

VALIDASI BATAN-2DIFF UNTUK PERHITUNGAN KRITIKALITAS DAN DISTRIBUSI PEMBANGKITAN PANAS PADA BENCHMARK REAKTOR PWR

Rokhmadi dan Tukiran S.

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) - BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. No. 80 Serpong, Tangerang Selatan 15310
e-mail: rokh_rsg@batan.go.id

ABSTRAK

VALIDASI BATAN-2DIFF UNTUK PERHITUNGAN KRITIKALITAS DAN DISTRIBUSI PEMBANGKITAN PANAS PADA BENCHMARK REAKTOR PWR. Untuk mendukung program PLTN pertama di Indonesia, perlu dipersiapkan sedini mungkin SDM BATAN yang handal terhadap teknologi PLTN khususnya untuk mengevaluasi neutronik desain reaktor daya PWR. Untuk dapat mengevaluasi neutronik desain reaktor daya PWR, dilakukan perhitungan k_{eff} dan power peacking factor (FPD) teras reaktor dengan menggunakan paket program tertentu. Paket program yang selama ini digunakan adalah LABAN-PEL. BATAN mempunyai paket program sejenis yaitu Batan-2DIFF, yang perlu dievaluasi keakurasiannya. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memvalidasi paket program Batan-2DIFF. Metode yang dilakukan dengan cara menghitung k_{eff} dan FPD teras PWR benchmark IAEA 2-D dan 4 grup KOEBERG dengan menggunakan paket program Batan-2DIFF dan membandingkan hasilnya dengan data hasil perhitungan k_{eff} dan FPD yang dihitung dengan LABAN-PEL. Reaktor IAEA 2-D dan 4 grup KOEBERG dipilih sebagai model karena memiliki data tampang lintang yang lengkap dan telah dibenchmarking dengan paket program LABAN-PEL. Hasil perhitungan k_{eff} dengan Batan-2DIFF untuk reaktor IAEA 2-D dan 4 grup KOEBERG berturut-turut adalah 1,029575 dan 1,006329. Sedangkan nilai FPD maksimum yang diperoleh untuk reaktor IAEA 2-D dan 4 grup KOEBERG berturut-turut adalah 1,4847 dan 1,2406. Nilai-nilai tersebut diatas mempunyai perbedaan yang sangat tidak signifikan bila dibandingkan dengan nilai-nilai yang dihitung menggunakan LABAN-PEL, yaitu untuk k_{eff} reaktor IAEA 2-D dan 4 grup KOEBERG masing-masing mempunyai perbedaan 0,03% dan 0,01%, sedangkan untuk FPD maksimum masing-masing mempunyai perbedaan 0,32% dan 0,19%. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa paket program Batan-2DIFF dapat digunakan untuk perhitungan teras PWR karena mempunyai keakurasian yang tinggi yaitu kesalahan kurang dari 0,4 % bila dibandingkan dengan LABAN-PEL.

Kata kunci: Benchmark 2-D IAEA, 4-Grup KOEBERG, program Batan-2DIFF, k_{eff} , FPD

ABSTRACT

VALIDATION OF BATAN-2DIFF FOR CRITICALITY AND HEAT GENERATING CALCULATION ON PWR BENCHMARK. To support the program's first nuclear power plant in Indonesia, need to be prepared as early as possible a reliable human resource BATAN for nuclear technology specially to evaluate of neutronics design of PWR power reactor. To be able to evaluate neutronik PWR power reactor design, calculation of k_{eff} and power peacking factor (PPF) of the reactor core by using a specific computer code. Computer code which has been used is LABAN-PEL. BATAN has a similar computer code that is Batan-2DIFF, which should be evaluated accuracy. This research was conducted with the aim to validate the computer code Batan-2DIFF. The method is done by calculating k_{eff} and FPD of IAEA PWR 2-D and 4 group KOEBERG benchmark core using BATAN-2DIFF code and compare the results with data k_{eff} and FPD calculating using LABAN-PEL. IAEA reactor 2-D and 4 KOEBERG group was chosen as a model because it has complete cross section data and has been benchmarking using LABAN-PEL. The results of the k_{eff} calculation using Batan-2DIFF for the reactor IAEA 2-D and 4 group neutron energy of KOEBERG reactor is 1.029575 and 1.006329 respectively. While the maximum value of FPD obtained for IAEA reactor 2-D and 4 KOEBERG group is 1.4847 and 1.2406 respectively. The values mentioned above have a very insignificant difference when compared with values calculated using the LABAN-PEL, which is to k_{eff} IAEA reactor 2-D and 4 group neutron energy of KOEBERG reactor has different 0.03% and 0.01% , while for the maximum FPD each having differences of 0.32% and 0.19%. From the results of the study concluded that the Batan-2DIFF code can be used for the calculation of PWR core because it has a high accuracy of the error is less than 0.4% when compared with the Laban-PEL.

Keywords: The 2-D IAEA benchmark, the 4-Group KOEBERG , Batan-2DIFF code, k_{eff} , FPD

1. PENDAHULUAN

Untuk persiapan menuju pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) pertama di Indonesia, pada November 2010 sebuah perusahaan yang profesional telah melakukan survei di 22 wilayah kabupaten dan kota dari tujuh provinsi di Jawa-Bali. Hasil survei menunjukkan 59,7% responden setuju PLTN, 25% responden tidak setuju PLTN dan sisanya abstain^[1]. Sedangkan survei yang dilakukan di Bangka Belitung dengan 500 responden, hasilnya 35 % responden setuju terhadap pembangunan PLTN di Bangka, 32 % responden tidak setuju dan sisanya menyatakan abstain. Dari hasil survei tersebut BATAN khususnya Pusat Teknologi Reaktor Dan Keselamatan Nuklir sesuai dengan visi dan misinya maka perlu menyiapkan sumber daya manusia (SDM) yang handal terhadap teknologi PLTN terutama untuk analisis menggunakan paket program Batan-2DIFF untuk evaluasi neutronik desain reaktor daya PWR (*Pressurized Water Reactor*). 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*) perlu dilakukan terlebih dahulu kegiatan validasi pada teras *benchmark* yang kondisi terasnya sedekat mungkin dengan kondisi reaktor daya sesungguhnya^[2]. Dalam kegiatan penelitian ini dipilih teras *benchmark* IAEA 2-D, 4-Group KOEBERG yang memiliki data tampang lintang yang lengkap serta telah di benchmarking dengan menggunakan LABAN-PEL^[2]. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk memvalidasi paket program Batan-2DIFF terhadap reaktor *benchmark* IAEA 2-D dan 4-Group KOEBERG. Metode yang dilakukan dengan cara menghitung k_{eff} dan FPD dari masing-masing reaktor menggunakan paket program Batan-2DIFF dan hasilnya dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan menggunakan paket program LABAN-PEL. Paket program LABAN-PEL adalah suatu paket program untuk menyelesaikan persamaan difusi banyak kelompok dalam geometri kartesian 2 dimensi yang diterbitkan oleh IAEA pada 17 Pebruari 1995^[3]. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian *benchmarking* reaktor PWR sebelumnya^[2].

2. TEORI

Model Matematik untuk menggambarkan populasi neutron dalam reaktor biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan transport Boltzman, integral transport dan persamaan difusi. Penyelesaian persamaan di atas menghasilkan distribusi neutron dalam reaktor yang dinyatakan dalam besaran fluks neutron. Persamaan difusi atau persamaan transport Boltzman statis sebagai berikut^[4,5]:

$$(M-F)\Phi = S \quad (1)$$

dengan:

S = Sumber

$F\Phi$ = Sumber pembelahan, F = operator pembelahan

$M\Phi$ = Bocoran dan kehilangan neutron, operator migrasi dan hilang neutron.

Untuk menentukan kritikalitas reaktor, maka ditentukan *eigen valuenya* dengan mengalikan faktor pengali λ pada operator F , sehingga persamaan (1) menjadi :

$$(M - \lambda F)\Phi = 0 \tag{2}$$

Eigen value λ akan diperoleh jika operator $(M - \lambda F)\Phi$ singular, sehingga diperoleh penyelesaian non trivial Φ . *Eigen value* dapat diinterpretasikan dengan cara mengintegrasikan persamaan (2) terhadap ruang dan energi.

$$\lambda^{-1} = \frac{\iint F\Phi dEdV}{\iint M\Phi dEdV} = k_{eff} \tag{3}$$

λ^{-1} merupakan faktor perlipatan efektif atau k_{eff} dari reaktor yang merupakan ukuran kekritisan reaktor tersebut.

2.1. Faktor Puncak Daya (FPD)

Konfigurasi teras reaktor dapat menghasilkan distribusi fluks neutron yang tidak homogen pada seluruh teras, dimana fluks neutron di beberapa tempat lebih tinggi dari nilai reratanya. Pembangkitan daya berbanding lurus dengan fluks neutron, sehingga dimana titik tertinggi fluks neutronnya maka disitu merupakan daya tertinggi. FPD adalah perbandingan antara rapat daya maksimum yang dibangkitkan oleh bahan bakar disuatu posisi dengan pembangkitan daya rerata dalam teras reaktor. FPD sebanding dengan fluks neutron. FPD terdiri dari FPD radial dan FPD aksial, dimana FPD aksial tidak homogen akibat pengaruh geometri teras dan batang kendali. Distribusi FPD radial dan aksial tersebut menimbulkan kanal panas (*hot channel*) dan titik panas (*hot spot*) di dalam teras reaktor

2.2 TERAS REAKTOR IAEA 2-D

Benchmark IAEA 2-D adalah penyederhanaan masalah Light Water Reaktor 2 group (LWR 2-G) terdiri dari dua zona teras, 177 perangkat bahan bakar homogen masing-masing dengan tebal 20 cm dan dikelilingi reflektor air setebal 20 cm. Konfigurasi $\frac{1}{4}$ teras dan data tampang lintang *benchmark* IAEA 2-D ditampilkan pada Gambar 1 dan Tabel 1^[6].

3	2	2	2	3	2	2	1	4
2	2	2	2	2	2	2	1	4
2	2	2	2	2	2	1	1	4
2	2	2	2	2	2	1	4	4
3	2	2	2	3	1	1	4	
2	2	2	2	1	1	4	4	
2	2	1	1	1	4	4		
1	1	1	4	4	4			
4	4	4	4					

Gambar 1. Konfigurasi $\frac{1}{4}$ teras *benchmark* IAEA 2-D

Tabel 1. Data tampang lintang benchmark IAEA 2-D

Zona	Group	D_g	Σ_{ag}	$\nu\Sigma_{fg}$	Σ_{sgl}
1	1	1,5	0,010120	0,0	0,0
	2	0,4	0,080032	0,135	0,02
2	1	1,5	0,010120	0,0	0,0
	2	0,4	0,085032	0,135	0,02
3	1	1,5	0,010120	0,0	0,0
	2	0,4	0,130032	0,135	0,02
4	1	2,0	0,000160	0,0	0,0
	2	0,3	0,010024	0,0	0,04

$$\chi_1=1,0, \chi_2=0,0$$

Keterangan:

- D_g = koefisien difusi
- Σ_{ag} = tampang lintang serapan grup g
- $\nu\Sigma_{fg}$ =tampang lintang produksi grup g
- Σ_{sgl} = tampang lintang hamburan grup ke satu
- χ_1 = spektrum fisi grup ke satu
- χ_2 = spektrum fisi grup ke dua

2.3 TERAS REAKTOR KOEBERG

Teras reaktor terdiri dari 157 perangkat bahan bakar homogen dengan dimensi 21,608cm×21,608 cm yang dikelilingi reflektor. Pada ¼ teras reaktor masing-masing node dibagi kedalam 4 node dengan luas 10,804cm×10,804 cm. Konfigurasi ¼ teras dan data tampang lintang 4 grup KOEBERG ditampilkan pada Gambar 2 dan Tabel 2^[6].

1	3	1	3	1	2	1	4	7
3	1	3	1	2	1	6	4	7
1	3	1	2	1	3	4	7	7
3	1	2	1	3	5	4	7	
1	2	1	3	1	4	7	7	
2	1	3	5	4	7	7		
1	6	4	4	7	7			
4	4	7	7	7				
7	7	7						

Gambar 2. Konfigurasi ¼ teras 4 grup KOEBERG

Tabel 2. Data tampang lintang 4 Grup KOEBERG

Zona	group	D_g	Σ_{ag}	$\nu\Sigma_{fg}$	Σ_{sg1}	Σ_{sg2}	Σ_{sg3}	Σ_{sg4}
1	1	2,491869	0,003654	0,008228	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	1,045224	0,002124	0,000536	0,063789	0,0	0,0	0,0
	3	0,677407	0,019908	0,007058	0,000486	0,064381	0,0	0,001245
	4	0,375191	0,067990	0,083930	0,0	0,000003	0,050849	0,0
2	1	2,492653	0,003685	0,008295	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	1,049844	0,002215	0,000713	0,063112	0,0	0,0	0,0
	3	0,676610	0,022012	0,009230	0,000478	0,063078	0,0	0,001543
	4	0,379481	0,085052	0,108244	0,0	0,000003	0,048420	0,0
3	1	2,491978	0,003684	0,008285	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	1,051910	0,002221	0,000713	0,062765	0,0	0,0	0,0
	3	0,677084	0,022403	0,009214	0,000473	0,062404	0,0	0,001598
	4	0,381453	0,088077	0,108087	0,0	0,000003	0,047549	0,0
4	1	2,492535	0,003740	0,008459	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	1,045298	0,002299	0,000923	0,063737	0,0	0,0	0,0
	3	0,674684	0,022621	0,011714	0,000486	0,064330	0,0	0,001630
	4	0,374240	0,091000	0,133600	0,0	0,000003	0,049518	0,0
5	1	2,492329	0,003730	0,008409	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	1,051953	0,002315	0,000921	0,062737	0,0	0,0	0,0
	3	0,675683	0,023822	0,011675	0,000473	0,062376	0,0	0,001797
	4	0,380606	0,100246	0,134282	0,0	0,000003	0,046859	0,0
6	1	2,491521	0,003730	0,008400	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	1,054029	0,002321	0,000921	0,062386	0,0	0,0	0,0
	3	0,676197	0,024196	0,011651	0,000468	0,061696	0,0	0,001852
	4	0,382434	0,103283	0,133974	0,0	0,000003	0,046005	0,0
7	1	2,119737	0,000466	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	0,980098	0,000263	0,0	0,042052	0,0	0,0	0,0
	3	0,531336	0,004282	0,0	0,000322	0,044589	0,0	0,000978
	4	1,058029	0,116918	0,0	0,0	0,0	0,052246	0,0

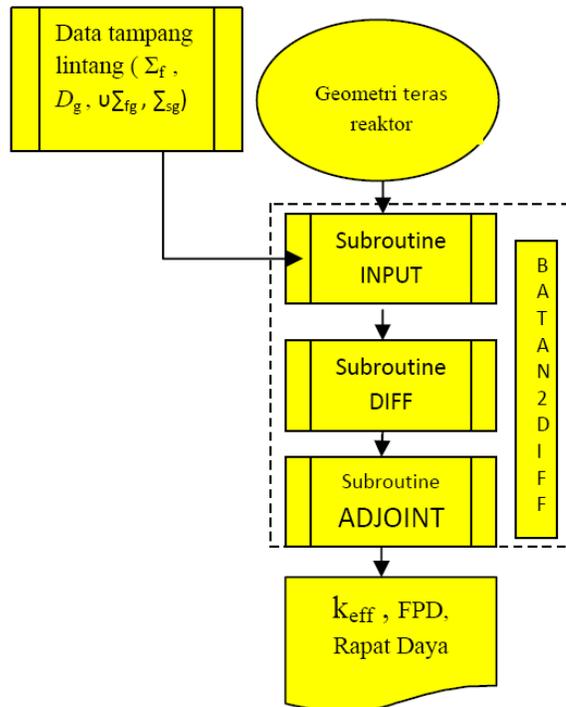
$$\chi_1=0,745248 \quad \chi_2=0,0254328 \quad \chi_3=0,000424 \quad \chi_4=0,0$$

Keterangan:

- D_g = koefisien difusi
- $\nu\Sigma_{fg}$ = tampang lintang produksi grup g
- Σ_{sg2} = tampang lintang hamburan grup ke dua
- Σ_{sg4} = tampang lintang hamburan grup ke empat
- χ_2 = spektrum fisi grup ke dua
- χ_4 = spektrum fisi grup ke empat
- Σ_{ag} = tampang lintang serapan grup g
- Σ_{sg1} = tampang lintang hamburan grup ke satu
- Σ_{sg3} = tampang lintang hamburan grup ke tiga
- χ_1 = spektrum fisi grup ke satu
- χ_3 = spektrum fisi grup ke tiga

3. METODOLOGI

Untuk memahami karakteristik teras PWR1000, maka dilakukan evaluasi desain parameter neutronik dengan melakukan perhitungan kritikalitas dan FPD. Sebagai objek teras PWR 1000 diambil teras reaktor IAEA-2D dan teras reaktor 4 group KOEBERG. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program difusi Batan-2DIFF. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan perhitungan LABAN-PEL sebagai referensi. Diagram alir perhitungan Batan-2 DIFF dapat dilihat pada Gambar 3. Dalam perhitungan ini tidak dilakukan lagi perhitungan generasi sel untuk mendapatkan konstanta tampang lintang makroskopiknya, karena data tampang lintang makroskopik dari masing-masing teras reaktor sudah tersedia seperti pada Tabel 1 dan 2. Kemudian data tersebut dimasukkan kedalam paket program Batan-2DIFF dengan membuat model geometri teras.



Gambar 3. Diagram alir perhitungan k_{eff} dan FPD menggunakan Batan-2DIFF

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil perhitungan teras IAEA 2-D

Dari hasil perhitungan menggunakan paket program difusi Batan-2DIFF untuk kasus teras *benchmark* IAEA 2-D diperoleh nilai FPD disetiap posisi perangkat bahan bakar di teras seperti ditampilkan pada Gambar 4. Nilai perhitungan Batan-2DIFF dibandingkan dengan nilai perhitungan dengan paket program LABAN-PEL menghasilkan nilai FPD yang tidak jauh berbeda. Perbedaan rerata dari kedua perhitungan tersebut dibawah 0,4%. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan FPD dengan program difusi Batan-2DIFF sudah benar. Nilai FPD dipinggir teras sangat rendah, hal ini karena daya yang dibangkitkan pada pinggir teras sangat kecil. Sedangkan ditengah teras FPD reratanya jauh lebih tinggi dari nilai FPD yang ada di pinggir teras. FPD tertinggi terletak pada posisi perangkat bahan bakar C-2 yaitu 1,4847 dan 1,4799 menurut perhitungan LABAN-PEL. Sedangkan nilai k_{eff} teras *benchmark* IAEA 2D yang dihitung dengan Batan-2DIFF adalah 1,029575. Jika dibandingkan dengan perhitungan LABAN-PEL yaitu 1,029305. Kedua nilai tersebut menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Nilai k_{eff} teras *benchmark* IAEA 2D ditampilkan pada Tabel 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0,7454	1,3159	1,4586	1,2157	0,6090	0,9365	0,9325	0,7488
	0,7456	1,3097	1,4537	1,2107	0,6100	0,9351	0,9343	0,7549
2	1,3159	1,4404	1,4847	1,3190	1,0730	1,0367	0,9482	0,7297
	1,3097	1,4351	1,4799	1,3149	1,0697	1,0361	0,9504	0,7358
3	1,4586	1,4847	1,4738	1,3486	1,1813	1,0704	0,9727	0,6845
	1,4537	1,4799	1,4694	1,3451	1,1792	1,0705	0,9752	0,6921
4	1,2157	1,3190	1,3486	1,1958	0,9694	0,9061	0,8413	
	1,2107	1,3149	1,3451	1,1929	0,9670	0,9064	0,8461	
5	0,6090	1,0730	1,1813	0,9694	0,4689	0,6855	0,5928	
	0,6100	1,0697	1,1792	0,9670	0,4706	0,6856	0,5972	
6	0,9365	1,0367	1,0704	0,9061	0,6855	0,5801		
	0,9351	1,0361	1,0705	0,9064	0,6856	0,5849		
7	0,9325	0,9482	0,9727	0,8413	0,5928			
	0,9343	0,9504	0,9752	0,8461	0,5972			
8	0,7488	0,7297	0,6845					
	0,7549	0,7358	0,6921					

Batan-2DIFF
LABAN-PEL

Gambar 4. Distribusi FPD ¼ teras IAEA 2-D

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1,0032	1,0829	1,0470	1,1680	1,1470	1,2202	0,9570	0,8058
	1,0053	1,0856	1,0440	1,1638	1,1316	1,2148	0,9595	0,8334
2	1,0770	1,0470	1,1680	1,1080	1,2330	1,0625	1,0441	0,6453
	1,0856	1,0259	1,1303	1,1051	1,2430	1,0616	1,0424	0,6426
3	1,0502	1,1480	1,0770	1,2470	1,0563	1,0391	0,9642	
	1,0440	1,1303	1,0925	1,2235	1,0579	1,0392	0,9687	
4	1,1599	1,1131	1,2301	1,0402	0,9979	0,9787	0,6512	
	1,1638	1,1051	1,2235	1,0361	0,9989	0,9815	0,6506	
5	1,1294	1,2406	1,0602	0,9971	0,7793	0,6701		
	1,1316	1,2430	1,0579	0,9989	0,7862	0,6673		
6	1,2206	1,0605	1,0384	0,9767	0,6704			
	1,2148	1,0616	1,0392	0,9815	0,6673			
7	0,9576	1,0396	0,9704	0,6602				
	0,9595	1,0424	0,9687	0,6506				
8	0,8302	0,6505						
	0,8334	0,6426						

Batan-2DIFF
LABAN-PEL

Gambar 5. Distribusi FPD ¼ teras 4 grup KOEBERG

4.2 Hasil Perhitungan teras 4 grup KOEBERG

Dari hasil perhitungan FPD dengan menggunakan program komputer Batan-2DIFF untuk teras KOEBERG diperoleh hasilnya seperti ditampilkan pada Gambar 5. Jika dibandingkan hasil perhitungan Batan-2 DIFF dengan perhitungan LABAN-PEL maka nilai FPD teras KOEBERG tidak jauh berbeda. Perbedaan rerata hasil perhitungan antara ke dua program tersebut hanya di bawah 0,2 %. Hal ini menunjukkan bahwa nilai FPD teras KOEBERG dapat dihitung dengan program Batan 2-DIFF dengan baik dan benar. Dari Gambar 5 tersebut terlihat bahwa nilai FPD tertinggi tercantum pada perangkat bahan bakar posisi B-5 yaitu 1,2406 menurut perhitungan Batan 2DIFF dan 1,2430 menurut perhitungan LABAN-PEL. Hasil ini masih jauh dari batas keselamatan yang ada yaitu 2,52^[7]. Sedangkan hasil perhitungan nilai k_{eff} yang menggambarkan kriticalitas teras KOEBERG dengan 4 goup energi neutron adalah 1,006329 menurut perhitungan Batan-2DIFF dan 1,007485 menurut perhitungan LABAN-PEL. Hasil ini ada perbedaan namun masih dibawah 0,2%.

Tabel 3. Hasil perhitungan nilai k_{eff} dan FPD

Reaktor	k_{eff}		FPD maksimum	
	Batan-2DIFF	LABAN-PEL	Batan-2DIFF	LABAN-PEL
IAEA 2-D	1,029575	1,029305	1,4847	1,4799
KOEBERG	1,006329	1,007485	1,2406	1,2430

Secara umum hasil perhitungan k_{eff} dan FPD menggunakan Batan-2DIFF untuk masing-masing reaktor *benchmark* ditampilkan pada Tabel 3. Hasil k_{eff} reaktor benchmark IAEA-2D dan reaktor 4 grup KOEBERG dengan menggunakan paket program Batan-2DIFF jika dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan paket program LABAN-PEL masing-masing menunjukkan tidak jauh berbeda yaitu 0,03% untuk reaktor benchmark IAEA 2-D dan 0,01% untuk reaktor benchmark 4 grup KOEBERG, sedangkan untuk FPD maksimum masing-masing mempunyai perbedaan 0,32% dan 0,19%.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa program difusi neutron Batan-2DIFF bisa digunakan untuk melakukan perhitungan teras PWR dengan akurat karena hanya mempunyai kesalahan kurang dari 0,4% jika dibandingkan dengan program sejenis LABAN-PEL. Namun program ini juga masih ada kekurangan yaitu tentang pustaka tampang lintang makroskopiknya. Jika pustaka tampang lintang makroskopiknya sudah tersedia maka perhitungan teras dapat dilakukan dengan baik tetapi jika tampang lintang makroskopik teras belum ada maka harus digenerasi dengan menggunakan program WIMS atau yang lainnya.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Adalah Ir. Tagor Malem Sembiring sehingga penelitian ini dapat diselesaikan terutama dengan penggunaan paket program Batan-2DIFF. Juga disampaikan terima kasih kepada Ka. BFTR-PTRKN yang telah memfasilitasi penelitian ini hingga publikasi.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. <http://sains.kompas.com/read/2011/07/06/15255144/Batan.Fokuskan.PLTN.di.Bangka.Barat>
- [2]. ROKHMADI dan SEMBIRING, T.M., "Validasi Perhitungan Kritikalitas MCNP4C-2 Pada Teras Benchmark Kisi Bahan Bakar PWR Dengan Lubang Air dan Perturbating Rod", Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir ke16, Institut Teknologi Surabaya-Badan Tenaga Nuklir Nasional, Surabaya 17 Mei 2010.
- [3]. www.oecd.nea.org/tools/abstract/detail/iaea1232/
- [4]. JEREMY A. ROBERT dan BENOIT FORGET, "Solving Eigenvalue Response Matrix Equations With Jacobian-Free Newton-Krylov Methods", International conference on Mathematics and Computational Method Applied to Nuclear Science and Engineering (M & C 2011), Rio de Janeiro, RJ Brazil, May 8-12, 2011.

- [5]. COSSA, G. GIUSTI. V and MONTAGNINI, B., “A Boundary Element Response Matrix Method for Criticality Diffusion Problems in xyz geometry”, Annals of Nuclear Energy, 37 (2010), pp. 953-973.
- [6]. MULLER, E.Z. dan WEISS, Z.J., “Benchmarking With The Multigroup Diffusion High-Order Response Matrix Method, Ann.nucl.Energy, Vol. 18, No.9, pp. 535-544, 1991.
- [7]. Zhang, Liang, “Evaluation of High Power density Annular Fuel Application in the KOREA OPR-1000 Reactor”, Master Thesis, MIT USA, 2009.

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: (Suratman, Guru SMAN 1, Sedayu Bantul)

- Hasil penelitian mempunyai nilai akurasi 0,4% adalah nilai yang tinggi sudahkah hasil-hasil itu dimanfaatkan untuk kehidupan sosial khususnya di bidang kehidupan?.
- Alasan apa bahwa hasil penelitian harus divalidasi kalau-kalau hasil itu tidak ada tindak lanjut tentang fungsi dan manfaat bagi kehidupan?

JAWABAN: (Rokhmadi, PTRKN-BATAN)

- Dalam perhitungan keselamatan teras reaktor nilai itu bisa terjadi, karena parameter keselamatan fisika teras reaktor sangat sensitif terhadap perubahan fisis.
- Validasi perlu dilakukan untuk menjamin suatu paket program komputer (BATAN-2DIFF) adalah andal dan akurat. Tindak lanjutnya paket program komputer BATAN-2DIFF bisa digunakan untuk perhitungan teras PLTN.

2. PERTANYAAN: (Ign. Djoko Irianto, PTRKN-BATAN)

- Jelaskan parameter apa saja yang digunakan untuk memvalidasi BATAN-2DIFF dalam benchmark PWR?.

JAWABAN: (Rokhmadi, PTRKN-BATAN)

- Parameter yang digunakan:
 - tampang lintang,
 - daya reaktor,
 - geometri.