan 3,4 wt% sebesar 39,000 GWd/t, maka teras PWR tersebut lebih tepat menggunakan pola penggantian bahan bakar dengan pembagian 2 kelas fraksi bakar (2 batch).

Katakunci: fraksi bakar, PWR, UO_2 , SRAC

ABSTRACT

ANALYSIS FUEL BURN-UP DISTRIBUTION OF 1000 MWE PWR-NPP CORE FUELLED BY UO_2 3,4 WT%. To support utilization of nuclear energy programme, therefore preliminary research about characteristic neutronic for PWR-NPP of core has been done. Some neutronic characteristic that related to core safety is limitation value of discharge burn-up maximum produced by fuel assembly in the core. In this research, to know value of discharge burn-up each fuel assembly in the core, then calculation of fuel burn-up distribution at the PWR core fuelled UO_2 with 3.4wt% enrichment and Zr-4 for cladding. Those PWR core can produce about 3411 MWth power heat, so that it is classified into PWR 1000 MWe class power of NPP. To analysis fuel burn-up distribution, then use 2 different method of fuel loading pattern as follow. In the PWR-A core, fuel group divided to 2 class of fuel burn-up (2 batch) or each $\frac{1}{2}$ part of the core. And, fuel group in the Pwr-B core distributed in the 3 class of fuel burn-up (3 batch) or each $\frac{1}{3}$ part of the core. Core burn-up calculation done using ASMBURN module of SRAC computer code in the 2 dimension geometry with $\frac{1}{4}$ model of the core. The macroscopic cross section table get by calculation of fuel cell using module PIJ of SRAC with JEND.3.3. As public library data. Temperature of the fuel pellet, cladding and moderator are 900 K, 600 K, and 600 K, respectively. From the calculation result knew that PWR-A core produce average discharge burn-up of fuel assembly (34.55 GWd/t) smaller then PWR-B core (38.01 GWd/t). Discharge burn-up maximum of fuel assembly at the PWR-A core and the PWR-B core are 38.77 GWd/t and 42.36 GWd/t, respectively. So that, with limitation of fuel assembly discharge burn-up maximum in the PWR core fuelled UO_2 with 3.4 wt% is about 39 GWd/t, then those PWR more exactly using 2 batch fuel loading pattern.

Keywords : burn-up, PWR, UO_2 , SRAC

1. PENDAHULUAN

Untuk mendukung PLTN pertama di Indonesia^{1]}, maka dilakukan penelitian awal tentang karakteristik neutronik teras PWR. Teras PWR merupakan jenis reaktor nuklir yang menggunakan air ringan (H₂O) sebagai moderator dan sekaligus pendingin^{2]}. Sedangkan bahan bakar yang digunakan adalah jenis Uranium Oksida (UO₂) pengkayaan rendah, pada umumnya sebesar 2~5 wt%^{3]}. Agar teras PWR tersebut dapat beroperasi dengan aman, maka salah satu syaratnya adalah parameter teras tidak boleh melebihi nilai batasan maksimum yang telah ditetapkan dalam desain keselamatan. Salah satu batasan keselamatan neutronik teras adalah besarnya fraksi bakar buang maksimum perangkat bahan bakar. Besarnya fraksi bakar buang maksimum yang dihasilkan oleh suatu teras bergantung pada cara/pola pemuatan bahan bakar kedalam teras reaktor. Untuk teras PLTN jenis PWR, biasanya menggunakan pola penggantian bahan bakar ½ atau ⅓ bagian dalam setiap siklus operasi. Atau dengan kata lain seluruh bahan bakar dibagi kedalam 2 atau 3 kelas/kelompok fraksi bakar (*batch*)^{4]}.

Tabel 1. Data fisik teras PLTN-PWR [5,6]

Jenis	Parameter	Nilai
Teras reaktor	Daya panas	3411 MW _{th}
	Tinggi aktif	3,66 m
	Diameter	3,37 m
	Jumlah perangkat	193
Bahan bakar	Material	UO ₂
	Pengkayaan	3,4 wt%
	Densitas	95 %TD
	Diameter pelet	8,19 mm
	Jarak bahan bakar	12,6 mm
	Energi bakar akhir	43 GWd/t
	Rata-rata daya linier	17,9 kW/m
Kelongsong	Material	Zr-4
	Diameter luar	9,5 mm
	Ketebalan	0,57 mm
Perangkat bahan bakar	Bentuk	17x17
	Jml. bahan bakar	264
	Jml. tabung pengarah	25

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan distribusi fraksi bakar teras PWR yang menggunakan bahan bakar UO₂ dengan pengkayaan uranium sebesar 3,4 wt%. Daya listrik yang dibangkitkan oleh PWR tersebut merupakan reaktor PLTN dengan kelas daya 1000 MWe atau daya panas yang dihasilkan sekitar 3411 Mwt^{5,6]}. Sedangkan untuk melakukan analisa distribusi fraksi bakar teras, maka penggantian bahan bakar di dalam teras reaktor dilakukan melalui 2 cara yang berbeda seperti berikut ini. Teras PWR-A,

pembagian bahan bakar dilakukan dalam 2 kelas fraksi bakar (2 *batch*) atau tiap ½ bagian teras. Sedangkan bahan bakar pada teras PWR-B dilakukan pembagian dalam 3 kelas fraksi bakar (3 *batch*) atau tiap ⅓ bagian teras.

Perhitungan teras bentuk geometri 2 dimensi dilakukan dengan paket program SRAC modul ASMBURN^{7]} melalui pemodelan ¼ teras. Sedangkan data tampang lintang makroskopik kisi sel bahan bakar diperoleh dari perhitungan pembakaran dengan menggunakan modul PIJ, dengan suhu pelet, kelongsong dan moderator berturut-turut sebesar 900 K, 600K dan 600K. Sedangkan data pustaka tampang lintang yang digunakan adalah JENDL.3.3. Perhitungan distribusi fraksi bakar teras tersebut bertujuan untuk mengetahui besarnya fraksi bakar buang maksimum perangkat bahan bakar pada teras PLTN PWR 1000 MWe yang berbahan bakar UO₂ dengan pengkayaan 3,4 wt%.

2. METODOLOGI

Dalam penelitian ini, sebagai objek perhitungan digunakan data-data umum dari teras PLTN PWR kelas daya 1000 MWe seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. dibawah ini. Reaktor tersebut menggunakan bahan bakar UO₂ dengan pengkayaan uranium-235 sebesar 3,4 wt% dan daya panas yang dihasilkan sebesar 3411 MW_{th} atau sekitar 1160~1180 MWe. Jumlah perangkat bahan bakar di dalam teras adalah 193 unit.

Untuk mendapatkan distribusi fraksi bakar teras reaktor PLTN-PWR saat BOC/EOC, maka dilakukan perhitungan pembakaran teras bentuk geometri 2 dimensi dengan pemodelan ¼ teras.

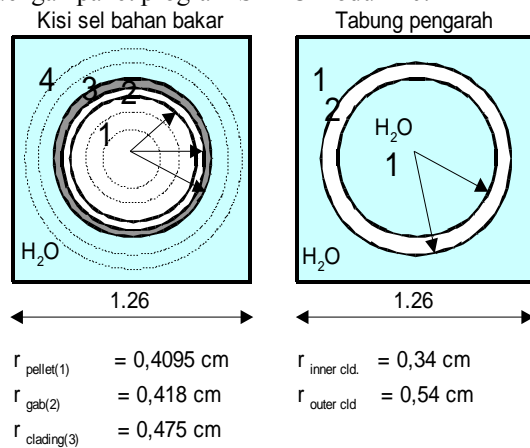
Tahapan perhitungan dimulai dari pemodelan kemudian dilanjutkan dengan perhitungan tampang lintang makroskopik kisi sel bahan bakar, tabung pengarah dan perangkat bahan bakar, yang akan dijelaskan sebagai berikut ini. Sedangkan untuk analisa distribusi fraksi bakar teras, maka dilakukan 2 cara pola penggantian bahan bakar yang berbeda, Pola penggantian tersebut adalah pembagian bahan bakar dalam 2 kelas fraksi bakar (2 *batch*) dan 3 kelas fraksi bakar (3 *batch*), yang juga akan dijelaskan di bawah.

2.1. Kisi sel bahan bakar & tabung pengarah

Gambar 1. menunjukkan ukuran geometri satu unit kisi sel bahan bakar dan tabung pengarah penyusun perangkat bahan bakar teras PWR. Material kisi sel bahan bakar terdiri dari 1. pelet UO₂, 2. celah kosong, 3. kelongsong Zr-4, dan 4. moderator H₂O. Suhu masing-masing material pelet, kelongsong dan moderator berturut-turut

sebesar 900 K, 600 K dan 600 K. Pemodelan kisi sel bahan bakar dilakukan dengan membaginya menjadi 8 daerah yang terdiri dari 3 daerah bahan bakar UO_2 , 1 daerah *void* yang berisi udara, 1 daerah kelongsong dan 3 bagian daerah moderator. Satu unit kisi sel bahan bakar yang terbagi dalam 8 daerah tersebut dihomogenisasikan menjadi 1 kelompok tampang lintang makroskopik. Perhitungan tampang lintang makroskopik kisi sel bahan bakar terhadap fungsi fraksi bakar dilakukan dengan paket program SRAC modul PIJ.

moderator. Jumlah total perangkat bahan bakar yang berada di dalam teras adalah sebanyak 193. Untuk PWR-A, perangkat tersebut dibagi dalam 2 kelas fraksi bakar yaitu kelas 1 dan 2. Sedangkan pada PWR-B dibagi dalam 3 kelas fraksi bakar yaitu kelas 1, 2 dan 3 yang masing-masing berjumlah 68, 68 dan 57. Perhitungan teras bentuk geometri 2 dimensi dilakukan dengan menggunakan paket program SRAC modul ASMBURN terhadap model $\frac{1}{4}$ bagian teras.



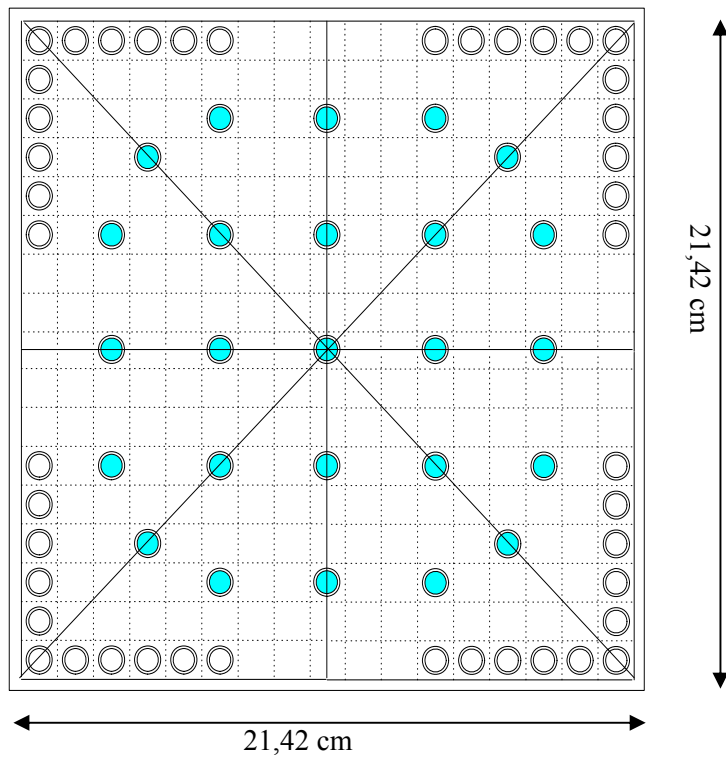
Gambar 1. Kisi sel bahan bakar UO_2 dan tabung pengarah

2.2. Perangkat Bahan Bakar

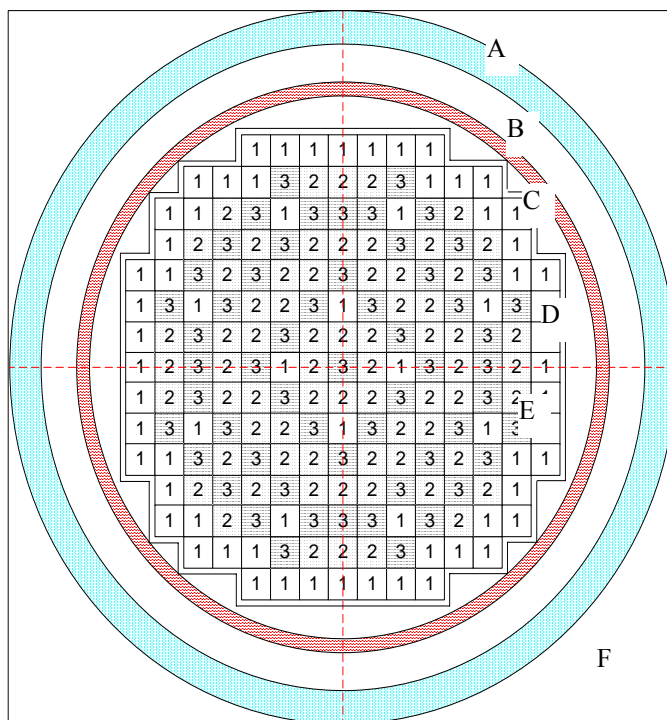
Perangkat bahan bakar PLTN-PWR ditunjukkan pada Gambar 2. Di dalam gambar tersebut bentuk lingkaran-lingkaran berwarna abu-abu menunjukkan tabung pengarah. Perangkat bahan bakar tersebut tersusun dari 17×17 *grid* yang dibagi menjadi 264 kisi sel bahan bakar dan 25 posisi tabung pengarah. Bentuk perangkat bahan bakar PWR adalah berupa bujur sangkar dengan ukuran 21,42 cm x 21,42 cm. Karena posisi susunan *pin rod* membentuk sudut simetris 45° , maka dalam perhitungan dilakukan pemodelan $\frac{1}{4}$ perangkat bahan bakar. Perhitungan tampang lintang makroskopik perangkat bahan bakar terhadap fungsi fraksi bakar dilakukan dengan paket program SRAC modul ASMBURN.

2.3. Teras Reaktor

Teras reaktor PLTN-PWR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. terdiri dari perangkat bahan bakar dengan 3 kelas fraksi bakar, bejana reaktor, *barrel* reaktor, *reflector*, *baffle* dan



Gambar 2. Perangkat bahan bakar PLTN-PWR 17x17



Keterangan ;

1 = Perangkat bahan bakar kelas 1.

2 = Perangkat bahan bakar kelas 2.

3 = Perangkat bahan bakar kelas 3.

A = Bejana,

B = Pendingin,

C = Barrel,

D = Reflektor,

E = Baffle,

F = Udara

Gambar 3. Susunan material teras PLTN-PWR

2.4. Pola Penggantian Bahan Bakar 1/2 Dan 1/3 Bagian Teras

Dalam penelitian ini, perhitungan distribusi fraksi bakar teras dilakukan terhadap 2 jenis pola penggantian bahan bakar yang berbeda seperti berikut ini. Pertama, Teras PWR-A berpola penggantian 1/2 bagian, yaitu pada tiap-tiap siklus operasi dilakukan penggantian terhadap 1/2 dari total perangkat bahan bakar yang ada atau sekitar 97 unit.

Gambar 4. menunjukkan posisi pemuatan bahan bakar di dalam 1/4 teras. Perangkat bahan bakar fraksi bakar kelas 1 (posisi) setelah melewati satu siklus dilakukan perpindahan posisi (*shuffling*) dengan mengikuti penomoran seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Perpindahan tersebut yaitu, mulai dari 1.1(A-H) → 2.1(H-H) → out, 1.2(A-G) → 2.2(G-F) → out, dst., 1.24(F-F) → 2.24(E-D) → out, 1.25(H-F) → out.

Kedua, teras PWR-B berpola penggantian bahan bakar 1/3 bagian, yaitu pada tiap-tiap siklus operasi dilakukan penggantian terhadap 1/3 dari total perangkat bahan bakar yang ada, atau sekitar 68 unit. Perangkat bahan bakar fraksi bakar kelas 1 dan kelas 2 setelah melewati satu siklus dilakukan perpindahan posisi (*shuffling*) dengan mengikuti

2.1	2.17	1.25	2.5	1.23	2.13	1.18	1.1	H
2.17	2.16	2.3	2.22	2.7	2.12	1.19	1.2	G
1.25	2.2	1.24	2.21	2.8	1.15	2.15	1.3	F
2.5	2.19	2.20	2.4	2.18	2.11	1.12	1.4	E
1.23	2.23	2.6	2.14	1.17	1.21	1.5		D
2.13	2.9	1.16	2.10	1.22	1.13	1.6		C
1.18	1.20	2.24	1.14	1.8	1.7			B
1.1	1.11	1.10	1.9					A
	H	G	F	E	D	C	B	A

Gambar 4. Pembagian distribusi kelas fraksi bakar pada teras PWR-A

penomoran seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Perpindahan bahan bakar tersebut yaitu, mulai dari

1.1 (A-H) → 2.1(H-B) → 3.1(H-H) → out, 1.2(A-G) → 2.2(B-G) → 3.2(G-F) → out, dst.,

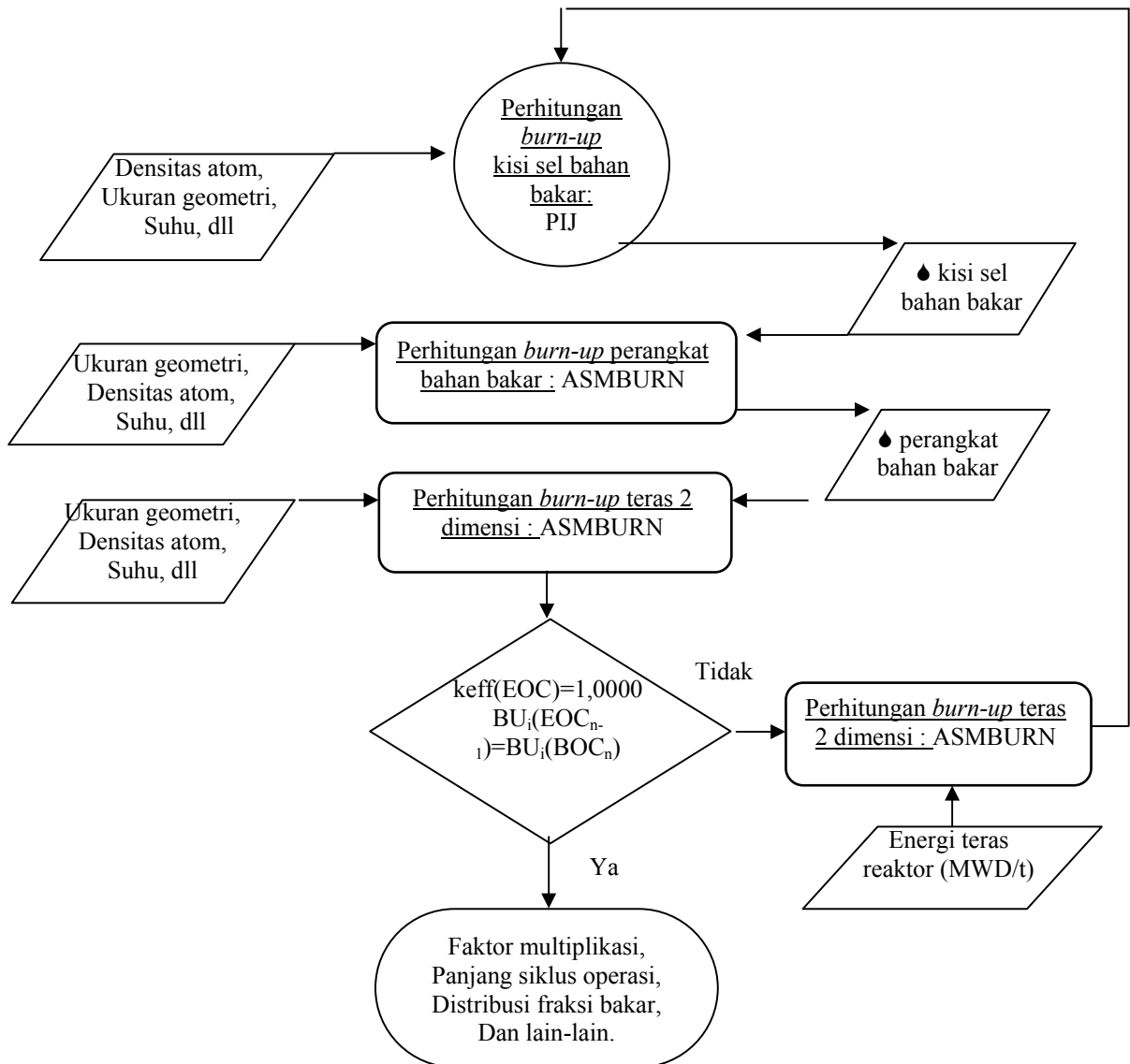
1.15(C-F) → 2.15(F-F) → 3.15(B-F) → out, 1.16(F-C) → 2.16(H-G) → out, 1.17(H-F) → 2.17(G-G) → out.

Gambar 5. Pembagian distribusi kelas fraksibakar pada teras PWR-B

3.1	2.16	1.17	3.5	2.6	3.13	2.1	1.1	H
2.16	2.17	3.3	2.11	2.7	3.12	2.2	1.2	G
1.17	3.2	2.15	2.12	3.8	1.15	3.15	1.3	F
3.5	2.14	2.13	3.4	2.8	3.11	1.12	1.4	E
2.6	2.1	3.6	2.9	3.7	2.4	1.5		D
3.13	3.9	1.16	3.1	2.5	1.13	1.6		C
2.1	2.3	3.14	1.14	1.8	1.7			B
1.1	1.11	1.10	1.9					A
	H	G	F	E	D	C	B	A

2.5. Alur Perhitungan

Alur perhitungan distribusi fraksi bakar teras PLTN-PWR 2 dimensi ditunjukkan pada Gambar 6. Setelah dilakukan tebakan awal distribusi fraksi bakar teras, maka sebagai langkah pertama adalah perhitungan kisi sel bahan bakar menggunakan modul PIJ untuk mendapatkan densitas atom bahan bakar sesuai dengan bearanya fraksi bakar pada tebakan awal. Kedua, dilakukan perhitungan tampang lintang makroskopik kisi sel bahan bakar dalam detail 107 kelompok energi untuk tiap-tiap perangkat bahan bakar dengan modul PIJ. Ketiga, dilakukan perhitungan tampang lintang makroskopik perangkat bahan bakar dengan cara kondensasi dari 107 kelompok energi menjadi 8 kelompok energi dengan menggunakan paket program ASMBURN. Keempat, dilakukan perhitungan teras 2 dimensi dengan paket perhitungan ASMBURN untuk mendapatkan nilai distribusi fraksi bakar pada saat BOC dan EOC, selain itu juga akan diperoleh nilai k_{eff} saat BOC/EOC dan panjang siklus operasi reaktor.



Gambar 6. Alur perhitungan fraksi bakar teras menggunakan SRAC-ASMBURN

Untuk memperoleh teras setimbang maka jika hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai k-eff saat EOC sama dengan 1 dan dengan nilai fraksi bakar perangkat bahan bakar nomor ke-i kelas ke-n saat

EOC sama dengan besarnya fraksi bakar perangkat bahan bakar nomor ke-i kelas ke-n+1 saat BOC. Jika syarat tersebut belum terpenuhi, maka perhitungan fraksi bakar teras dimulai lagi dari tahap pertama diatas.

Tabel 2. Perbandingan nilai reaktivitas lebih teras PWR-A dan PWR-B

Parameter	Unit	Teras PWR-A		Teras PWR-B	
		BOC	EOC	BOC	EOC
Siklus operasi teras	GWd/t	0,0	15,05	0,0	12,5
	hari	0,0	420,2	0,0	342,5
Faktor multiplikasi	(k_{eff})	1,20807	1,00025	1,17923	1,00024
Reaktivitas lebih (β)	$\cdot \%$ k/k	17,223	0,025	15200	0,024

3. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Faktor Multiplikasi Efektif Teras

Tabel 2. menunjukkan perbandingan nilai faktor multiplikasi atau reaktivitas hasil perhitungan menggunakan paket program SRAC modul ASMBURN antara teras PWR-A dan teras PWR-B, masing-masing pada saat awal (BOC) dan akhir siklus operasi (EOC). Seperti disebutkan diatas bahwa salah satu sebagai indikasi kekritisitas suatu teras setimbang adalah nilai faktor multiplikasi saat akhir siklus mendekati angka 1. Dari tabel 2. tersebut dapat diketahui bahwa teras PWR-A dan teras PWR-B masing-masing menghasilkan nilai faktor multiplikasi efektif saat akhir siklus yang sama mendekati angka 1 yaitu 1,000251 dan 1,000241. Kedua teras tersebut dilihat dari segi syarat kekritisitas teras setimbang, maka mempunyai kondisi yang sama pada akhir siklus. Dengan demikian, analisis terhadap distribusi fraksi bakar kedua teras yang akan dilakukan dalam kondisi syarat yang sama. Sehingga perbedaan yang ditimbulkan hanya disebabkan karena pola penggantian bahan bakar dalam teras saja.

Dari tabel 2. juga dapat dapat diketahui perbandingan nilai reaktivitas saat awal siklus (BOC) antara teras PWR-A dan teras PWR-B. Pada teras PWR-A menunjukkan nilai reaktivitas saat awal siklus yang lebih tinggi dibanding teras PWR-B yaitu masing-masing sebesar 17,223 $\cdot \%$ k/k dan 15,200 $\cdot \%$ k/k. Mengenai nilai reaktivitas saat awal siklus pada teras PWR tidak dilakukan analisis secara khusus, tetapi akan dibahas pada makalah lainnya.

3.2. Distribusi Fraksi Bakar

Hasil perhitungan distribusi fraksi bakar teras PLTN-PWR berbahan bakar UO_2 pengkayaan 3,4 wt% ditunjukkan pada Gambar 7 (PWR-A) dan Gambar 8 (PWR-B). Didalam kedua gambar tersebut, angka pada baris pertama dan baris ketiga masing-masing menunjukkan besarnya fraksi bakar dalam unit GWd/T tiap-tiap perangkat bahan bakar pada saat awal siklus (BOC) dan akhir siklus (EOC). Sedangkan pada baris kedua menunjukkan kelas fraksi bakar-nya.

Seperti yang terlihat pada Gambar 7, pada teras PWR-A yaitu teras PLTN PWR dengan pembagian 2 kelompok fraksi bakar menghasilkan rata-rata fraksi bakar buang perangkat bahan bakar sebesar 31,55 GWd/t. Fraksi bakar tertinggi sebesar 38,77 GWD/t dihasilkan oleh perangkat bahan bakar dengan posisi G-D. Perangkat bahan bakar tersebut pada 1 siklus operasi sebelumnya menempati posisi H-D (=D-H) yang menghasilkan fraksi bakar sebesar 20,64 GWd/t. Fraksi bakar tersebut merupakan fraksi bakar awal saat BOC untuk perangkat bahan bakar pada posisi G-D tersebut. Pada PWR-A tersebut, terdapat 1 unit perangkat bahan bakar yang mengalami pembakaran di dalam teras selama hanya satu kali siklus operasi saja, maka fraksi bakar buang terendah sebesar 22,65 GWD/t pada posisi F-H.

10.84	17.48	0.00	11.31	0.00	12.51	0.00	0.00		
2.1	2.17	1.25	2.5	1.23	2.13	1.18	0.1		H
32.25	38.17	22.65	31.97	20.64	29.96	15.58	10.84		
17.48	17.65	9.99	14.98	8.85	13.25	0.00	0.00		
2.17	2.16	2.3	2.22	2.7	2.12	1.19	1.2		G
38.17	38.22	31.39	35.00	28.39	30.45	15.28	10.65		
0.00	10.65	0.00	15.10	10.95	0.00	17.76	0.00		
1.25	2.2	1.24	2.21	2.8	1.15	2.15	1.3		F
22.65	31.92	22.10	34.65	30.91	17.76	30.99	9.99		
11.31	15.28	15.21	8.84	15.58	10.62	0.00	0.00		
2.5	2.19	2.2	2.4	2.18	2.11	1.12	1.4		E
31.97	35.11	34.67	28.14	32.92	26.45	13.25	8.84		
0.00	20.64	9.00	22.10	0.00	0.00	0.00			
1.23	2.23	2.6	2.14	1.17	1.21	1.5			D
20.64	38.77	27.83	35.79	17.48	15.10	11.31			
12.51	8.50	0.00	9.83	0.00	0.00	0.00			
2.13	2.9	1.16	2.1	1.22	1.13	1.6			C
29.96	26.07	17.65	25.61	14.98	12.51	9.00			
0.00	0.00	12.97	0.00	0.00	0.00				
1.18	1.20	2.24	1.14	1.8	1.7				B
15.58	15.21	30.54	12.97	10.95	8.85				
0.00	0.00	0.00	0.00						
1.1	1.11	1.10	1.9						
10.84	10.62	9.83	8.50						

BOC
kelas b.t
EOC

Gambar 7. Distribusi fraksi bakar (GWd/t) teras PWR-A saat BOC dan EOC

20.83	14.76	0.00	20.28	6.96	27.36	8.82	0.00		
3.1	2.16	1.17	3.5	2.6	0.13	2.1	1.1		H
38.78	33.54	20.18	37.58	24.12	40.57	20.83	8.82		
14.01	20.18	19.97	8.68	6.97	28.00	8.63	0.00		
2.16	2.17	3.3	2.11	2.7	3.12	2.2	1.2		G
32.24	38.24	37.81	26.93	23.90	41.04	20.40	8.63		
0.00	20.40	14.64	10.60	23.84	0.00	32.53	0.00		
1.17	3.2	2.15	2.12	3.8	1.15	3.15	1.3		F
20.18	38.18	32.53	28.00	38.63	14.64	42.36	8.07		
20.28	10.68	9.88		8.84	26.93	0.00	0.00		
3.5	2.14	2.13	3.4	2.8	3.11	1.12	1.4		E
37.58	28.69	27.36	34.18	23.84	38.63	10.60	6.96		
6.96	8.13	24.12	7.00	23.90	6.96	0.00			
2.6	2.1	3.6	2.9	3.7	2.4	1.5			D
24.12	24.98	38.95	22.22	36.28	18.53	8.82			
27.36	22.22	0.00	24.98	8.82	0.00	0.00			
3.13	3.9	1.16	3.1	2.5	1.13	1.6			C
40.57	35.75	14.76	36.88	20.28	9.88	6.96			
8.82	8.07	28.69	0.00	0.00	0.00				
2.1	2.3	3.14	1.14	1.8	1.7				B
20.83	19.97	38.83	10.68	8.84	6.97				
0.00	0.00	0.00	0.00						
1.1	1.11	1.10	1.9						
8.82	8.68	8.13	7.00						

BOC
kelas b.t
EOC

Gambar 8. Distribusi fraksi bakar (GWd/t) teras PWR-B saat BOC dan EOC

Untuk teras PWR-B, seperti ditunjukkan pada Gambar 8. menghasilkan fraksi bakar buang perangkat bahan bakar tertinggi sebesar 42,36 GWd/t pada posisi B-F. Perangkat bahan bakar tersebut pada 1 siklus operasi sebelumnya menempati posisi F-F dengan fraksi bakar saat EOC sebesar 32,53 GWd/T yang merupakan fraksi bakar awal saat BOC untuk perangkat bahan bakar pada posisi B-F tersebut. Sedangkan pada 2 siklus operasi sebelumnya menempati posisi C-F. Jika batasan batasan fraksi bakar buang maksimum untuk bahan bakar UO_2 pengkayaan 3,4 wt% sebesar 39,000 GWd/t³¹, maka discharge burn-up perangkat bahan bakar maksimum pada teras PWR-B tersebut telah melebihi batasan yang telah ditetapkan.

Dari hasil perhitungan fraksi bakar yang tercantum dalam kedua gambar diatas dapat diketahui bahwa teras PWR-A menghasilkan rata-rata fraksi bakar buang perangkat bahan bakar yang lebih rendah dibandingkan dengan teras PWR-B. Selain itu, diketahui juga bahwa fraksi bakar buang tertinggi perangkat bahan bakar pada teras PWR-A juga lebih rendah dibandingkan pada teras PWR-B.

3.3. Perubahan Fraksi Bakar

Perubahan fraksi bakar tiap-tiap perangkat bahan bakar selama satu siklus operasi teras PWR-A (baris 1) dan PWR-B (baris 2) ditunjukkan pada Gambar 9.

21.41	20.69	22.65	20.66	20.64	17.45	15.58	10.84	H
17.96	18.77	20.18	17.30	17.16	13.22	12.01	8.82	
20.69	20.57	21.40	20.02	19.53	17.20	15.28	10.65	G
18.77	18.06	17.84	18.25	16.94	13.04	11.77	8.63	
22.65	21.27	22.10	19.55	19.96	17.76	13.23	9.99	F
20.18	17.78	17.88	17.40	14.80	14.64	9.84	8.07	
20.66	19.83	19.46	19.30	17.34	15.83	13.25	8.84	E
17.30	18.01	17.48	15.65	15.00	11.70	10.60	6.96	
20.64	18.13	18.83	13.68	17.48	14.10	11.31		D
17.16	16.85	14.83	15.21	12.38	11.56	8.82		
17.45	17.57	17.65	14.98	13.98	12.51	9.00		C
13.22	13.53	14.76	11.90	11.46	9.88	6.96		
15.58	15.21	17.57	12.97	10.95	8.85			B
12.01	11.90	10.13	10.68	8.84	6.97			
10.84	10.62	9.84	8.50					A
8.82	8.68	8.13	7.01					

Gambar 9. Distribusi perubahan fraksi bakar (GWd/t) teras PWR-A dan PWR-B

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa perubahan fraksi bakar terbesar pada teras PWR-

A sebesar 22,65 GWd/t pada posisi F-H (=H-F), untuk teras PWR-B adalah sebesar 20,18 GWd/t pada posisi F-H (=H-F).

Hal tersebut disebabkan karena pada posisi tersebut merupakan posisi paling tengah yang ditempati oleh perangkat bahan bakar segar, fraksi bakar saat BOC sebesar 0 GWd/t untuk kedua teras tersebut. Sehingga dengan fluks neutron termal yang tinggi dan jumlah isotop ²³⁵U yang banyak, maka akan menghasilkan perubahan fraksi bakar tertinggi. Sedangkan perubahan fraksi bakar terkecil pada teras PWR-A adalah sebesar 8,50 GWd/t pada posisi E-A, dan 6,96 GWd/t pada posisi B-C (= C-B) untuk teras PWR-B. Meskipun pada posisi tersebut merupakan pemuatan perangkat bahan bakar yang masih segar, tetapi karena letaknya dipinggir teras dimana fluks neutron termal rendah, maka juga akan menghasilkan perubahan fraksi bakar yang paling kecil. Besarnya perubahan fraksi bakar perangkat bahan bakar selain bergantung pada besarnya fraksi bakar awal juga pada letak posisi pemuatannya di dalam teras.

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan perhitungan distribusi fraksi bakar teras PLTN-PWR 1000 MWe berbahan bakar UO_2 pengkayaan 3,4 wt% dengan paket program SRAC modul ASMBURN. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa teras PWR-A menghasilkan rata-rata fraksi bakar buang perangkat bahan bakar (31,55 GWd/t) yang lebih rendah dibandingkan dengan teras PWR-B (38,01 GWd/t). Maksimum fraksi bakar buang perangkat bahan bakar pada teras PWR-A dan PWR-B masing-masing adalah sebesar 38,77 GWd/t dan 42,36 GWd/t. Sehingga dengan batasan fraksi bakar buang maksimum untuk bahan bakar UO_2 pengkayaan 3,4 wt% sebesar 39,000 GWd/t, maka teras PWR tersebut lebih tepat menggunakan pola penggantian bahan bakar dengan pembagian 2 kelas fraksi bakar (2 batch).

5. DAFTAR PUSTAKA

1. HUDI HASTOWO, Program LitBang Dan Penerapan Sistem Energi Nuklir, Prosiding Seminar Ke-14, Teknologi Dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, September 2006, ISSN : 08854-291.
2. GUNSHIRYOKU JITEN HENSHU IINKAI, *Dictionary of Nuclear Science and Technology*, Nikkei Kogyo Shinbunsha, Japan, 30-11-1995, (in Japanese).

3. KEISUIRO NENRYO no FURUMAI IINKAI, Jimu Tekisuto Sherizu No.3, Keisuiro Nenryo no Furumai, Zaidan Hojin Genshiryoku Kyokai, Hesei 2 nen 7 Gatsu (in Japanese).
4. J. J. DUDERSTADT, L. J. HAMILTON (FUJITA, NARITA translation), "Genshiro no Riron to Kaiseki", Gendai Kougakusha, 1976 (in Japanese).
5. ANONIM, "Shin Nyushain Kyouiku Shiryo (Genshiryoku)", Kyushu Denryoku Kabushiki Gaisya, Hesei 6 nen 4 gatsu (in Japanese).
6. MIYOSHI, "PWR ni Okeru Th-²³³U Nenryou o Mociita TRU Henkansyori no Kentou", Shushironbun Kyushu Daigaku Daigakuin Kougakukenkyuka Ouyougenshikaku Kougaku Senkou, hesei 8 nen 2 gatsu (in Japanese).
7. JAERI-Data/Code96-015, "SRAC95; Banyoukakukeisan Kodo Shisutemu", Nihon Genshiryoku Kenkyujyo, 1996 nen 3 gatsu, (in Japanese).

TANYA JAWAB