

PERHITUNGAN KRITIKALITAS MCNP4C-2 PADA TERAS *BENCHMARK* KISI BAHAN BAKAR PWR DENGAN LUBANG AIR DAN *PERTURBING ROD*

Rokhmadi dan Tagor Malem Sembiring

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310
E-mail : rokh_rsg@batan.go.id dan tagorms@batan.go.id

ABSTRAK

PERHITUNGAN KRITIKALITAS MCNP4C-2 PADA TERAS *BENCHMARK* KISI BAHAN BAKAR PWR DENGAN LUBANG AIR DAN *PERTURBING ROD*. Telah dilakukan perhitungan kritikalitas untuk mengevaluasi suatu teras *benchmark* standar ANS (*American Nuclear Society*) dengan paket program MCNP4C-2. Teras ini dipilih karena kondisinya dekat dengan kondisi reaktor daya sesungguhnya dan memiliki rangkaian eksperimen kritikalitas yang lengkap, yaitu pengaruh lubang air dan *perturbing rod*. Dalam penelitian ini dipilih 3 (tiga) jenis teras yaitu Tipe-A, Tipe-B dan Tipe-C. Pada teras Tipe-A, seluruh kisi diisi penuh dengan bahan bakar UO_2 , sedangkan pada Teras-B dan Teras-C masing-masing diisi dengan lubang air dan *pyrex* sebagai *perturbing rod*. Ketiga teras tersebut diletakkan di bagian tengah sedemikian sehingga membentuk susunan yang menyerupai perangkat bahan bakar PWR berukuran 15×15 dalam susunan 3×3 . Daerah tengah teras dikelilingi oleh *driver region* yang merupakan susunan kisi bahan bakar UO_2 . Tujuan riset ini adalah untuk menentukan akurasi hasil perhitungan MCNP4C-2 dan mendapatkan model geometri yang detail sehingga paket program MCNP4C-2 dapat digunakan sebagai acuan bagi paket program analitis lainnya. Perhitungan kritikalitas dilakukan dengan dua data nuklir, yaitu ENDF/B-V dan ENDF/B-VI, yang ada di paket program MCNP-4C2. Disamping kritikalitas, efek perubahan konsentrasi boron juga dihitung dalam penelitian ini. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa hasil perhitungan k_{eff} dengan data nuklir ENDF/B-V lebih dekat nilainya dengan hasil eksperimen jika dibanding dengan data nuklir ENDF/B-VI. Ditunjukkan juga bahwa perbedaan kedua data nuklir membesar seiring dengan berkurangnya konsentrasi boron. Meskipun demikian, data nuklir ENDF/B-VI hanya memiliki perbedaan terbesar dengan eksperimen 0,652%. Hal ini menunjukkan bahwa baik model perhitungan maupun paket program MCNP4C-2 dapat memprediksi dengan akurat hasil eksperimen dengan berbagai kondisi teras.

Kata kunci : kritikalitas, teras benchmark, PWR, konsentrasi boron , MCNP4C-2

ABSTRACT

CRITICALITY CALCULATIONS OF THE MCNP-4C2 CODE ON THE BENCHMARK CORES OF PWR FUEL LATTICE WITH WATER HOLE AND PERTURBING ROD. Criticality calculations using the MCNP4C code on the benchmark cores of PWR fuel lattice with water hole and perturbing rod. Criticality calculations have been performed to evaluate an ANS (*American Nuclear Society*) standard benchmark core using the MCNP4C-2 code. These cores were chosen because those conditions were close to the real nuclear power plant and have a complete series of criticality experiments, namely the effect of water holes and perturbing rods. In this study, 3 (three) selected cores, Type-A, Type-B and Type-C. In the Type-A core, the whole grid filled with UO_2 fuel, while in the Type-B and Type-C cores, some grids are filled with water and *pyrex* as a perturbing rod, respectively. The cores are placed in the center area so that the configuration is close to the configuration of the 15×15 PWR fuel assembly in the arrangement of 3×3 . The center area is surrounded by the driver region which arranged by UO_2 lattice fuel. The objective of this research is to determine the accuracy of the calculation MCNP4C-2 code and prepare a detailed geometry model so the code can be used as a reference for other analytical codes. Criticality calculations are carried out with the ENDF/B-V and ENDF/B-VI nuclear data in the MCNP-4C2 code. In addition to criticality calculations, the effect of boron concentrations is also calculated in this study. The calculations show that the calculated k_{eff} with the nuclear data of ENDF/B-V are close with the experimental results compared with the nuclear data of ENDF / B-VI ones. Also shown that the difference between the two nuclear data is increase along with the reduction of boron concentration. However, the nuclear data of ENDF/B-VI has the largest difference with the experimental by 0.652%. This shows that both model computation and MCNP4C-2 program packet can accurately predict experimental results with various core conditions.

Key word: criticality, benchmark core, PWR, boron concentration, MCNP4C-2

PENDAHULUAN

Untuk mempercepat penguasaan teknologi PLTN, maka BATAN sebagai litbang energi nuklir melakukan evaluasi desain reaktor daya PWR (*Pressurized Water Reactor*). Sasarannya adalah peningkatan kemampuan SDM dalam mendukung BATAN sebagai *Technical Support Organization* (TSO) yaitu suatu organisasi yang independen terhadap regulator maupun operator yang mempunyai tugas menyiapkan bantuan teknis PLTN pertama di Indonesia [1]. Desain reaktor daya (PLTN) memiliki kompleksitas yang tinggi, bukan saja dalam struktur tetapi juga jumlah parameter keselamatan yang sangat banyak. Oleh karena itu, dalam mengevaluasi suatu desain PLTN dengan suatu paket program (*analytical tool*) maka perlu dilakukan terlebih dahulu kegiatan validasi pada teras *benchmark* yang kondisi terasnya sedekat mungkin dengan kondisi reaktor daya sesungguhnya.

Dalam kegiatan riset ini dipilih teras *benchmark* kisi bahan bakar UO_2 (PWR) yang dimiliki oleh Babcock and Wilcox (B&W) karena kisi bahan bakarnya memiliki susunan seperti reaktor PWR tipe 15x15 [2]. Teras *benchmark* ini digunakan sebagai *benchmark* standar oleh ANS (*American Nuclear Society*). Disamping itu, alasan utama pemilihan teras *benchmark* ini adalah memiliki rangkaian eksperimen kriticalitas yang lengkap yaitu pengaruh lubang air (*water hole*) dan *perturbing rod* pada konsentrasi kriticalitas boron. Penggunaan lubang air dan *perturbating rod* lazim digunakan untuk reaktor PWR karena lubang air dimanfaatkan untuk tabung pengarah (*guide tube*) dan *perturbing rod* dimanfaatkan untuk mengendalikan reaktivitas lebih di awal siklus.

Penggunaan paket program MCNP4C-2 dalam riset ini disebabkan karena menggunakan metode Monte Carlo dalam perhitungan sehingga dapat menentukan pergerakan random neutron yang tepat, geometri yang detail dan penggunaan energi neutron yang kontinyu [3]. Pada riset ini dihitung nilai kriticalitas teras A, B dan C kemudian divariasi konsentrasi boron pada masing-masing teras kemudian untuk mengetahui tingkat akurasinya dibandingkan dengan hasil eksperimen pada data nuklir ENDF/B-V dan ENDF/BVI.

Tujuan riset ini adalah untuk menentukan akurasi hasil perhitungan MCNP4C-2 dan mendapatkan model geometri yang detail dengan perhitungan sehingga paket program MCNP4C-2 dapat digunakan sebagai acuan bagi paket program analitis lainnya. Jika hasil riset ini memuaskan, maka akan dilanjutkan dengan analisis teras PWR yang generik (riil).

TEORI

Jika ada sejumlah G generasi neutron dan sejumlah D generasi neutron yang akan diabaikan (untuk kepentingan konvergensi), maka faktor perlipatan efektif (k_{eff}) suatu sistem dapat dihitung [4]:

$$\overline{k_{eff}} = \frac{1}{G-D} \sum_{i=D+1}^G k_{eff-i} \quad (1)$$

dengan:

i = siklus neutron yang ke- i

$\overline{k_{eff}}$ = faktor perlipatan efektif yang diestimasi

k_{eff-i} = faktor perlipatan efektif yang ke- i

Perbedaan antara k_{eff-i} dan $\overline{k_{eff}}$ akan menimbulkan simpangan baku sebesar :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(G-D-1)} \sum_{i=D+1}^G (k_{eff-i} - \overline{k_{eff}})^2} \quad (2)$$

Untuk keabsahan perhitungan Monte Carlo, range $\overline{k_{eff}} - \sigma$ sampai $\overline{k_{eff}} + \sigma$ termasuk hasil k_{eff} dengan tingkat kepercayaan 68%. Hasil akhir dari perhitungan Monte Carlo adalah $\overline{k_{eff}} \pm \sigma$, $\overline{k_{eff}} \pm 2\sigma$, $\overline{k_{eff}} \pm 2,6\sigma$ dengan tingkat kepercayaan masing-masing 68%, 95% dan 99%.

Besaran k_{eff} merupakan parameter yang menunjukkan korelasi perubahan populasi neutron dalam reaktor, dikatakan kondisi kritis jika populasi neutron sesudah dan sebelum terjadi reaksi fisi memiliki jumlah yang sama [4]. Nilai k_{eff} sangat dipengaruhi rapat atom uranium dan moderator [5]. Rapat atom secara umum dapat ditentukan persamaan seperti berikut [6]:

$$N = \left[\frac{\rho_{mixt} \times w_i \times N_{Avo}}{A_i} \right] \times 10^{-24} \quad (3a)$$

dengan,

N = rapat atom (atom/barn cm)

w_i = fraksi berat isotop i (%)

ρ_i = densitas isotop i (g/cm^3)

N_{Avo} = bilangan Avogadro = $0,602252 \times 10^{24}$ ($g \text{ mol}^{-1}$)

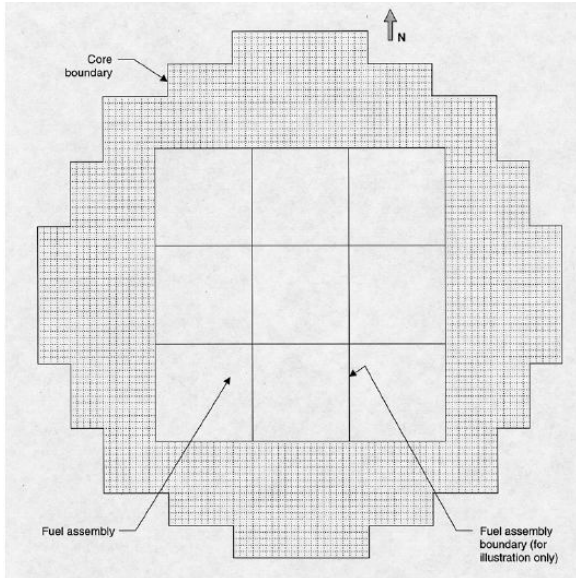
A_i = nomor atom isotop i (g/mol)

Kerapatan campuran ρ_{mixt} dihitung dengan persamaan:

$$\rho_{mixt} = \frac{1}{\sum_{i=1}^I \frac{w_i}{\rho_i}} \quad (g/cm^3) \quad (3b)$$

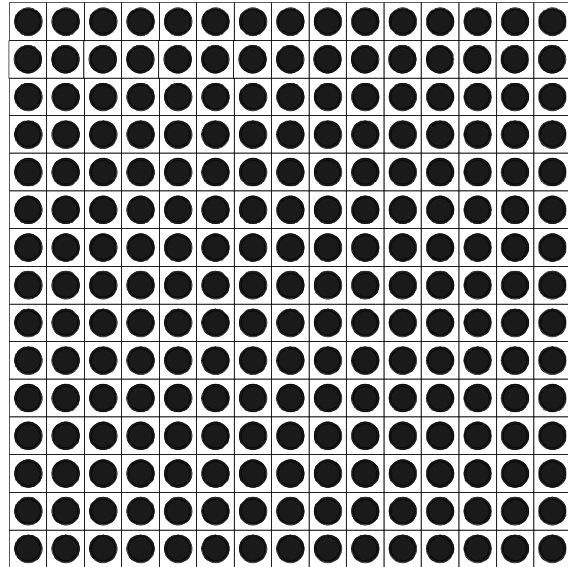
DESKRIPSI TERAS *BENCHMARK* KISI BAHAN BAKAR PWR

Teras *benchmark* PWR ini disusun dalam kisi-kisi 4961 (Teras-A) dan 4808 (Teras-B dan Teras-C) batang bahan bakar UO_2 (*fuel rod*) Daerah tengah kisi disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai susunan perangkat bahan bakar PWR 15×15 dalam susunan 3×3, seperti terlihat pada Gambar 1.

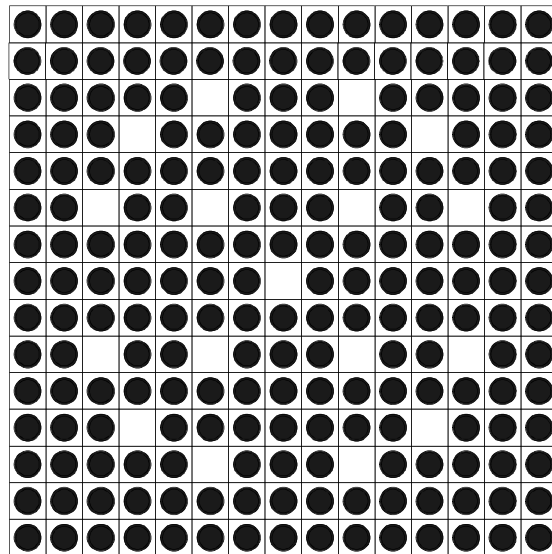


Gambar 1. Teras Benchmark PWR ANS

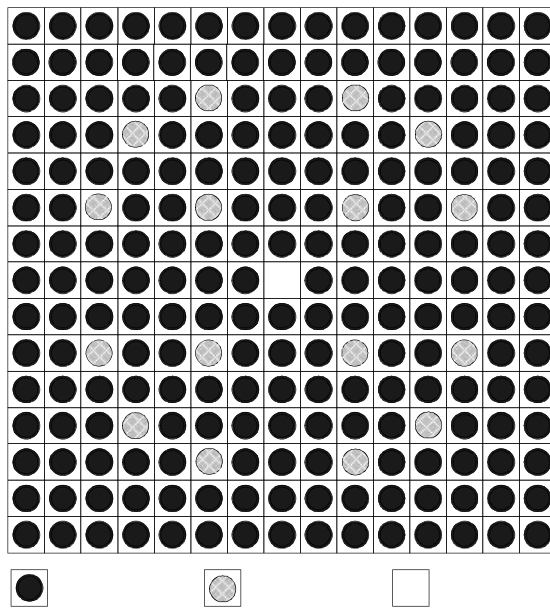
Daerah di luar kisi 3×3 disebut *driver region* yang merupakan susunan kisi bahan bakar UO_2 . Kisi bahan bakar dikelilingi reflektor air dengan radius terluarnya 76,2 cm dan di dalam tangki aluminium dengan ketebalan 1,27 cm. Kisi bahan bakar disusun dalam jarak antar *pitch* sebesar 1,63576 cm, tinggi aktif sebesar 153,3398 cm dan pengkayaan uranium sebesar 2,459%. Kelongsong terbuat dari Al-6061, masing-masing dengan tinggi dan ketebalan sebesar 156,4386 cm dan 0,081280 cm. Pada teras Tipe-A, seluruh kisi diisi penuh dengan bahan bakar UO_2 , sedangkan pada Teras-B dan Teras-C masing-masing diisi dengan lubang air dan *pyrex* sebagai batang penyerap. *Perturbing rod* terbuat dari *pyrex* mengandung boron sehingga berfungsi menyerap neutron untuk mengendalikan fluks neutron di antara bahan bakar. Konfigurasi bahan bakar pada tipe teras A, B dan C ditunjukkan masing-masing pada Gambar 2a, 2b, dan 2c [2].



Gambar 2a. Konfigurasi bahan bakar tipe Teras A



Gambar 2b. Konfigurasi bahan bakar tipe teras B



Gambar 2c. Konfigurasi bahan bakar tipe Teras C

Tabel 1. Data disain penyusun bahan bakar [2]

	Parameter	Nilai
Bahan Bakar UO ₂	diameter pellet	1,029716 cm
	tinggi akhtif	153,3398 cm
	rapat pellet	10,2400 g/cm ³
	pengkayaan	2,4590 wt%
Kelongsong	material	Al-6061
	kerapatan	2,7000 g/cm ³
	diameter luar	1,205992 cm
	ketebalan	0,081280 cm
	tinggi	156,4386 cm
	komposisi	1 w/o Mg, 96,55 w/o Al, 0,6 w/o Mg, 0,15 w/o Ti, 0,20 w/o Cr 0,15 w/o Mn, 0,70 w/o Fe, 0,25 w/o Cu, 0,25 w/o Zn dan 0,15 w/o lainnya
Pyrex rod	diameter	1,1700 cm
	tinggi	188,0000 cm
	kerapatan	2,24416 g/cm ³
	komposisi	12,615 w/o B ₂ O ₃ , 4 w/o Na ₂ O, 2 w/o Al, 81,385 w/o SiO ₂
	kandungan B ₂ O ₃	3,919 w/o Boron natural, 18,43 w/o ¹⁰ B
Air (H ₂ O)	kerapatan	0,99823 g/cm ³
	temperatur	20°C

METODE PERHITUNGAN

Sebelum melakukan perhitungan kritikalitas, terlebih dahulu dilakukan perhitungan kerapatan atom masing-masing material penyusun perangkat bahan bakar menggunakan persamaan (3a) dan (3b) dengan data masukan Tabel 1 dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 2.

Data nuklir yang digunakan dalam perhitungan ini adalah ENDF/B-V dan ENDF/B-VI, seperti terlihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 2 dan 3 tersebut kemudian disusun input MCNP4C-2 yang terdiri dari *cell card*, *surface card* dan *data card* untuk masing-masing kasus. Kasus pertama tipe teras A, B dan C dihitung dengan kerapatan boron masing-masing 1511 ppm, 1335,5 ppm dan 794 ppm. Selanjutnya masing-masing kerapatan boron diturunkan 30 ppm untuk masing-masing tipe teras, seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 2. Kerapatan atom bahan bakar

	Atom	w/o (%)	Rapat atom (atom/barn cm)
UO ₂	U ²³⁵		5,8952×10 ⁻⁴
	U ²³⁴		4,7363×10 ⁻⁶
	U ²³⁸		2,2248×10 ⁻²
	¹⁰ B		2,6000×10 ⁻⁷
	O		4,5885×10 ⁻²
Kelongsong	Mg	1	6,6946×10 ⁻⁴
	Al	96,7	5,8274×10 ⁻²
	Si	0,6	3,4729×10 ⁻⁴
	Ti	0,15	5,0955×10 ⁻⁵
	Cr	0,2	6,2551×10 ⁻⁵
	Mn	0,15	4,4395×10 ⁻⁵
	Fe	0,7	2,0362×10 ⁻⁴
	Cu	0,25	6,3982×10 ⁻⁵
	Zn	0,25	6,2195×10 ⁻⁵
		Si	
Pyrex	Na		1,7445×10 ⁻³
	Al		1,0018×10 ⁻³
	O		4,4840×10 ⁻²
	¹⁰ B		9,7477×10 ⁻⁴
	¹¹ B		3,9238×10 ⁻³
Air	H		6,6755×10 ⁻⁴
	O		3,3377×10 ⁻²

Tabel 3. Data nuklir [3]

No.	Isotop	ZAID
1.	U234	92234.51c
2.	U234	92234.60c
3.	U-235	92235.50c
4.	U-235	92235.60c
5.	U-238	92238.50c
6.	U-235	92235.60c
7.	O-16	8016.50c
8.	O-16	8016.60c
9.	H-1	1001.50c
10.	H-1	1001.60c
11.	B-10	5010.50c
12.	B-10	5010.60c
13.	B-10	5010.50c
14.	B-11	5011.50c
15.	B-11	5011.60c
16.	C-12	12000.51c
17.	Si-14	14000.60c
18.	Al-27	13027.60c
19.	Na-11	11023.60c
20.	Fe-54	26054.60c
21.	Fe-56	26056.60c
22.	Fe-57	26057.60c
23.	Fe-58	26058.60c

Tabel 4. Rapat atom boron (atom/ barn cm)

Tipe Teras	Boron (ppm)	N _{natural} (×10 ⁻⁵)	N ¹⁰ (×10 ⁻⁵)	N ¹¹ (×10 ⁻⁵)
A	1511	8,4018	1,6719	6,7299
	1481	8,2350	1,6387	6,5963
	1451	8,0682	1,6055	6,4627
B	1335,5	7,4259	1,4777	5,9483
	1305,5	7,2591	1,4445	5,81463
	1275,5	7,0923	1,4113	5,6810
C	794	4,4150	0,8785	3,5364
	764	4,2482	0,8453	3,4028
	734	4,0813	0,8122	3,2692

Setiap kasus perhitungan digunakan data nuklir ENDF/B-VI dan ENDF/B-V. Kemudian dari setiap kasus perhitungan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang nilai $k_{eff} = 1,0007$ dan dihitung tingkat akurasi.

Dalam perhitungan k_{eff} , jumlah neutron persiklus adalah 10.000 dengan jumlah total siklus sebanyak 300. Sebanyak 50 siklus diabaikan (*skip*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemodelan teras *benchmark* standar ANS (Gambar 1) menggunakan MCNP4C-2 secara detail ditampilkan pada Gambar 3, terlihat ¼ teras dalam matrik 15x15 perangkat bahan bakar dan tersusun dalam 3x3 bahan bakar yang dikelilingi reflektor air. Dari Gambar 3 tampak jelas *input* yang digunakan sudah benar dalam memodelkan teras benchmark ANS PWR. Jika pemodelannya sudah benar, maka perhitungan yang dihasilkan akan akurat. Dalam perhitungan kasus pertama, semua tipe teras, yaitu teras A, teras B dan teras C masing-masing digunakan konsentrasi boron 1511 ppm, 1335,5 ppm dan 794 ppm.

Pada kasus 2 konsentrasi boron pada masing-masing teras dikurangi 30 ppm, selanjutnya pada kasus 3, pengurangan konsentrasi 30 ppm dari kasus 2. Semua kasus perhitungan diatas digunakan data nuklir ENDF/B-VI. Kemudian untuk mengetahui pengaruh data nuklir, maka masing-masing kasus diatas dihitung ulang dengan menggunakan data nuklir ENDF/B-V. Dari semua kasus perhitungan diatas dilsimulasikan iterasi 400 siklus dengan 10.000 neutron persiklus dan 50 siklus pertama diloncati untuk mendapatkan kondisi awal, hasilnya seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

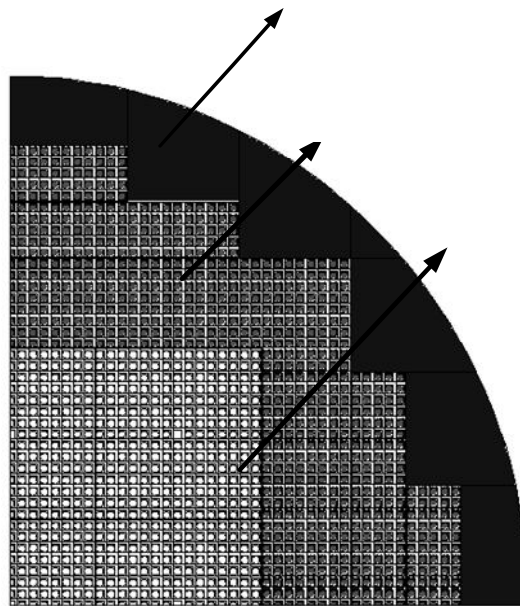
Dari Tabel 5 terlihat bahwa secara umum semakin kecil konsentrasi boron pada masing-masing tipe teras, nilai k_{eff} semakin besar, baik menggunakan data nuklir ENDF/B-V maupun ENDF/B-VI, hal ini disebabkan karena sifat boron yang menyerap neutron, semakin kecil konsentrasi

boron maka akan semakin kecil juga jumlah neutron yang terserap sehingga nilai k_{eff} akan semakin besar.

Nilai C/E adalah perbandingan nilai k_{eff} hasil perhitungan pada masing-masing kasus dengan nilai k_{eff} hasil eksperimen ($k_{eff} = 0,0007$), maka nilai C/E pada tipe teras A, B dan C rata-rata masing-masing 1,00140, 1,00022 dan 0,99914 jika menggunakan data nuklir ENDF/B-V dan 1,00186, 0,97694 dan 1,00219 jika menggunakan data nuklir ENDF/B-VI. Dan secara umum nilai C/E adalah 1,00025 jika menggunakan data nuklir ENDF/B-V dan 0,99366 jika menggunakan data nuklir ENDF/B-VI. Semua nilai C/E diatas menunjukkan bahwa tingkat akurasi hasil perhitungan pada masing-masing kasus sangat

tinggi atau dengan perbedaan 0,497% jika menggunakan data nuklir ENDF/B-V dan 0,652% jika menggunakan data nuklir ENDF/B-VI.

Kemudian kalau diperhatikan nilai simpangan baku pada masing-masing kasus perhitungan, terlihat bahwa nilainya terkecil diperoleh pada 0,00032 dan terbesar pada nilai 0,00490. Adanya perbedaan nilai simpangan baku tersebut disebabkan karena perhitungan paket program MCNP berbasis probabilitas dan terjadinya reaksi fisi pada bahan bakar secara random. Jumlah simulasi neutron persiklus dan jumlah siklusnya mempunyai peran akan terjadinya variasi nilai simpangan baku.



Gambar 3 Pemodelan ¼ teras benchmark ANS dengan MCNP4C-2

Tabel 5. Nilai k_{eff} hasil perhitungan

Tipe Teras	Boron (ppm)	k_{eff}		Perbandingan C/E	
		ENDF/BV	ENDF/BVI	ENDF/BV	ENDF/BVI
A	1511	0,99591 ± 0,00034	0,99732 ± 0,00034	0,99521	0,99662
	1481	0,99968 ± 0,00033	1,00118 ± 0,00032	1,00378	1,00529
	1451	1,00490 ± 0,00490	1,00336 ± 0,00036	1,00522	1,00368
B	1335,5	0,99497 ± 0,00039	0,99648 ± 0,00036	0,99012	0,99162
	1305,5	0,99975 ± 0,00069	1,00219 ± 0,00035	1,00480	1,00726
	1275,5	1,00490 ± 0,00035	1,00713 ± 0,00034	1,00515	1,00738
C	794	0,99292 ± 0,00035	0,99647 ± 0,00038	0,98808	0,99161
	764	0,99754 ± 0,00036	1,00052 ± 0,00034	1,00465	1,00765
	734	1,00221 ± 0,00036	1,00483 ± 0,00035	1,00468	1,00731

Keterangan : C=nilai k_{eff} hasil perhitungan, E=nilai k_{eff} hasil eksperimen =1,0007

KESIMPULAN

Dari serangkaian perhitungan terhadap nilai k_{eff} dengan berbagai kasus konsentrasi boron maka pengaruh boron akan menaikkan nilai k_{eff} , dan mempunyai tingkat akurasi atau perbedaan terhadap eksperimen adalah 0,497% jika digunakan data nuklir ENDF/B-V dan 0,652% jika digunakan data nuklir ENDF/B-VI, sehingga paket program MCNP4C-2 valid jika digunakan analisis perhitungan reaktor jenis PWR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada beliau Prof. Drs. Surian Pinem, M. Si atas diskusi dan sarannya sehingga penelitian ini dapat terwujud. Juka kepada Ir. Endiah Pujihastuti, MT selaku Kepala BFTR-PTRKN yang telah memfasilitasi terhadap pendanaannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANTARIKSAWAN,AR, Concept of Technical Support Organization for Nuclear activities in Indonesia, IAEA-CN-142/12.
2. American Nuclear Society, PWR Lattice Benchmark Problems, Ad Hoc Committee on Reactor Physics Benchmarks, Reactor Physics Division, American Nuclear Society (2002).
3. BRIESEMESTER, J.F.(Ed.), "MCNP4C-2 A General Monte Carlo N-Particle Transport Code", Version 4C-2, LA-13709-M, Los Alamos Laboratory (2000)
4. ROKHMADI, Analisis Kritikalitas Penyimpanan Bahan Bakar Bekas (ISFSF) Reaktor RSG- GAS, Jurnal Teknologi Reaktor Tri **Dasa Mega** Vol.8 (2), Juni 2006, pp 92-98.
5. ROKHMADI, Analisis Faktor Multiplikasi Tak Hingga Bahan Bakar PWR Akibat Perubahan Temperatur data Data Nuklir, Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir ke-13, Universitas Islam Negeri-Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 6 Nopember 2007.
6. ROKHMADI dan TUKIRAN, Analisis Koefisien Temperatur Fungsi Pengkayaan Uranium Perangkat Bahan Bakar PWR 1000 MWe dengan MCNP, Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir ke15, Universitas Negeri-Surakarta-Badan Tenaga Nuklir Nasional- Surakarta, 17 Oktober 2009.

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. Apa guna lubang air dan perturbing rod pada bahan bakar reaktor PWR?
(Juni Ch., PTNBR BATAN)
2. Berapa konsentrasi U pada fuel rod?
3. Apakah massa air dimodelkan konstan temperaturnya pada setiap keadaan?
(Suharyana, FMIPA UNS)

Jawaban :

1. Lubang air digunakan sebagai tabung pengarah (guide tube), sedangkan perturbing rod untuk mengendalikan reaktivitas lebih saat awal siklus
2. 2,459 %
3. Ya, pada temperatur tetap, konsentrasi boron yang diubah-ubah