

ANALISIS PARAMETER NEUTRONIK DALAM DESAIN TERAS PLTN TIPE PWR 1000 MWe DENGAN METODE TRANSPORT DAN DIFUSI NEUTRON

Lily Suparlina dan Jati Susilo

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310
Email : lilyrsg@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS PARAMETER NEUTRONIK DALAM DESAIN TERAS PLTN TIPE PWR 1000 MWe DENGAN METODE TRANSPORT DAN DIFUSI NEUTRON. PWR 1000 MWe adalah salah satu jenis reaktor yang digunakan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Jenis reaktor ini menggunakan air ringan (H_2O) sebagai pendingin dan moderator yang dipertahankan dalam fase cair dengan cara memberi tekanan. Dalam mendesain suatu reaktor, diperlukan batasan keselamatan dalam mengoperasikan reaktor. Salah satu batasan keselamatan yang perlu diperhatikan adalah parameter neutronik yang merupakan besaran yang menunjukkan karakteristik neutron di dalam teras reaktor. Dalam penelitian ini telah dilakukan perhitungan kritikalitas teras dan distribusi faktor puncak daya reaktor termal tipe PWR berbahan bakar UO_2 dengan daya 1000 MWe. Pemodelan dilakukan pada perangkat bahan bakar teras PWR dengan kisi 17×17 . Perhitungan fraksi bakar dilakukan untuk jenis bahan bakar UO_2 dengan pengkayaan 3,4 % w/t U-235 menggunakan paket program SRAC-ASMBURN dengan daftar pustaka tampang lintang JENDL-3.2. Satu perangkat bahan bakar terdiri dari 264 batang bahan bakar. Model $\frac{1}{4}$ teras digunakan dalam perhitungan teras dengan menyelesaikan persamaan transport (SRAC-ASMBURN) dan difusi neutron 2 dimensi (SRAC-CITATION). Perbedaan hasil perhitungan SRAC-ASMBURN dan SRAC-CITATION menunjukkan untuk nilai k_{eff} adalah 0,260% lebih kecil, reaktivitas lebih teras di awal siklus 1,125% lebih kecil sedang nilai faktor puncak daya (fpd) maksimum adalah 14,42% lebih besar. Dari hasil analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa paket program SRAC-ASMBURN yang berdasarkan pada persamaan transport menghasilkan nilai yang lebih kecil dibanding dengan paket program SRAC-CITATION yang berdasarkan pada persamaan difusi untuk nilai k_{eff} dan lebih besar untuk nilai faktor puncak daya.

Kata kunci : PWR, SRAC- ASMBURN, SRAC- CITATION, transport, difusi, reaktivitas, faktor puncak daya

ABSTRACT

ANALYSIS OF NEUTRONICS PARAMETER IN NPP PWR-1000 MWe TYPE DESIGN USING TRANSPORT AND DIFFUSION METHODS. PWR 1000 MWe is one of reactor types that is used in Nuclear Power Plant. Light water (H_2O) is used as coolant and moderator in PWR kept in liquid phase by giving pressure. In reactor design, safety criteria are needed for reactor operation. One of the safety criteria that is important to consider is the parameter of neutron characteristics in reactor core. In current study, core criticality and power distribution calculations of PWR thermal reactor type with UO_2 fuel of 1000Mwe were carried out. PWR fuel assembly is modeled for 17×17 . JENDL-3.2 microscopic library and used in a burn up calculation for UO_2 fuel type with 3,4 wt% low enrichment using SRAC-ASMBURN. One fuel assembly consists of 264 fuel rods. A $\frac{1}{4}$ modeling core is used in core calculation using transport equation code (SRAC-ASMBURN) and 2 dimension diffusion code (SRAC-CITATION). The SRAC-ASMBURN and SRAC-CITATION calculation results show that the difference of k_{eff} values is 0,260% or less, the excess reactivity of beginning of cycle (BOC) is 1,125% or less, while the maximum power peaking factor (PPF) is 14,42% or greater. From the analysis it is concluded that the SRAC-ASMBURN code program based on the transport equation produces a smaller amount compared with SRAC-CITATION code program based on the diffusion equation for k_{eff} and greater value for peak power factor value.

Keywords : PWR, SRAC-ASMBURN, SRAC-CITATION, transport, diffusion reactivity, power peaking factor

PENDAHULUAN

Dalam rangka untuk mendukung penggunaan PLTN sebagai salah satu instalasi pembangkit listrik di Indonesia, maka dilakukan penelitian awal tentang karakteristik neutronik teras reaktor

PLTN. Salah satu jenis PLTN yang banyak digunakan di dunia ialah tipe Reaktor Air Tekan/Pressured Water Reactor (PWR). PWR merupakan jenis reaktor nuklir yang menggunakan air ringan (H_2O) sebagai pendingin dan moderator.

Bahan bakar yang digunakan adalah jenis uranium oksida (UO₂) pengayaan rendah [1]. Teras reaktor tersusun dari beberapa perangkat bahan bakar yang diatur sedemikian rupa, moderator dan pendingin dan dikelilingi oleh reflektor dan bejana tekan sebagai pengungkung. 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.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap perhitungan reaktivitas teras dan faktor puncak daya di teras reaktor. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui besarnya reaktivitas lebih dan distribusi daya di teras reaktor, dengan demikian akan dapat diketahui besarnya pembangkitan panas maksimum di teras reaktor. Pada makalah ini, digunakan salah satu tipe PWR 1000 MWe yang menggunakan bahan bakar UO₂ dengan pengkayaan 3,4 wt%. Perangkat bahan bakar tersusun dari beberapa batang bahan bakar yang membentuk konfigurasi 17 x 17 dengan 3 siklus operasi. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan dua paket program yaitu SRAC modul ASMBURN yang menggunakan metode transport dan SRAC modul CITATION yang menggunakan metode difusi [2]. Validasi paket program SRAC modul ASMBURN telah dilakukan terhadap teras ke-45 RSG-GAS secara 2-dimensi untuk perhitungan nilai reaktivitas lebih dan distribusi fraksi bakar bahan bakar sebagai fungsi panjang siklus operasi reaktor [3], sedangkan pada modul CITATION telah dilakukan validasi dengan data pengukuran teras ke-1 reaktor RSG-GAS secara 3-dimensi dalam perhitungan reaktivitas lebih teras dan posisi batang kendali saat kekritisan.[4]. Perhitungan data tampang lintang makroskopik yang digunakan dalam perhitungan perangkat bahan bakar dilakukan dengan menggunakan paket program SRAC modul PIJ pustaka tampang lintang yang digunakan adalah JENDL 3-2.

TEORI

Komponen utama dari kebanyakan model perhitungan reaktor nuklir adalah sekelompok modul perhitungan untuk menganalisis sifat neutronik teras reaktor secara statis. Perhitungan statis yang digunakan biasanya berdasarkan pemecahan persamaan transport dan difusi banyak kelompok untuk harga k_{eff} dan fluks neutron, yang selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan besarnya distribusi daya [5].

Persamaan Transport Neutron

Jumlah neutron di dalam volume sembarang V, yang memiliki energi antara E sampai E + dE,

dan arah gerak dari $\hat{\Omega}$ sampai $\hat{\Omega} + d\hat{\Omega}$ dapat dinyatakan oleh persamaan berikut [4]:

$$\text{Jumlah neutron} = \left[\int_V n(\vec{r}, E, \hat{\Omega}, t) d^3r \right] dE d\hat{\Omega} \quad (1)$$

Laju perubahan jumlah neutron terhadap waktu dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\int_V n(\vec{r}, E, \hat{\Omega}, t) d^3r \right] dE d\hat{\Omega} = \left[\int_V \frac{\partial n}{\partial t} d^3r \right] dE d\hat{\Omega} \quad (2)$$

Persamaan transport neutron (2) adalah persamaan yang relatif sulit untuk dicari solusinya, karenanya pada bagian ini akan digunakan beberapa penyederhanaan dan juga aproksimasi difusi untuk mencari solusi bagi persamaan transport neutron. Salah satu paket program komputer yang berbasis persamaan transport neutron tersebut adalah SRAC-ASMBURN.

Persamaan Difusi Neutron

Penyederhanaan selanjutnya adalah dengan menggunakan asumsi-asumsi berikut :

- Seluruh neutron memiliki kecepatan (energi) yang sama (*satu kecepatan*)
- Sumber (*source*) bersifat isotropik
- Interaksi hamburan (*scattering*) bersifat isotropic

Dengan demikian persamaan difusi neutron dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial \phi_g(\vec{r}, t)}{\partial t} - \vec{\nabla} \cdot D_g(\vec{r}) \vec{\nabla} \phi_g(\vec{r}, t) + \Sigma_{ag}(\vec{r}) \phi_g(\vec{r}, t) = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{w'g}(\vec{r}) \phi_{g'}(\vec{r}, t) + \frac{\chi_{gg}}{k_{eff}} \sum_{g'=1}^G v_{g'} \Sigma_{fg'}(\vec{r}) \phi_{g'}(\vec{r}, t) \quad (3)$$

- dengan cross section total :
- $\Sigma_{ag}(\vec{r}) + \Sigma_{sg}(\vec{r}) = \Sigma_{tg}(\vec{r})$
- Persamaan (3) diatas adalah *persamaan difusi multigrup* [4]. Dengan menggunakan persamaan ini, maka hasil perhitungan yang diperoleh akan menjadi lebih realistis dan akurat, karena variabel energi juga telah terakomodasi. Salah satu paket program komputer yang berbasis persamaan difusi neutron tersebut adalah SRAC-CITATION.

Teori Kekritisan

Di dalam teras reaktor terjadi reaksi berantai yang mengakibatkan dihasilkannya/hilangnya neutron dalam jumlah tertentu. Secara umum perubahan neutron akibat reaksi berantai dapat dirumuskan dengan apa yang disebut dengan faktor perlipatan (k). Harga faktor perlipatan tersebut dapat digunakan sebagai parameter suatu teras reaktor apakah dalam keadaan subkritik, kritis

atau superkritis. Untuk teras reaktor dengan batasan yang tak berhingga perubahan jumlah neutron akibat reaksi berantai ditunjukkan dengan faktor perlipatan tak terhingga (k_{∞}). Harga faktor perlipatan tak terhingga secara umum dapat ditunjukkan dengan rumus sebagai berikut^[2].

$$k_{\infty} = \eta_T \cdot f \cdot p \cdot \varepsilon \quad (4)$$

disini,

k_{∞} : faktor perlipatan tak terhingga,

η_T : rasio regenerasi neutron,

f : faktor guna neutron thermal,

p : keboleh jadian bebas resonansi,

ε : faktor fisi neutron cepat.

Sedangkan untuk teras reaktor yang mempunyai batasan-batasan tertentu, nilai kekritisian ditunjukkan dengan faktor perlipatan efektif (k_{eff}) seperti ditunjukkan dengan rumus dibawah ini.

$$k_{eff} = k_{\infty} \cdot P_T \cdot P_F \quad (5)$$

dengan P_T dan P_F adalah ketidak bocoran neutron thermal (%) dan ketidak bocoran neutron cepat (%). Sedangkan $P_T P_F$ adalah suatu besaran yang menunjukkan ketidak bocoran neutron keluar teras reaktor yang biasanya kurang dari 100%. Agar suatu teras dapat dikatakan kritis maka syarat yang harus dipenuhi adalah jika harga faktor perlipatan efektif tersebut harus sama dengan satu ($k_{eff}=1$).

Distribusi Daya

Komponen utama dari kebanyakan model perhitungan reaktor nuklir mengandung modul perhitungan untuk menganalisis sifat neutronik secara statis. Perhitungan statistik pada umumnya berdasarkan pada pemecahan persamaan difusi banyak kelompok untuk mendapatkan harga faktor multiplikasi k_{eff} dan fluks neutron yang menggambarkan distribusi daya di teras reaktor. Perhitungan distribusi daya reaktor ini dapat dilakukan dengan menghitung laju fisi lokal dengan persamaan sebagai berikut :

$$q'''(r) = \sum_i w_i^{(r)} N_i(r) \int_0^{\infty} dE \sigma \quad (6)$$

METODOLOGI

Untuk memperoleh parameter neutronik yaitu reaktivitas teras dan faktor puncak daya, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan sel bahan bakar dengan modul PIJ dan perhitungan perangkat bahan bakar dengan modul ASMBURN dan CITATION [5]. Perhitungan kisi sel bahan bakar dilakukan untuk memperoleh tabel tampang lintang terhadap fungsi waktu pembakaran. Dari

hasil penelitian terdahulu [6], maka untuk reaktor PWR ini digunakan fraksi bakar awal sebesar 0 GWd/t, 10,333 GWd/t dan 20,667 GWd/t [6]. Data fisik teras PWR yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data teras PLTN PWR 1000 Mwe

Jenis	Parameter	Unit	Nilai
Teras reaktor	Daya panas	MW _{th}	3411
	Tinggi aktif	m	3,66
	Diameter	m	3,37
	Jumlah perangkat	-	193
Bahan bakar	Material	-	UO ₂
	Pengkayaan	wt%	3,4
	Densitas	% TD	95
	Diameter pellet	mm	8,19
	Jarak bahan bakar	mm	12,6
	Energi bakar akhir	GWd/t	31
Rata-rata daya linier	kW/m	17,9	
Kelongsong Bahan bakar	Material	-	Zr-4
	Diameter luar	mm	9,5
	Ketebalan	mm	0,57
Perangkat bahan bakar	Bentuk	-	17×17
	Jml. bahan bakar	-	264
	Jml. tabung pengarah	-	25

Objek perhitungan dalam penelitian ini adalah data umum dari teras PLTN tipe PWR kelas daya 1000 Mwe. Reaktor tersebut menggunakan bahan bakar UO₂ dengan pengkayaan uranium-235 sebesar 3,4 wt% dan daya panas yang dihasilkan sebesar 3411 MWth atau sekitar 1160 – 1180 MWe. Jumlah perangkat bahan bakar di dalam teras adalah 193 unit.

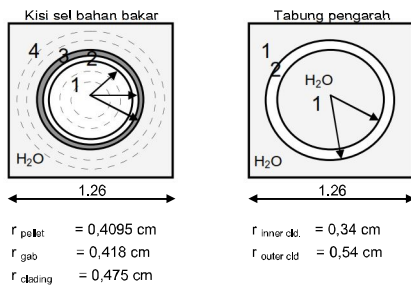
Perhitungan sel dan perangkat bahan bakar PWR

Pada Tabel 1 dapat dilihat ukuran dan bentuk geometri kisi sel bahan bakar, tabung pengarah, perangkat bahan bakar dan teras reaktor tersebut. Sebelum perhitungan nilai reaktivitas lebih teras PWR, maka dilakukan terlebih dahulu pemodelan kisi sel bahan bakar, perangkat bahan bakar dan teras reaktor yang akan dijelaskan sebagai berikut ini.

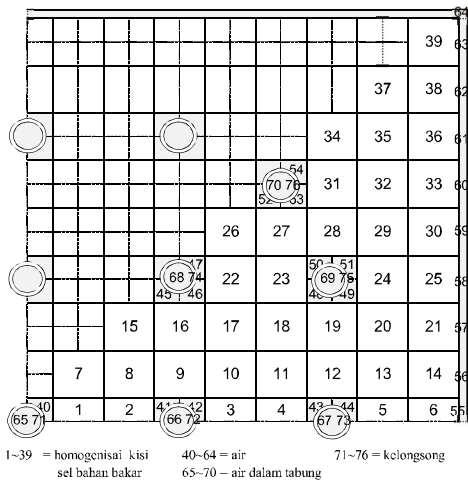
Pemodelan satu unit kisi sel dan tabung pengarah penyusun perangkat bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 1. Material kisi sel bahan bakar tersusun dari bahan bakar UO₂ pengkayaan 3,4 wt%, kelongsong Zr-4 dan moderator H₂O. Pada moderator H₂O dilakukan penambahan larutan asam borat [B(OH)₃] dengan konsentrasi boron sebesar 0 ppm ~ ±1700 ppm. Untuk kondisi dingin (normal), suhu bahan bakar, kelongsong dan moderator adalah 300°K,

sedangkan untuk kondisi panas (saat operasi), suhu masing-masing bahan bakar, kelongsong dan moderator berturut-turut 900°K, 600°K dan 600°K.

Dalam model perhitungan, kisi sel bahan bakar dibagi menjadi 8 daerah yang terdiri dari 3 daerah bahan bakardengan nomor 1, 1 daerah void berisi udaradengan nomor 2, 1 daerah kelongsong dengan nomor 3 dan bagian terluar 3 daerah moderator dengan nomor 4. Kisi sel tabung pengarah terbuat dari material Zr-4 dimana bagian dalam dan luarnya berupa air ringan (H₂O) dengan konsentrasi boron juga sebesar 0 ppm



Gambar 1. Pemodelan Kisi Sel Bahan Bakar dan Tabung Pengarah

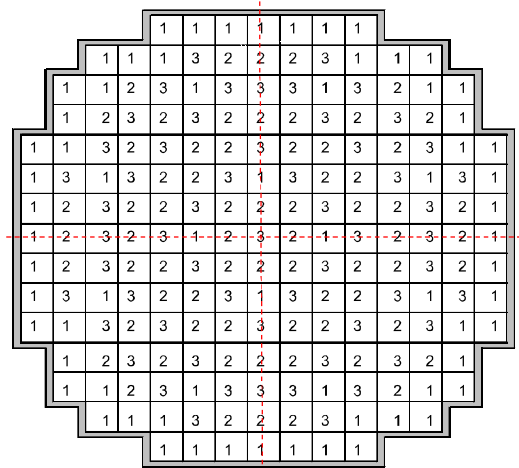


Gambar 2. Pemodelan ¼ Perangkat Bahan Bakar Secara Semi Homogen

Perangkat bahan bakar PWR tersusun dari 17x17 grid yang terdiri dari 264 batang bahan bakar dan 25 tabung pengarah. Tabung pengarah tersebut digunakan sebagai tempat alat instrumentasi, batang kendali atau *plug*. Bentuk perangkat bahan bakar PWR berupa persegi simetris 90° dengan ukuran 21,42 cm x 21,42 cm. Posisi *pin rod* setiap ¼ perangkat bahan bakar membentuk sudut simetris 45°. Pemodelan ¼ perangkat bahan bakar PWR secara homogen dapat dilihat pada Gambar 2.

Perhitungan Teras Reaktor PWR

Gambar 3 menunjukkan distribusi kelompok fraksi bakar perangkat bahan bakar di dalam teras reaktor PLTN-PWR. Jumlah total perangkat bahan bakar yang berada di dalam teras adalah 193 unit. Perangkat bahan bakar dibagi kedalam 3 kelas fraksi bakar yaitu kelas 1, 2 dan 3, masing-masing dengan jumlah 68, 68 dan 57 unit. Karena rata-rata fraksi bakar buang perangkat bahan bakar adalah 31 GWd/t, maka untuk teras reaktor PWR berbahan bakar UO₂ pengkayaan 3,4 wt% tersebut, masing-masing kelas fraksi bakar perangkat bahan bakar diasumsikan mempunyai fraksi bakar awal sebesar 0 GWd/t, 10,333 GWd/t dan 20,667 GWd/t. Selain bahan bakar, teras reaktor juga tersusun dari bejana reaktor, *barrel* reaktor, *reflector baffle* dan moderator. Perhitungan teras yang dilakukan dalam geometri 2 dimensi dan karena bentuk teras reaktor simetris maka model perhitungan dilakukan hanya ¼ dari bagian yang ada.



Gambar 3. Pembagian kelompok fraksi bakar di dalam teras PLTN-PWR

Perhitungan Reaktivitas Teras.

Perhitungan k_{eff} teras, perhitungan nilai reaktivitas lebih dan faktor puncak daya dilakukan melalui persamaan berikut ini.

$$\rho = \frac{(k_{\text{eff}} - 1)}{k_{\text{eff}}} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

Sebelum melakukan perhitungan k_{eff} tersebut, maka dilakukan perhitungan kisi sel bahan bakar dan tabung pengarah dengan paket program PIJ untuk mendapatkan tabel tampang lintang makroskopik detail 107 kelompok energi.

Kemudian dilakukan perhitungan tampang lintang makroskopik perangkat bahan bakar dengan mengkonsdensasi 107 kelompok energi menjadi 10 kelompok energi menggunakan paket program SRAC modul ASMBURN. Selanjutnya dilakukan perhitungan teras 2 dimensi dengan paket program SRAC modul ASMBURN untuk mendapatkan nilai faktor multiplikasi efektif (k_{eff}). Data pustaka tampang lintang yang digunakan dalam perhitungan di atas adalah JENDL-3.2. Perhitungan reaktivitas lebih dilakukan terhadap kondisi teras PWR berikut ini :

Distribusi Daya

Komponen utama dari kebanyakan model perhitungan reaktor nuklir mengandung modul perhitungan untuk menganalisis sifat neutronik secara statis. Perhitungan statistik pada umumnya berdasarkan pada pemecahan persamaan difusi banyak kelompok untuk mendapatkan harga faktor multiplikasi k_{eff} dan fluks neutron yang menggambarkan distribusi daya di teras reaktor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan sel dengan SRAC PIJ menghasilkan data nuklida untuk setiap fraksi bakar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2, untuk bahan bakar segar, kandungan nuklida hanya uranium yang ada adalah U-235 dan U-238. Pada bahan bakar yang sudah terbakar, selain U-235 dan U-238, terdapat juga nuklida lain seperti U-234, U-236, U-237, Np, Pu dan lainnya.

Tabel 2. Data Densitas Nuklida Berat Bahan Bakar PWR (atom. $10^{23}/cm^3$)

	Kisi Sel 1 0 GWd/t	Kisi Sel 2 10,33 GWd/t	Kisi Sel 3 2,067 GWd/t
U-234	-	1,55339E-08	2,87008E-08
U-235	8,00235E-04	5,60290E-04	3,87235E-04
U-236	-	4,21294E-05	7,05832E-05
U-237	-	1,07160E-07	1,76307E-07
U-238	2,24490E-02	2,22888E-02	2,21085E-02
Np-237	-	1,64649E-06	4,91660E-06
Np-239	-	1,80564E-06	2,02818E-06
Pu-238	-	1,49155E-07	9,27074E-07
Pu-239	-	8,39156E-05	1,21216E-04
Pu-240	-	1,31895E-05	3,10507E-05
Pu-241	-	6,11978E-06	1,98481E-05
Pu-242	-	4,73899E-07	3,45477E-06

Data tampang lintang makroskopik yang dihasilkan dari perhitungan sel tersebut, digunakan sebagai masukan dalam perhitungan sel perangkat bahan bakar dengan konfigurasi 17 x 17 dan menghasilkan data tampang lintang makroskopik untuk satu perangkat bahan bakar.

Perhitungan teras dengan model 1/4 teras dilakukan dengan dua macam perhitungan teras yaitu SRAC-ASMBURN yang menggunakan persamaan transport neutron dan SRAC-CITATION yang menggunakan persamaan difusi neutron, menghasilkan nilai k_{eff} . Dari nilai k_{eff} ini dapat diketahui besarnya nilai reaktivitas teras dengan menggunakan persamaan kritikalitas yang ditunjukkan pada persamaan (7). Faktor multiplikasi hasil ketiga perhitungan yaitu perhitungan sel bahan bakar, perangkat bahan bakar dan teras PWR ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor Multiplikasi bahan bakar dan Teras PWR 1000 MWe

PWR	Faktor Multiplikasi
Kisi Sel 1	1,34212
Kisi Sel 2	1,25646
Kisi Sel 3	1,19193
Perangkat bahan bakar 1	1,38301
Perangkat bahan bakar 2	1,30247
Perangkat bahan bakar 3	1,23970
Teras SRAC-ASMBURN	1,23576
Teras SRAC-CITATION	1,23249

Dari data faktor multiplikasi untuk teras PWR seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, dapat diketahui besarnya nilai reaktivitas lebih teras seperti yang tertera di Tabel 4 dan distribusi daya di teras reaktor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Tabel 4 menunjukkan nilai reaktivitas lebih teras dan faktor puncak daya maksimum untuk teras PWR dengan perangkat bahan bakar 17 x 17 dan model teras 15 x 15 yang terbagi dalam 3 kelas fraksi bakar.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Teras PWR-1000 MWe dengan paket program SRAC-ASMBURN dan SRAC-CITATION

	k_{eff}	Reaktivitas lebih (%) $\Delta k/k$	FPD maksimum
SRAC-ASMBURN	1,23576	18,86	1,78
SRAC-CITATION	1,23249	18,95	2,08
Perbandingan (%)	0,26	1,125	14,42

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan SRAC-ASMBURN lebih kecil dibanding SRAC-CITATION dengan perbedaan 0,26 % untuk k_{eff} , 1,125 % untuk nilai reaktivitas lebih, sedangkan untuk faktor puncak daya maksimum lebih besar 14,42 %.

Perbedaan ini disebabkan karena SRAC-CITATION melakukan perhitungan lebih sederhana dengan daerah fluks rata sedangkan SRAC-ASMBURN melakukan perhitungan paralel untuk setiap posisi.

1,68 1,84	1,78 2,01	1,78 2,08	1,42 1,45	1,61 1,29	1,01 0,92	0,85 0,78	0,62 0,51
1,78 2,01	1,73 1,92	1,53 1,61	1,48 1,52	1,29 1,27	1,00 0,93	0,83 0,76	0,61 0,49
1,78 2,08	1,53 1,61	1,54 1,59	1,39 1,40	1,14 1,09	1,08 1,11	0,74 0,69	0,56 0,45
1,42 1,45	1,48 1,53	1,39 1,40	1,18 1,11	1,09 1,04	0,85 0,82	0,73 0,73	0,48 0,37
1,31 1,29	1,29 1,28	1,14 1,10	1,09 1,04	0,87 0,82	0,76 0,76	0,58 0,55	
1,01 0,92	1,00 0,93	0,63 0,67	0,85 0,82	0,75 0,76	1,07 1,11	0,43 0,36	
0,85 0,78	0,83 0,77	0,74 0,69	0,73 0,74	0,57 0,59	0,40 0,37		
0,62 0,51	0,61 0,50	0,57 0,45	0,48 0,39				

Gambar 4. Distribusi Faktor Puncak Daya Teras PWR 1000 MWe dengan SRAC-ASMBURN dan SRAC-CITATION

Pada Gambar 4 terlihat bahwa, nilai faktor puncak daya dipengaruhi oleh posisi di teras baik untuk hasil perhitungan SRAC-ASMBURN maupun SRAC-CITATION, semakin mendekati pusat teras, faktor puncak daya semakin tinggi. Hal ini disebabkan, karena populasi neutron di pusat teras lebih banyak dari posisi teras bagian luar. Hal ini dikarenakan terjadinya reaksi fisi dalam teras reaktor yang mendekati pusat teras, masuknya neutron yang berasal dari luas teras melalui permukaan dan melingkungi volume teras, terjadinya serapan hamburan neutron serta kebocoran neutron yang keluar dari teras.

Secara keseluruhan, faktor puncak daya hasil perhitungan dengan metode difusi yaitu SRAC-CITATION lebih tinggi dibanding hasil perhitungan dengan metode transport SRAC-ASMBURN. Ini disebabkan karena persamaan transport merupakan persamaan yang kompleks, sedangkan persamaan difusi merupakan penyederhanaan dari persamaan transport.

Dari distribusi daya ini dapat ditentukan besarnya faktor puncak daya maksimum dan posisinya di teras reaktor.

KESIMPULAN

Hasil perhitungan SRAC-ASMBURN dan SRAC-CITATION menunjukkan bahwa harga reaktivitas lebih teras di awal siklus masing-masing adalah 18,86% dan 18,95% dan nilai faktor puncak daya (fpd) maksimum adalah 1,78 dan 2,08. Sehingga dari hasil analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa perbedaan hasil perhitungan SRAC-ASMBURN dan SRAC-CITATION menunjukkan untuk nilai faktor multiplikasi (k_{eff})

adalah 0,26% lebih kecil, reaktivitas lebih teras di awal siklus 1,125% lebih kecil sedang nilai faktor puncak daya (FPD) maksimum adalah 14,42% lebih besar. Untuk itu dalam perhitungan parameter tertentu seperti FPD perlu dipertimbangkan faktor koreksi yang disebabkan oleh pemilihan metode perhitungan yang digunakan oleh paket program komputer.

DAFTAR PUSTAKA

1. TJIPTA SUHAEMI, "Evolusi Teknologi PLTN CANDU (Canadian Deuterium Uranium) dan Prospeknya di Indonesia" Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Fiska Nuklir, Batan Serpong, 5 November 2007
2. KEISUKE OKUMURA, et L, Manual book "SRAC : The Comprehensive Neutronics Calculation Code System" Departement of Nuclear Energy System, JAERI , Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan
3. JATI SUSILO, M. IMRON, "Evaluasi Kekritisn dan Fraksi Bakar Teras Silisida 2,96 gU/cc RSG-GAS dengan SRAC-ASMBURN" Majalah Batan volume XXXVI, No ½ Januari/April 2003
4. JAMES J DUDERSTDT; "Nuclear Reactor Analysis" JOHN WILEY 7 SONS, New Yprk 1975
5. JATI SUSILO, SURIAN PINEM; "Analisis Akurasi Perhitungan Reaktivitas Menggunakan Program SRAC-CITATION, Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir TRI DASA MEGA Volume 8, Nomor 2, Juni 2006
6. JATI SUSILO, TUKIRAN SURBAKTI, IMAN KUNTORO ; "Analisis Distribusi Fraksi Bakar Teras PLTN PWR 1000 MWe berbahan bakar UO₂ 3,5 wt%. Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, Surakarta 2007.

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

Kenapa hasil perhitungan tidak dibandingkan dengan hasil perhitungan yang dilakukan oleh desainer?

(Surian Pinem, PTRKN BATAN)

Jawaban :

Data hasil perhitungan dari desainer tidak ada, sehingga tidak dilakukan perbandingan.

ANALISIS HOMOGENITAS DISTRIBUSI BERKAS NEUTRON DAN FAKTOR KOREKSI AKIBAT EFEK *DEFOCUSING* DENGAN METODE DIFRAKSI NEUTRON

Tri Hardi Priyanto dan Refai Muslih

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan
Email : thardi@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS HOMOGENITAS DISTRIBUSI BERKAS NEUTRON DAN FAKTOR KOREKSI AKIBAT EFEK DEFOKUSING DENGAN METODE DIFRAKSI NEUTRON. Difraktometer neutron merupakan salah satu fasilitas penelitian yang menggunakan berkas neutron dari reaktor. Sumber neutron dihasilkan oleh reaktor RSG-GAS. Salah satu difraktometer neutron tersebut adalah difraktometer tekstur yang digunakan untuk penelitian tekstur bahan. Homogenitas distribusi fluks neutron di posisi cuplikan sangat penting karena menentukan kualitas data tekstur. Hasil eksperimen menunjukkan terdapat ketidakhomogenan berkas neutron. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh letak titik fokus bent Si(311) yang tidak tepat di pusat beam slit. Dalam penelitian ini dilakukan analisis homogenitas fluks neutron secara kualitatif dan kuantitatif. Secara kualitatif dilakukan dengan melihat *image* dari berkas neutron yang dideteksi oleh film polaroid FP3000B. Ini menunjukkan bahwa distribusi tidak homogen. Intensitas terendah ditunjukkan pada sudut $\chi > 70^\circ$. Secara kuantitatif dilakukan dengan cuplikan vanadium dengan scanning sudut 2θ dari -1° sampai 1° . $\Delta 2\theta = 0,1$. Hasil menunjukkan bahwa intensitas latar belakang meningkat mulai sudut $\chi > 70^\circ$. Pola difraksi neutron dari cuplikan standar nikel dianalisis dengan perangkat lunak MAUD. Panjang gelombang terkalibrasi telah diperoleh sebesar $\lambda_n = 1,2793 \text{ \AA}$. Dari hasil *refinement* diperoleh $R_{wp} = 20,416\%$, $R_{wpb} = 18,476\%$, $\sigma = 1,032$. Selanjutnya tiga puncak Bragg peak pertama (111), (200) dan (220) dipilih untuk menentukan faktor koreksi dari efek defocusing. Faktor koreksi di fit dengan polinomial orde tiga dan diperoleh hasil $I = 1.00 + 0.011\chi - 0.00023 \chi^2$ dimana I adalah intensitas neutron.

Kata kunci: Difraktometer tekstur, eulerian cradle, celah berkas, fokusing monokromator Si(311), koreksi defocusing, MAUD

ABSTRACT

HOMOGENITY ANALYSIS OF NEUTRON BEAM DISTRIBUTION AND CORRECTION FACTOR DUE TO FOCUSING EFFECT USING NEUTRON DIFFRACTION METHOD. Neutron diffractometer is one of research facilities that uses neutron beam from reactor. Neutron source is produced from the RSG-GAS reactor. One of neutron diffractometers is texture diffractometer which is used for texture material research. Homogeneity of neutron flux at the sample position is very important because quality of texture data depends on it. Experimental result shows inhomogeneous of neutron beam. It probably comes from focusing point of bent Si(311) monochromator which is not located at the center of beam slit. In this experiment, the homogeneity of neutron flux is measured qualitatively and quantitatively. The qualitative one was performed by observing the image of neutron beam which is detected from FP3000B polaroid film. It shows that neutron distribution is not homogeneous. Lowest intensity is shown at $\chi > 70^\circ$. The quantitative one is performed using vanadium by scanning of 2θ angle from -1° to 1° with $\Delta 2\theta = 0,1$. The result shows that background intensity increases from $\chi > 70^\circ$. Neutron diffraction pattern of nickel standard sample was analyzed using MAUD. It shows that neutron wavelength of $\lambda_n 1,2793 \text{ \AA}$ is obtained with refinement result of $R_{wp} = 20,416\%$, $R_{wpb} = 18,476\%$, $\sigma = 1,032$. The first three bragg peak, (111), (200) and (220) are then selected to determine correction factor of defocussing effect. Corection factors are fitted by using polynomial and $I = 1.00 + 0.011\chi - 0.00023 \chi^2$ is obtained.

Key words: Texture diffractometer, eulerian cradle, beam slit, focusing monochromator Si(311), defocusing effect, MAUD

PENDAHULUAN

Penelitian bahan dengan menggunakan metode hamburan neutron merupakan salah satu aplikasi teknik nuklir dalam pemanfaatan berkas neutron. Berkas neutron yang dimanfaatkan untuk

penelitian bahan dihasilkan dari reaktor RSG-GAS melalui beam tube S2,S4,S5 dan S6 dengan peralatan yang berbeda beda. Dari beberapa difraktometer neutron, salah satunya adalah difraktometer tekstur. Difraktometer ini digunakan