

PERHITUNGAN KOEFISIEN REAKTIVITAS VOID TERAS AP-600

Lily Suparlina, T.A. Budiono, Amil Mardha, Tukiran

ABSTRAK

PERHITUNGAN KOEFISIEN REAKTIVITAS VOID TERAS AP-600. Telah dilakukan perhitungan salah satu besaran kinetika reaktor yaitu koefisien reaktivitas void teras AP-600. Perhitungan dilakukan dalam dua tahap yaitu perhitungan sel yang menggunakan paket program WIMSD/4 dan perhitungan teras yang menggunakan paket program Batan-2DIFF. Perhitungan dilakukan pada awal teras dengan bahan bakar baru dan semua batang kendali ditarik keatas. Generasi sel dari berbagai material pembentuk teras dilakukan dengan program transport satu dimensi dalam 4 kelompok energi neutron. Sel diperhitungkan untuk $\frac{1}{4}$ perangkat elemen bakar dengan model cluster dengan susunan *square pitch*. Untuk perhitungan koefisien reaktivitas void dilakukan dengan cara pengurangan densitas moderator sampai 20 %. Konstanta tampang lintang sebagai keluaran program WIMSD/4 digunakan sebagai masukan pada program difusi neutron untuk perhitungan teras. Harga koefisien reaktivitas void di teras AP600 didapat dari perbedaan harga k_{eff} yang dihitung dengan menggunakan paket program Batan-2Diff dengan menggunakan fluks neutron regular dan adjoint dalam 4 kelompok energi dan geometri reaktor X-Y. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga k_{eff} mempunyai perbedaan 5,2 % dibandingkan dengan data desain.

ABSTRACT

VOID COEFFICIENT OF REACTIVITY CALCULATION FOR AP-600 CORE. Void coefficient of reactivity as one of reactor kinetics parameters has been carried out. The calculation was done into two steps which is cell calculation using WIMSD/4 and core calculation using Batan-2DIFF code programs with the condition of beginning of cycle with all fresh fuels elements and all control rods withdrawn. The one dimension transport program in four neutron energy groups is used to calculate the cell generation of various core materials cell has been calculated in $\frac{1}{4}$ fuel element with cluster model and square pitch arrange. Moderator density have been reduced until 20 % for the void coefficient of reactivity calculation. Macroscopic cross-section as the output of WIMSD/4 is being used as the input at the diffusion neutron program for core calculation. The void coefficient of reactivity of the AP-600 core can be determined with regular neutron flux and adjoint in four energy groups and X-Y geometry. The results is shown that the k_{eff} calculation value is different 5,2 % from the design data.

PENDAHULUAN

Mengingat rencana pemerintah untuk membangun PLTN pertama di Indonesia, maka untuk menunjang keselamatan pengoperasian reaktor, perlu dilakukan kajian mengenai besaran kinetika. Salah satu besaran kinetika yang perlu diketahui adalah harga koefisien reaktivitas void moderator.

Reaktor AP600 adalah reaktor daya jenis PWR (Pressurized Water Reactor) yang berdaya nominal 600 MWe yang dikembangkan oleh Westinghouse, bermoderator air ringan.

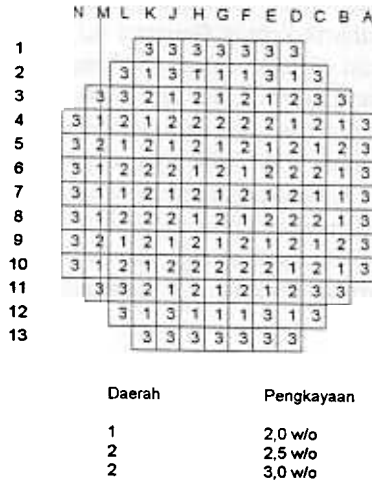
Pada makalah ini akan dibahas tentang penentuan koefisien reaktivitas void pada

moderator. Perhitungan dilakukan untuk teras awal dengan bahan bakar baru dan semua batang kendali ditarik ke atas. Generasi sel dari berbagai material pembentuk teras dilakukan dengan program transport satu dimensi dalam 4 kelompok energi neutron menggunakan paket program WIMSD/4. Sel diperhitungkan untuk $\frac{1}{4}$ perangkat elemen bakar dengan model cluster dengan susunan square pitch. Untuk perhitungan koefisien reaktivitas void dilakukan dengan cara pengurangan densitas moderator sampai 60 %. Konstanta tampang lintang sebagai keluaran program WIMSD/4 digunakan sebagai masukan pada program difusi neutron untuk perhitungan

teras. Harga koefisien reaktivitas void di teras AP600 didapat dari perbedaan harga k_{eff} yang dihitung dengan menggunakan paket program Batan-2Diff dengan 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 yang didesain oleh Westinghouse. Reaktor daya AP-600 memiliki konfigurasi teras seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Susunan muatan bahan bakar teras AP-600

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

Reaktor AP-600 mempunyai bahan bakar jenis pelet silindris dengan bahan bakar UO_2 dan kelongsong Zircalloy-4. Di dalam kelongsong bahan bakar baik di bagian atas maupun bagian bawah terdapat ruang yang dimanfaatkan untuk menampung gas-gas hasil produksi 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 boron cair yang berfungsi sebagai penyerap neutron. Konsentrasi boron cair bervariasi jumlahnya sesuai dengan perubahan reaktivitas yang berubah karena perubahan fraksi bakar di dalam teras.

Tabel 1. Data Desain Teras AP-600.

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

Koefisien reaktivitas Void

Koefisien reaktivitas void (KRV) didefinisikan sebagai suatu besaran dari perubahan reaktivitas yang diakibatkan oleh volume void terhadap volume air dalam teras reaktor, yang dinyatakan dalam satuan persen. Efek void pada reaktivitas bergantung pada posisinya di dalam teras.

Void di moderator akan mengurangi kerapatan moderator dan berpengaruh pada kebolehdjadian bebas resonansi (*resonance escape probability*) p dan faktor guna termal (*thermal utilization*) f . Perubahan kerapatan moderator berpengaruh pada ratio H/U . Penurunan kerapatan moderator yang diakibatkan oleh adanya void akan mengurangi ratio H/U . Karena p dan f bergantung pada ratio H/U , maka faktor multiplikasi juga terpengaruh.

Dalam suatu reaktor termal, kenaikan void menyebabkan penurunan harga p dan sedikit kenaikan f , tetapi k secara keseluruhan menurun. Dalam suatu reaktor yang termoderasi lebih (*overmoderated*) terjadi kebalikannya.

Kerapatan moderator (termasuk void) dipengaruhi oleh tekanan dari suatu sistem. Perubahan reaktivitas yang disebabkan oleh adanya void dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$\alpha_v = \frac{\Delta\rho}{\Delta V}$$

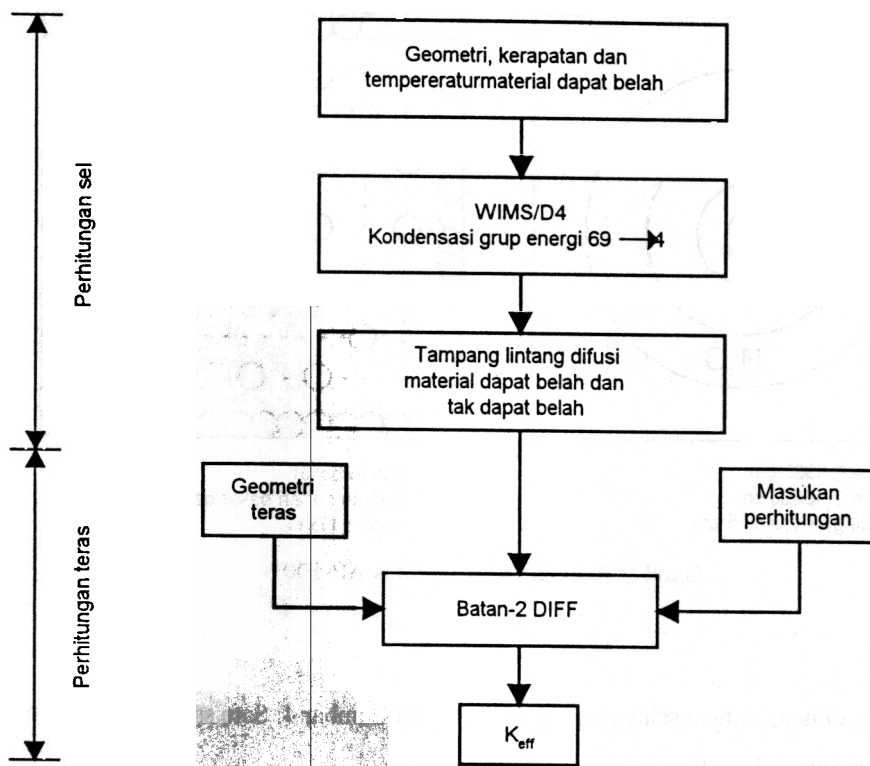
- $\Delta\rho$: perubahan reaktivitas karena perubahan fraksi void
 α_v : koefisien void ($\%^{-1}$)
 ΔV : perubahan fraksi void ($\%$)

Koefisien reaktivitas void α_v memberikan perubahan reaktivitas per unit perubahan fraksi void. Umpan balik reaktivitas keseluruhan karena void disebut harga reaktivitas void.

Dalam perhitungan ini kondisi temperatur teras adalah adalah temperatur kamar (293 °K), dan kondisi reaktor dingin dan bebas xenon.

LANGKAH PERHITUNGAN

Perhitungan koefisien reaktivitas void (KRV) dilakukan untuk dua tahap yaitu perhitungan sel dengan menggunakan paket program WIMSD/4 dan perhitungan teras yang menggunakan paket program Batan-2DIFF. Langkah perhitungan ditunjukkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 2.

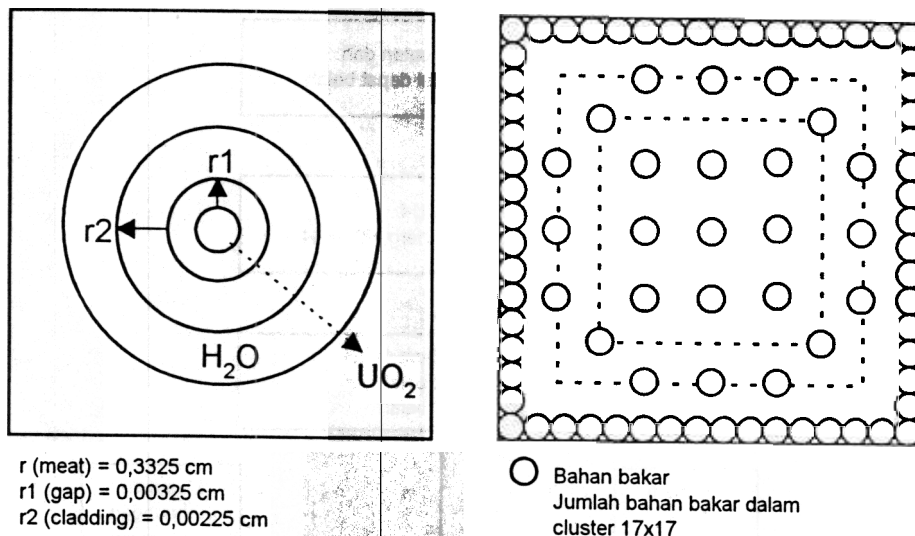


Gambar 2. Diagram alir perhitungan

Perhitungan Sel

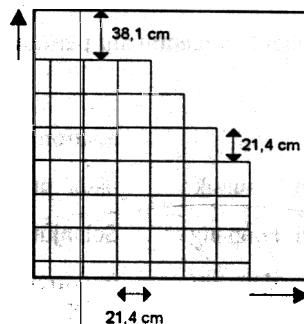
Perhitungan sel dilakukan untuk membangkitkan konstanta sel, berupaampang lintang makroskopik sel. Selanjutnya, data ini akan menjadi masukan bagi perhitungan difusi teras. Progrsm WIMSD/4 adalah sebuah paket program yang menggunakan teori transport untuk perhitungan sel reaktor⁽¹⁾. Penyelesaiannya dilakukan dengan tahap menghitung spektrum

neutron di setiap region untuk keseluruhan energi pada pustaka energinya 56 kelompok energi). Selanjutnya berdasarkan spektrum hasil perhitungan tersebut dilakukan kondensasi energi menjadi 4 kelompok dan hasilnya digunakan untuk perhitungan tampang lintang sebagai fungsi energi. Pembagian region untuk sel elementer yaitu : cluster bahan bakar dengan susunan square seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan sel teras AP-600

Kemudian dihitung dimensi satuan selnya seperti terlihat pada Gambar 4. Satu satuan sel akan terdiri dari satuan bahan bakar dan moderator.



Gambar 4. Pemodelan teras AP-600

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 $B^2 = 7,3563E-05$ (cm^{-2}). Nilai buckling aksial ini ditentukan dengan memasukkan harga k_{eff} teras dari data-data AP600. Perhitungan konstanta kelompok dilakukan untuk material-material penyusun teras pada kondisi seperti di atas. K_{eff} teras juga dihitung dengan menggunakan pengkayaan

bahan bakar 2 %, 2,5 % dan 3 % pada kondisi seperti di atas dengan menggunakan paket program WIMSD/4.

Demikian juga, perhitungan konstanta sel harus dilakukan untuk sel yang terganggu oleh pengurangan densitas moderatot setiap 10 % , sampai 60 %.

Perhitungan Koeffisien Reaktivitas Void

Perhitungan koefisien reaktivitas void dilakukan dalam perhitungan teras dengan menggunakan paket program Batan-2DIFF. Perhitungan teras ini dimaksudkan untuk

memperoleh distribusi fluks, distribusi fluks adjoint dan faktor perlipatan efektif.

Perhitungan difusi dilakukan dalam 4 kelompok energi, sesuai dengan kelompok energi neutron pada perhitungan WIMS.

HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Ketelitian hasil perhitungan koefisien reaktivitas void teras AP600 ini bergantung pada perhitungan data-data yang digunakan sebagai

masukan program perhitungan, Penggunaan paket program WIMSD/4 dimaksudkan untuk mendapatkan konstanta tampang lintang makroskopik sel yang akurat, yang ditunjukkan pada tabel 2. sedangkan penggunaan program Batan-2DIFF ditujukan agar didapatkan ketelitian perhitungan fluks neutron yang lebih baik.

Tabel 2. Konstanta Kelompok Material Teras AP-600

	Group	Region	Region2	Region 3	Reflektor
		2,0 %	2,5 %	3,0 %	
Makro X-Sec absorpsi	1	3,7286 E-03	3,7600 E-03		5,2417 E-04
	2	2,2748 E-03	2,3437 E-03		2,2354 E-07
	3	2,0426 E-02	2,1567 E-02		1,0044 E-03
	4	7,9720 E-02	9,0888 E-02		1,8744 E-02
Makro X-sec, nufissi	1	7,9142 E-03	7,9969 E-03	8,0799 E-03	0,0000 E+00
	2	5,7946 E-04	7,3254 E-03	8,7829 E-04	0,0000 E+00
	3	7,6750 E-03	9,5919 E-03	1,1411 E-02	0,0000 E+00
	4	1,1524 E-01	1,3969 E-01	1,6150 E-01	0,0000 E+00
Makro X-sec fissi	1	3,9189 E-03	3,3006 E-03	3,3341 E-03	0,0000 E+00
	2	2,8693 E-04	3,0227 E-04	3,6267 E-04	0,0000 E+00
	3	3,8004 E-03	3,9580 E-03	4,7085 E-03	0,0000 E+00
	4	5,7064 E-02	5,7640 E-02	6,6638 E-02	0,0000 E+00
Konstanta Difusi		1,7170 E+00	1,7171 E+00	3,3341 E-03	2,3372 E+00
		7,0317 E-01	7,0317 E-01	3,6267 E-04	7,7589 E-01
		5,1716 E-01	5,1610 E-01	4,7085 E-03	5,6185 E-01
		2,3250 E-01	2,3316 E-01	6,6638 E-02	1,5522 E-01

Harga koefisien reaktivitas void hasil perhitungan Batan-2DIFF ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Harga Keff, Reaktivitas dan Koefisien Reaktivitas Void (KRV) Teras AP-600

Densitas (%)	K_{effektif}	Reaktivitas	KRV (% ⁻¹)
100	1,266497	2,105149 E-01	-
90	1,253074	2,019636 E-01	8,5513 E-04
80	1,248385	1,989660 E-01	5,7745 E-04

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga keff mempunyai perbedaan 5,2 % dibandingkan dengan harga desain. Ini disebabkan antara lain adalah penggunaan pemodelan yang sederhana.

KESIMPULAN

- ◆ Perbedaan harga k_{effektif} antara hasil perhitungan dan data desain terdapat perbedaan 5,2 %.
- ◆ Perlu dilakukan perhitungan koefisien reaktivitas void kembali dengan memperhitungkan pengaruh temperatur teras reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASKEW, J.R., FAYERS, F.J., KEMSHELL, P/B., *A General Description of the Lattice Code WIMS*, Journal of the British Nuclear Energy Society, Vol 5 No. 4.; 1966
2. Preliminary Analysis Report of AP-600, Rev., 0, Westinghouse, 1992
3. DUDERSTADT, J.J., HAMILTON, L.J., *Nuclear Reactor Analysis*, John Wiley and Son, NY, USA, 1976
4. LIEM, P.H., *Development and Verification of Batan Standard Teo Dimensional Multigroup Neutron Diffusion Code (Batan-2DIFF)*, makalah seminar BATAN, 1994

PERTANYAAN

Penanya : Zuhair

Pertanyaan :

Presentase void dari 0% - 100% dalam penentuan koefisien reaktivitas void dihitung terhadap apa? Terhadap moderator, pendingin atau densitas? Mohon penjelasan. Terima kasih.

Jawaban :

Koefisien reaktivitas void dihitung terhadap moderator.

Penanya : Tagor Sembiring

Pertanyaan :

Berapa besar perbedaan nilai koefisien reaktivitas void perhitungan AP-600 dengan nilai desain?

Jawaban :

Dalam data desain tidak terdapat besaran reaktivitas voidnya, sehingga belum dapat dibandingkan.

Penanya Rokhmadi

Pertanyaan :

Dari hasil disebutkan ada perbedaan 9,6% dengan data desain karena belum dimasukkannya unsur-unsur kecil. Unsur-unsur kecil itu apa? Kenapa tidak dimasukkan?

Jawaban :

Kemungkinan ada unsur lain, namun bisa juga karena pengaruh buckling aksialnya. Masih akan diteliti lagi lebih lanjut.