

## PENENTUAN KONSTANTA PELURUHAN NEUTRON SEREMPAK TERAS REAKTOR DAYA AP-600

Tukiran Surbakti

### ABSTRAK

**PENENTUAN KONSTANTA PELURUHAN NEUTRON SEREMPAK TERAS REAKTOR DAYA AP-600.** Penentuan konstanta peluruhan neutron serempak teras reaktor daya AP-600 telah dilakukan dengan menggunakan kombinasi program perhitungan sel WIMS/D4 dan program Batan-2DIFF. Perhitungan dilakukan untuk teras awal (BOC) dan semua batang kendali ditarik ke atas. Kalkulasi sel dari berbagai jenis material pembentuk teras dilakukan dalam 4 group energi neutron pada program transport satu dimensi (WIMS/D4). Sel diperhitungkan untuk  $\frac{1}{4}$  perangkat elemen bakar dengan model *cluster* dengan susunan *square pitch*, kemudian dihitung dimensi satuan selnya. Satu sel satuan terdiri dari satu satuan bahan bakar dan moderator. Dari satu satuan sel ekuivalen tersebut diperoleh data dimensi sel sebagai data masukan program WIMS/D4 yang dikenal dengan *annulus*. Konstanta tampang lintang sebagai keluaran program WIMS/D4 digunakan sebagai masukan pada program difusi neutron (Batan-2DIFF) untuk perhitungan teras yang sesuai dengan 3 daerah pengkayaan dari bahan bakar perangkat elemen bakar teras AP-600 yaitu 2, 2,5 dan 3 %. Dari hasil keluaran program Batan-2DIFF diperoleh harga fraksi neutron kasip =  $6,932E-03$  dan usia rerata neutron serempak 26,38 mikrodetik, sehingga diperoleh harga konstanta peluruhan neutron serempak teras reaktor daya AP-600 adalah  $262,8 \text{ dk}^{-1}$ . Jika dibandingkan hasil perhitungan dengan hasil desain teras AP-600 maka perbedaannya adalah untuk harga fraksi neutron kasip dari hasil desain adalah  $7,5E-05$  dan terdapat perbedaan 8 % dengan hasil perhitungan Batan-2Diff, sedangkan untuk usia rerata neutron serempak hasil disain adalah 19,6 mikrodetik sehingga diperoleh perbedaannya adalah 34,6 %. Perbedaan ini disebabkan karena masih ada komponen teras yang tidak diketahui data-datanya sehingga tidak dimasukkan ke dalam perhitungan.

### ABSTRACT

**DETERMINATION OF PROMPT NEUTRON DECAY CONSTANT OF THE AP-600 REACTOR CORE.** Determination of prompt neutron decay constant of the AP-600 reactor core has been performed using combination of two codes WIMS/D4 and Batan-2DIFF. The calculation was done at beginning of cycle and all of control rods pulled out. Cell generation from various kinds of core materials was done with 4 neutron energy group in 1-D transport code (WIMS/D4). The cell is considered for  $\frac{1}{4}$  fuel assembly in cluster model with square pitch arrange and then, the dimension of its unit cell is calculated. The unit cell consist of a fuel and moderator unit. The unit cell dimension as input data of WIMS/D4 code, called it *annulus*, is obtained from the equivalent unit cell. Macroscopic cross sections as output was used as input of neutron diffusion code Batan-2Diff for core calculation as appropriate with three enrichment regions of the fuel of AP-600 core, namely 2; 2.5 and 3 %. From result of diffusion code (Batan-2DIFF) is obtained the value of delayed neutron fraction of  $6,932E-03$  and average prompt neutron life-time of 26.38  $\mu\text{s}$ , so that the value of prompt neutron decay constant is  $262.8 \text{ s}^{-1}$ . If it is compared the calculation result with the design value, the deviation are, for the design value of delayed neutron fraction is  $7.5E-03$ , about 8 % and the design value of average prompt neutron life time is 19.6  $\mu\text{s}$ , about 34 %, respectively. The deviation because there are still unknown several core components of AP-600, so it didn't include in calculation yet.

### PENDAHULUAN

Batan telah lama mempersiapkan sumber daya manusianya (SDM) untuk dapat mengkaji PLTN baik secara ekonomi maupun keselamatan terhadap tipe-tipe PLTN yang telah beroperasi di dunia. Salah satu tipe PLTN yang populer saat ini adalah PLTN AP-600.

Reaktor AP-600 adalah konsep maju dari reaktor jenis PWR yang berdaya nominal 600 MWe

(Advanced Passive Pressurized Water Reactor 600 MWe) yang sedang dikembangkan oleh Westinghouse. Reaktor PWR adalah reaktor yang utama di dunia beroperasi sebanyak 62 % (274 unit) dalam konstruksi 77,2 % (27 unit) dan sudah dipesan 76 % (13 unit) pada saat ini. Sehingga diharapkan pada tahun 2000 konsep maju-PWR (AP-600) sudah ada yang komersial di negara

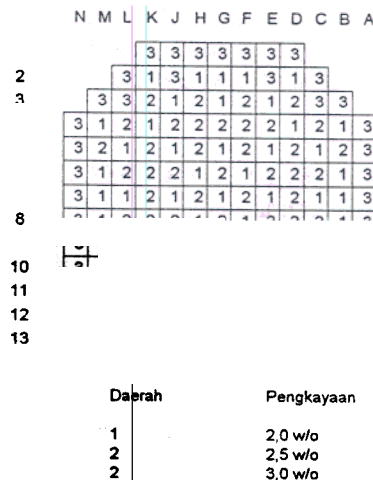
Jepang atau Korea Selatan yang sudah ikut berpartisipasi aktif didalam proyek AP-600.

Pada makalah ini akan dibahas tentang penentuan konstanta peluruhan neutron serempak teras reaktor daya AP-600. Perhitungan dilakukan pada awal teras dan semua batang kendali ditarik keatas. Generasi sel dari berbagai material pembentuk teras dilakukan dengan program transport neutron satu dimensi dalam 4 kelompok energi neutron (WIMS/D4). Sel diperhitungkan untuk ¼ perangkat elemen bakar dengan model cluster dengan susunan square pitch. Konstanta tampang lintang sebagai keluaran program WIMS/D4 digunakan sebagai masukan pada

program difusi neutron untuk perhitungan teras. Konstanta peluruhan neutron serempak teras AP-600 dihitung dengan program Batan-2DIFF menggunakan fluks neutron regular dan adjoint dalam 4 kelompok energi dan geometri reaktor X-Y.

**DISKRIPSI SINGKAT TERAS REAKTOR DAYA AP-600**

Reaktor daya AP-600 adalah reaktor daya jenis air tekan (Pressurized Water Reactor) yang didesain oleh Westinghouse. Reaktor AP-600 memiliki konfigurasi teras seperti yang dilampirkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Susunan muatan bahan bakar teras AP-600

Teras AP-600 pada awal siklus (BOC) disusun atas 3 jenis pengkayaan yaitu 2,0 %, 2,5 % dan 3,0 % masing-masing sebanyak 49 buah, 48 buah, 48 buah. Jumlah perangkat bahan bakar yang menyusun teras reaktor AP-600 adalah 145 buah. Dimensi teras aktif AP-600, perangkat bahan bakar dan reflektor dinyatakan dalam Tabel 1.

Reaktor AP-600 mempunyai bahan bakar jenis pelet silindris dengan bahan bakar UO<sub>2</sub> dan kelongsongnya Zircalloy-4. Di dalam kelongsong bahan bakar baik di bagian atas maupun bagian

bawah terdapat ruang yang dimanfaatkan untuk menampung gas-gas hasil produk fisi.

Setiap perangkat bahan bakar berisi 269 (17 x 17) rod elemen yang terdiri dari 264 buah elemen bakar dan 24 buah elemen guide thimble dan satu instrumentation tube. Bahan bakar juga dilengkapi perangkat kendali yang jumlahnya 24 buah pada satu perangkat bahan bakar yang sering disebut RCCA (rod cluster control assemblies). Material utama dari pembentuk elemen kendali adalah Ag-In-Cd, sedangkan kelongsongnya adalah

material stainless steel (SS). Perangkat elemen kendali RCCA digunakan untuk mengontrol perubahan reaktivitas dan distribusi daya aksial. Selain RCCA ada juga perangkat elemen kendali GRCA (gray rod cluster assemblies) pada teras reaktor AP-600 yang digunakan untuk mengatur reaktivitas teras sesuai dengan perubahan beban.

Air ringan digunakan sebagai pendingin dan moderator yang dicampur dengan larutan boron yang berfungsi sebagai penyerap neutron. Konsentrasi larutan boron bervariasi jumlahnya sesuai dengan perubahan reaktivitas oleh karena perubahan fraksi bakar di dalam teras.

## LANGKAH PERHITUNGAN

Perhitungan konstanta peluruhan neutron serempak teras AP-600 dilakukan pada kondisi awal teras dimana semua bahan bakar masih baru, daya nol, tanpa boron, keadaan teras dingin dan bersih. Perhitungan dilakukan dalam beberapa tahap, seperti terlihat pada diagram alir pada Gambar 2.

### Perhitungan Sel dengan Paket program WIMS/D4

Program WIMS/D4 melakukan perhitungan transport neutron dalam satu dimensi, sehingga perlu dilakukan pemodelan terhadap elemen bakar. Pemodelan sel digunakan untuk perhitungan pembangkitan konstanta kelompok dalam 4 kelompok energi dan 56 kelompok energi. Sel satuan reaktor AP-600 dimodelkan terdiri dari *cluster* bahan bakar dengan susunan *square pitch* seperti pada Gambar 3. Kemudian dihitung dimensi sel satuannya dengan konversi volum seperti terlihat pada Gambar 4. Kemudian didefinisikan setiap posisi batang bahan bakar, *instrumentation tube*, dan *guide thimble* sesuai dengan pilihan yang ada di program WIMS/D4. Satu sel satuan akan terdiri dari satuan bahan bakar dan moderator.

Pembangkitan konstanta kelompok dimaksudkan untuk mendapatkan harga rerata konstanta kelompok dalam suatu sel dengan cara menghomogenkan sel tersebut. Untuk memperoleh harga-harga konstanta kelompok yang bersesuaian dengan kondisi teras maka dicari nilai buckling aksial teras ( $B_z^2$ ). Nilai buckling aksial ini ditentukan dengan memasukkan nilai parameter-parameter kisi, komposisi dan geometri teras dari data-data pemasok. Perhitungan konstanta kelompok dilakukan untuk material-material penyusun teras pada kondisi seperti di atas.  $K_{inf}$  teras juga dihitung dengan menggunakan pengkayaan bahan bakar 2 %, 2,5 % dan 3 % pada kondisi seperti di atas dengan menggunakan paket program WIMS/D4.

### Perhitungan Kecepatan Neutron

Kecepatan neutron (*fine group*) dihitung untuk struktur 56 kelompok energi. Kecepatan neutron *broad group* dihitung dengan menggunakan pembobotan fluks dan kecepatan neutron dari *fine group*. Kecepatan neutron *broad group* inilah yang digunakan sebagai data masukan pada program Batan-2DIFF (modul ADJOINT-2D) untuk menentukan parameter kinetik reaktor.

### Perhitungan Parameter Kinetik

Perhitungan teras penuh dalam geometri reaktor X-Y menggunakan konstanta kelompok dari WIMS/D4 dilakukan dengan Batan-2DIFF (modul ADJOINT-2D) untuk memperoleh nilai parameter kinetik teras AP-600. Batan-ADJOINT-2D memungkinkan dilakukan perhitungan integrasi parameter kinetik yaitu fraksi neutron kasip, waktu generasi neutron rerata dan usia rerata neutron serempak. Program ini secara numerik menyelesaikan persamaan nilai diri *forward* dan *adjoint* difusi neutron 2-D, dan kemudian menghitung menghitung parameter kinetik dengan

menggunakan solusi fluks neutron *forward* dan adjoint sebagai fungsi pembobot. Pemodelan teras dapat dilihat pada Gambar 5.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan program WIMS/D4 diperoleh harga konstanta kelompok material teras AP-600 yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan harga  $k_{\text{eff}}$  teras AP-600 dapat dilihat pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi pengkayaan  $U^{235}$  semakin besar harga  $k_{\text{eff}}$ . Untuk tampang lintang makroskopik absorpsi dan  $\rho$ -fisi mempunyai harga terbesar pada daerah termal.  $K_{\text{eff}}$  teras AP-600 pada kondisi daya nol, dingin dan bersih adalah 1,2011, sedangkan menurut teras desain adalah 1,203.

Besarnya fraksi neutron kasip yang diperoleh adalah  $6,935E-3$  sedangkan dari perhitungan pemasok adalah 0,0075. Perbedaan hasil perhitungan adalah 8 %. Harga usia rerata neutron serempak hasil perhitungan adalah 26,38 mikrodetik, sedangkan nilai disain 19,6 mikrodetik dan perbedaannya 34,6 %. Harga-harga ini dapat dilihat pada Tabel 4. Perbedaan yang sangat mencolok antara perhitungan dengan desain khususnya pada harga usia rerata neutron serempak disebabkan oleh karena pada perhitungan ini masih menggunakan data-data neutron kasip versi lama yang diambil dari Keepin, namun untuk perhitungan awal hasil yang diperoleh ini cukup memadai dan akan dilanjutkan dengan tujuan untuk memperbaiki ketelitian perhitungan.

## KESIMPULAN

Besarnya fraksi neutron kasip yang diperoleh adalah  $6,9326E-03$ , sedangkan menurut data disain adalah 0,0075. Harga usia rerata neutron

serempak 26,38 mikrodetik, sedangkan hasil disain adalah 19,6 mikrodetik..

2. Untuk memperbaiki akurasi perhitungan konstanta peluruhan neutron serempak teras reaktor daya AP-600 diperlukan data neutron kasip yang lebih baru seperti dari Brady & England atau Saphier dll, sedangkan dalam perhitungan ini diambil dari Keepin yang hasil ekperimennya pada tahun 1965. Namun untuk tahap awal hasil perhitungan ini boleh dikatakan baik dan perlu dilanjutkan dengan menggunakan data-data neutron kasip yang terbaru.

## DAFTAR PUSTAKA

1. "IAEA Bulletin". Vol 31, No. 2, Vienna, Austria, 1997.
2. DUDERSTADT, J.J and HAMILTON, L.J, " Nuclear Reactor Analysis " , John Wilay & Sons, New York, 1976.
3. LIEM PENG HONG, " Analisis Numerik, Komputasi dan Pemrograman Komputer pada Disain Neutronik Reaktor Nuklir", Diktat Kuliah pada kursus PLTN, Jakarta, 1994.
3. TAUBMAN, C.L " The WIMS 69-group Library tape 166259" UK. Atomic Energy Authority, England 1975.
4. " Simplified Passive Advanced Light Water Reactor Plant Program, AP-600 Standard Safety Analysis Report, 4th Volume, DE-AC03-90SF18495, Westinghouse Electric Corporation, 1992.

Tabel Data Desain Teras AP-600

Daya teras reaktor (MWt)	1993
- Teras aktif Diameter ekuivalen (cm) Tinggi aktif bahan bakar (cm) Perbandingan molekul H <sub>2</sub> O/U	292,1 365,8 2,40
- Perangkat bahan bakar, dimensi (cm) Jumlah Matriks Jumlah rod per perangkat elemen bakar Berat Uranium, Kg Berat Zirkaloy, Kg	21,402 x 21,402 145 17 x 17 264 75.914,5 16.127,7
- Tebal reflektor bagian atas: air dan baja (cm) bagian bawah: air dan baja (cm) bagian samping: air dan baja (cm)	25,4 25,4 38,1
- Elemen bakar Jumlah untuk seluruh teras Diameter luar, cm Diameter gap, cm Tebal kelongsong, cm Material kelongsong - Bahan bakar (pellet) Material Densitas, % Diameter, cm Panjang, cm - RCCA Penyerap neutron Diameter, cm Kerapatan, cm Material kelongsong Tebal kelongsong Jumlah perangkat dalam teras - GRCA Penyerap neutron Diameter, cm Kerapatan, gr/cm <sup>3</sup> Tebal kelongsong, cm - Reaktivitas lebih k <sub>eff</sub> maksimum teras (dingin, daya nol, awal siklus dan tanpa boron)	38.280 0,95 0,016 0,057 Zirkaloy-4 U <sub>2</sub> 95 0,819 0,983 Ag-In-Cd 0,866 10,159 SS-304 0,047 45 Ag-In-Cd,SS-304 0,866 10,159 0,047 1,203
- Fraksi neutron kasip	0,0075

Tabel 2. Konstanta Kelompok Material Teras AP-600

	Group	Region 1	Region 2	Region 3
1. Cluster		2 %	2,5 %	3 %
Makro X-sec. Absorbpsi	1	3,8753E-03	3,9084E-03	3,9415E-03
	2	2,3575E-03	2,4299E-03	2,5023E-03
	3	2,0511E-02	2,1695E-02	2,2862E-02
	4	8,3396E-02	9,4647E-02	1,0514E-01

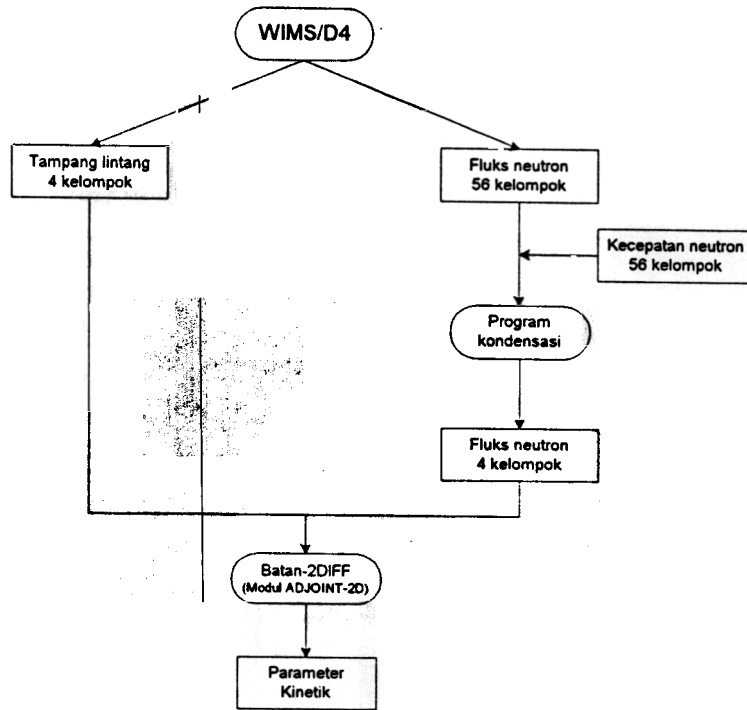
Makro X-sec. nu-fissi	1	8,6743E-03	8,7637E-03	8,8529E-03
	2	6,4431E-03	8,0528E-04	9,6600E-04
	3	8,4701E-03	1,0472E-02	1,2448E-02
	4	1,2523E-01	1,4990E-01	1,7281E-01
Makro X-sec. Removal	1	8,0629E-02	8,0608E-02	8,0587E-02
	2	8,4547E-02	8,4525E-02	8,4502E-02
	3	7,8427E-02	7,7877E-02	7,7334E-02
	4	4,0800E-04	4,6134E-04	5,1045E-04
Konstanta Difusi	1	2,1526E+00	2,1528E+00	2,1529E+00
	2	8,4754E-01	8,4754E-01	8,4754E-01
	3	5,8591E-01	5,8464E-01	5,8340E-01
	4	2,5129E-01	2,5247E-01	2,5327E-01
Faktor perlipatan tak-hingga		1,281871	1,346786	1,393856
2. Reflektor H <sub>2</sub> O		-	-	-
Makro X-sec. Absorpsi	1			5,2417E-04
	2			2,2354E-07
	3			1,0044E-03
	4			1,8744E-02
Makro X-sec. nu-fissi	1			2,3990E-27
	2			2,3612E-27
	3			3,5999E-26
	4			8,0646E-25
Makro X-sec. Removal	1			1,0437E-01
	2			1,5799E-01
	3			1,5111E-01
	4			1,0198E-04
Konstanta Difusi	1			2,3373E+00
	2			7,7589E-01
	3			5,6185E-01
	4			1,5522E-01
Faktor perlipatan tak-hingga				4,2848E-23

Tabel 3. Besarnya harga  $K_{inf}$  pada pengkayaan yang berbeda

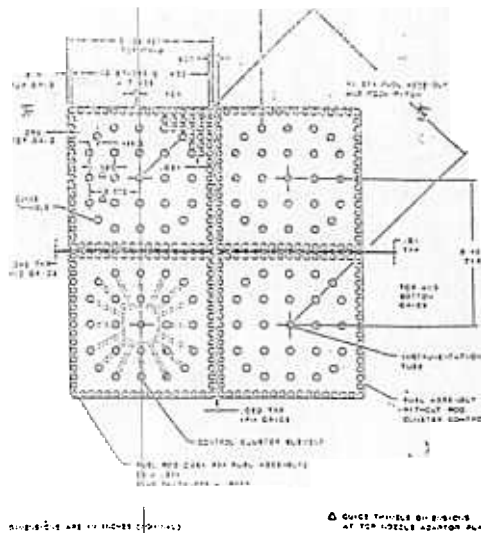
	Bahan bakar			Reflektor
	Pengkayaan	2 %	2,5 %	
Tanpa Boron daya nol Perhitungan				-
	$K_{inf}$	1,2819	1,3468	1,3939
Besaran pemasok	$K_{inf}$ untuk pengkayaan 3 % = 1,394, untuk pengayaan lainnya tidak ada pada manual			

Tabel 4. Konstanta Peluruhan Neutron Serempak Hasil Perhitungan

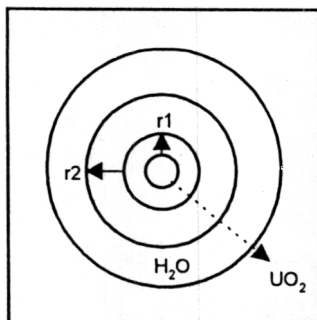
Parameter	SAR AP-600	ADJOINT-2D	Deviasi (%)
$\beta$	7,5E-03	6,935E-03	8
$L$ ( $\mu$ detik)	19,6	26,38	34
$\alpha$ (detik <sup>-1</sup> )	382,7	262,8	31



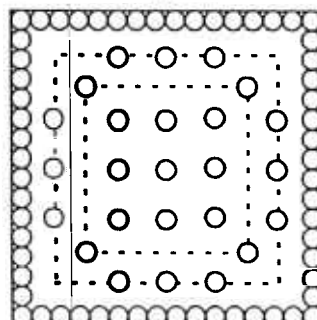
Gambar 2. Diagram alir perhitungan parameter kinetik



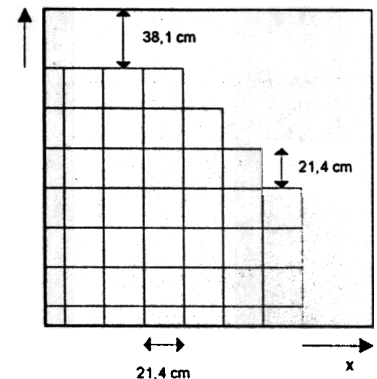
Gambar 3. Tampang Lintang perangkat Elemen Bakar ( 4-2-1 )



$r$  (meat) = 0,3325 cm  
 $r_1$  (gap) = 0,00325 cm  
 $r_2$  (cladding) = 0,00225 cm



○ Bahan bakar  
 Jumlah bahan bakar dalam cluster 17x17



Gambar 5. Pemodelan teras AP-600

Gambar 4. Pemodelan sel teras AP-600