

PERHITUNGAN KRITIKALITAS ISFSF

Rokhmadi,

TA. Budiono, Zuhair, Agoes Soejoedi

ABSTRAK

PERHITUNGAN KRITIKALITAS ISFSF. Telah dilakukan perhitungan kritikalitas pada Interim Storage Facility for Spent Fuel (ISFSF). Perhitungan ini dilakukan dua tahap, tahap pertama menentukan konstanta sel (lattice cell) dan tahap kedua melakukan perhitungan difusi teras, masing-masing dengan paket program WIMS D/4 dan BATAN-2DIFF. Hasil perhitungan konstanta sel merupakan input pada perhitungan difusi teras. Pada perhitungan sel dilakukan dengan model geometri multiplate dan perhitungan difusi teras dilakukan pada banyak kelompok 2 dimensi. Dari perhitungan difusi akan diperoleh fluks diteras dan faktor perlipatan efektif. Dari perhitungan ini diperoleh perlipatan efektif (k_{eff}) = 0,6367. Dengan demikian, Fasilitas ISFSF dapat dijamin keselamatannya, karena terhindar dari kecelakaan kekritisasi.

ABSTRACT

CALCULATION OF ISFSF CRITICALITY. The criticality of Interim Storage Facility for Spent Fuel (ISFSF) have been calculated . The calculation was performed in two steps. The first step is to determine lattice cell, and the second calculate the diffusion of whole core using code program WIMS D/4 and BATAN-2 DIFF respectively. Lattice cell calculation was carried out by multiplate geometry model and the result was used as input of core calculation. The core diffusion calculation was performed in 2 dimension with multiple group, of energies. The result showed that the k_{eff} is 0.6367. Therefore, ISFSF facility is assured to be safe because away from criticality accident.

PENDAHULUAN

Instalasi ISFSF (Interim Storage Fuel for Spent Fuel) yang sedang dibangun dan berada disamping gedung Reaktor Serba Guna GA Siwabessy dimaksudkan untuk menyimpan bahan bakar bekas, terutama dari Reaktor Serba Guna GA Siwabessy. Bahan bakar bekas tersebut sebelumnya disimpan dan didinginkan pada rak penyimpanan sementara di kolam reaktor sekurang-kurangnya 100 hari, kemudian baru disimpan di ISFSF melalui Transfer Channel. Kolam ISFSF yang berukuran 14,1 m x 5 m dan kedalaman 8,0 m mampu menyimpan 1436 elemen bakar¹⁾. Karena elemen bakar bekas tersebut masih mengandung sejumlah uranium diperkaya paparan radiasi yang sangat tinggi,

maka perlu diperhatikan segi keselamatan baik instalasinya maupun terhadap manusia. Aspek keselamatan yang perlu diperhatikan pada instalasi seperti ini adalah kritikalitas.

Tempat elemen bakar bekas yang berbentuk tabung stainless steel dan ber - diameter luar OD 12,76 mm terkungkung air di dalam kolam ISFSF dan disusun secara periodik berukuran 940 mm x 940 mm¹⁾. Untuk menyederhanakan perhitungan maka larik tabung dibagi kedalam sel-sel satuan identik untuk digunakan menghitung konstanta sel tersebut. Untuk bisa melakukan perhitungan dengan paket program WIMS, harus dilakukan pemodelan sel satu dimensi yang dapat kita pandang sebagai plat^{2,3)}. Elemen bakar RSG-GAS dapat kita

pandang sebagai multiplate yang tersusun dari daerah meat, kelongsong, moderator dan daerah ekstra (extra region). Masing-masing daerah tersebut dihitung rapat atomnya. Hasil perhitungan sel dengan paket program WIMS ini dipakai sebagai input pada paket program BATAN-2DIFF untuk menentukan harga kekritisan.⁴⁾

TEORI

Model matematis untuk menggambarkan populasi neutron dalam reaktor biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan transport Boltzman, integral transport dan persamaan difusi. Penyelesaian persamaan diatas menghasilkan distribusi netron dalam reaktor yang dinyatakan dalam besaran fluks netron.⁵⁾

Penulisan persamaan difusi atau persamaan transport Boltzman statis sebagai berikut :

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

S = Sumber

$F\Phi$ = Sumber pembelahan,

F operator pembelah.

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

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

$$(M - \lambda F)\Phi = 0 \quad (2)$$

Eigen value λ akan diperoleh jika operator $(M - \lambda F)\Phi$ singular, sehingga diperoleh penyelesaian non trivial $\Phi \neq 0$. Eigen value dapat diinterpretasikan dengan cara mengintegrasikan persamaan (2) terhadap ruang dan energi.

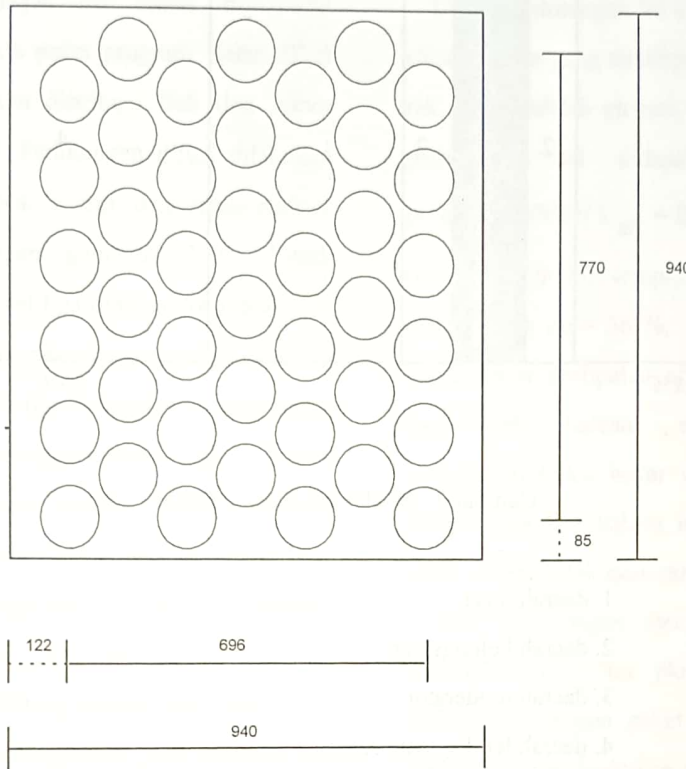
$$\lambda^{-1} = \frac{\int \int F\Phi dEdV}{\int \int M\Phi dEdV} = k_{eff}$$

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

PERHITUNGAN

Homogenisasi dan Pemodelan Sel

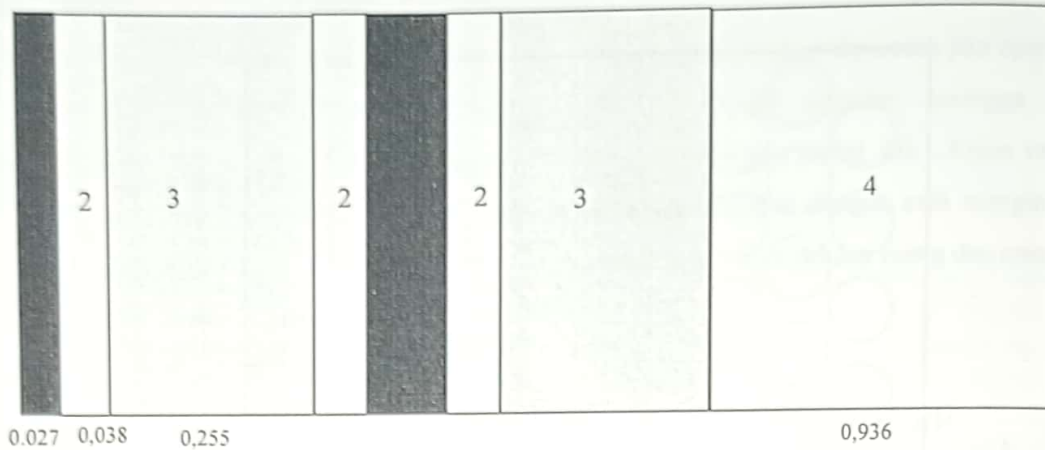
Kolam ISFSF disusun dengan konfigurasi yang heterogen berbentuk kisi atau larikan periodik. Pendekatan umum untuk memperhitungkan efek kisi heterogen adalah dengan membagi larik periodik kolam ISFSF kedalam sel-sel satuan identik dan kemudian menghitung konstanta kelompok efektif yang mencirikan sel tersebut. Selanjutnya sel diperhitungkan secara homogen dengan membobot konstanta kelompok dengan fluks gayut ruang sehingga diperoleh konstanta terbobot sel atau disebut konstanta sel



Gambar 1. Geometri rak ISFSF

Mengingat bahwa WIMS adalah paket program untuk perhitungan sel satu dimensi, sedangkan konfigurasi kolom ISFSF adalah 3 dimensi, maka perlu dilakukan pemodelan sel kolom ISFSF. Asumsi yang diambil dalam memodelkan sel adalah homogenitas material kearah aksial. Selanjutnya dengan meninjau sifat simetri geometri sel kearah radial maka sel dapat dinyatakan dalam model satu dimensi.

Pada perhitungan sel dengan program WIMS, elemen bakar RSG-GAS kita pandang sebagai multiplate, yang tersusun dari bagian meat, kelongsong, moderator dan daerah lebih atau extra region (terdiri dari air dan stainless steel). Untuk stainless steel jenis SS 321, terdiri dari komposisi C, Mn, Si, Cr, Ni dan Fe



Gambar 2 : Model Sel Elemen Bakar

1. daerah meat
2. daerah kelongsong
3. daerah moderator
4. daerah lebih (extra region)

Perhitungan Dimensi dan Komposisi Sel

Setelah Homogenisasi Pemodelan maka dimensi dan komposisi sel dapat dihitung dengan persamaan:

$$Ni = \left(\frac{\rho_i \times N_{AVO}}{A_i} \right) \times 10^{-24} \text{ atom l cm}^{-3} \text{ barns}^{-1}$$

i

$$= \left(\frac{\rho_{mixt} \times w_i \times N_{AVO}}{A_i} \right) \times 10^{-24}$$

- w = fraksi berat isotop i (%)
- ρ_i = densitas isotop i (gm cm⁻³)
- N = Bilangan Avogadro
- A = nomor atom isotop i (gm mol⁻¹)

Densitas campuran ρ_{mixt} dihitung dengan rumus

$$\rho_{mixt} = \frac{1}{\sum_{i=1}^I \frac{w_i}{\rho_i}} \text{ gm cm}^{-3}$$

Dengan mensubstitusikan harga-harga pada tabel 1, 2 dan 3, maka diperoleh harga konstanta sel seperti berikut :

Isotop i	Rapat Atom Ni (atom cm ⁻³ barns ⁻¹)
O	0,02768
H	0,05538
Fe	0,96298
C	0,00009
Mn	0,00048
Cr	0,00460
Ni	0,00238

Perhitungan Teras

Hasil perhitungan sel diatas digunakan sebagai input pada paket program Batan-2Diff untuk mendapatkan distribusi fluk dan faktor perlipatan efektif. Perhitungan difusi dilakukan dalam 4 kelompok energi dan teras reaktor dimodelkan dengan geometri X-Y. Untuk menstarakan model tiga dimensi ke model dua dimensi dilakukan penyesuaian nilai buckling aksial. Perhitungan tiga dimensi dilakukan untuk teras RSG-GAS dengan muatan 250 gr U-235 bahan bakar jenis oksida . Dari hasil perhitungan diperoleh harga buckling aksial $B^2 = 1,8480E-03$. Harga buckling aksial 3 dimensi diperoleh dengan cara menginterpolasi dari harga k_{eff} yang dihitung dengan BATAN-3DIFF dengan variasi buckling aksial yang dihitung dari BATAN-2DIFF. Tampang lintang yang berupa konstanta sel yang diperoleh pada perhitungan WIMS terdahulu. Dari perhitungan teras ini diperoleh harga faktor perlipatan efektif $k_{eff} = 0,6367$.

PEMBAHASAN DAN KESIMPULAN

Dalam perhitungan ini kita asumsikan bahwa, elemen bakar yang tersimpan dalam tabung pada rak ISFSF adalah elemen bakar segar dan dari perhitungan ini didapatkan harga faktor perlipatan efektif $k_{eff} = 0,6367$. Apabila dalam perhitungan ini kita terapkan elemen bakar bekas dengan burn up = 56 %, maka akan diperoleh harga faktor perlipatan efektif k_{eff} lebih kecil dari 0.6367, karena elemen bakar bekas mempunyai fraksi bakar yang besar. Sehingga dengan kata lain bahwa instalasi ISFSF akan aman, karena tidak akan mengalami kekritisian.

Dari perhitungan dengan paket Program BATAN-2DIFF ini jika dibandingkan dari perhitungan dengan paket program MONK6B, KENO5A yang dilakukan oleh AEA-Technologi akan ada selisih faktor perlipatan efektif 7,86 %

Paket Program	Massa U-235 /elemen (gram)	E w/o	k_{eff}
MONK6B	246,875	19,75	0,6910
BATAN-2DIFF	250	19,75	0,6367

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Bpk. Dr. Ir. FX. Liem Peng Hong dengan penuh keramahannya memberikan arahan dan selalu siap diajak diskusi.

DAFTAR PUSTAKA

1. TRANSFER CHANNEL AND ISFSF, AEA-Engineering, 1993
2. BUDIONO, TA, "Pemetaan Koefisien Temperatur Reaktivitas Teras RSG-GAS dengan Teori Parturbasi Orde Satu", Skripsi Jurusan Teknik Nuklir FT UGM,

4. Yogyakarta, 1994
5. J.R ASKEW, F.J. FAYERS, P.B. KEMSHELL, "A General Description of the
6. Laticce Code WIMS", Journ. of the Brit. Nuclear Energy, Soc. 5 (4) (1996)
7. P.H. LIEM, Komunikasi Pribadi.
8. J.J. DUDERSTADT, and L.J. HAMILTON, "Nuclear Reactor Analysis", John Wiley and Son, New York, (1976).
9. SAR (Safety Analysis Report) RSG-GAS, Vol 1 Chapter 4, 1989.
11. J.R. Lamarsh, "Introduction to Nuclear Reactor Theory", Addison-Wesley, (1966).
12. Lampiran 1

Lampiran 1

Perhitungan dimensi dan komposisi sel

Dimensi rak ISFSF :

bagian luar : 940 mm x 940 mm

bagian dalam : 920 mm x 920 mm

diameter luar : 127,6 mm

jumlah tabung Stainless steel : 42 buah dan tebalnya = 4,78 mm

Luas Stainless Steel :

$$a. \text{ Luas tabung SS1} = 42 \times 0,25 \times \pi (12,76^2 - (12,76 - 0,478)^2) = 394,8536 \text{ cm}^2$$

$$b. \text{ luas dinding rak SS2} = 2 \times (94 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}) + 2 \times ((94 - 4) \text{ cm} \times 2 \text{ cm}) = 736 \text{ cm}^2$$

Luas total Stainless Steel = 1130,8536 cm.

Sehingga massa SS = 1130,8536 x 8,03 = 9080,7544

$$\text{w/o SS} = 0,6251 \%$$

Luas Air = panjang bagian dalam rak - luas SS1 - luas grade elemen bakar

$$= (92^2 - 394,8536 - (8,1 \times 7,71)) \text{ cm}^2$$

$$= 5446,2099 \text{ cm}^2$$

Sehingga massa air = 5446,2099 x 1,0 = 5446,2099

$$\text{w/o air} = 0,3749 \%$$

Jadi massa jenis campuran $\rho_{camp.} = 2,2087 \text{ gm cm}^{-3}$

$$\text{Rapat atom O } N_O = (0,8881 \times 0,3749 \times 2,2087 \times 0,6023) / 15,99943$$

$$= 0,02768 \text{ atom cm}^{-3} \text{ barns}^{-1}$$

$$\text{Rapat atom H } N_H = (0,1119 \times 0,3749 \times 2,2087 \times 0,6023) / 15,99943$$

$$= 0,05538 \text{ atom cm}^{-3} \text{ barns}^{-1}$$

Rapat atom SS (68,42 Fe, 0,08 C, 2,0 Mn, 1,0 Si, 18,0 Cr, 10,5 Ni) :

Rapat atom Fe	=	0,96298	atom cm ⁻³	barns ⁻¹
Rapat atom C	=	0,00009	atom cm ⁻³	barns ⁻¹
Rapat atom Mn	=	0,00048	atom cm ⁻³	barns ⁻¹
Rapat atom Cr	=	0,00460	atom cm ⁻³	barns ⁻¹
Rapat atom Ni	=	0,00238	atom cm ⁻³	barns ⁻¹

Lampiran 2

Jumlah pelat elemen bakar di TWC	960
Jumlah pelat EB di elemen bakar	21
Grid EB, mm x mm	81,0 x 77,1
Ukuran bagian luar EB, mm x mm	80,5 x 76,1
Panjang meat, mm	600,0
Lebar meat, mm	62,75
Tebal meat, mm	0,54
Panjang pelat EB, mm	625
Lebar pelat EB, mm	70,75
Tebal pelat EB, mm	1,3
Tebal kelongsong, mm	0,38
jarak antar pelat di elemen bakar, mm	2,55
Pengkayaan nominal U-235, %	19,75
Rentang pengkayaan U-235, %	19,25-19,95
Jenis bakar Oksida	U3O8-Al
Jenis Bahan bakar Silisida	U3Si2-Al
Bahan material kelongsong	AlMg2
Rapat jenis AlMg2	2,68
Rapat jenis AlMgSi1	2,70
Komposisi AlMg2, w/o	1,7-2,4 Mg, 0,3 Si, 0,4 Fe, 0,05 Cu, 0,3 Mn, 0,3 Cr, 0,2 Zn, 0,1 Ti, sisa Al
Komposisi AlMgSi1, w/o	0,6-1,2 Mg, 0,75-1,3 Si, 0,4-1,0 Mn, 0,0-0,3 Cr, 0,5 Fe, 0,10 Cu, 0,2 Zn, 0,1 Ti, sisa Al
Rapat jenis U3O8, gm/cm	8,3
Rapat jenis U3Si2, gm/cm	12,2
Bahan material side plate	AlMgSi1

Tabel 1 : Spesifikasi Desain Elemen Bakar RSG-GAS⁶⁾

Lampiran 3

Bilangan Avogadro	$0,602252 \times 10^{24}$
Temperature Kelvin (0 C)	273,15
Tekanan, 1 kg/cm ²	14,50 psi
Berat Atom H	1,00797
Berat Atom C	12,01115
Berat Atom O	15,9994
Berat Atom Mg	24,312
Berat Atom Al	26,9815
Berat Atom Si	28,086
Berat Atom Ti	47,90
Berat atom Cr	51,996
Berat Atom Mn	54,9380
Berat Atom Fe	55,8473
Berat Atom Ni	58,71
Berat Atom Cu	63,54
Berat Atom Zn	65,37
Berat Atom Cd	112,40
Rapat Jenis H ₂ O (4C), gm/cm ³	1,0
Rapat Jenis Al, gm/cm ³	2,7

Tabel 2 : Konstanta Fisika ⁷⁾

Lampiran 4

Jenis Penyerap	Jenis garpu (fork type)
Bahan penyerap	AgInCd
Komposisi bahan penyerap w/o	80 Ag, 15 In, 5 Cd
Rapat jenis AgInCd, gram/cm ³	9,32
Bahan kelongsong penyerap	SS 321
Komposisi SS 321, w/o	0,08 maks C, 2,00Mn, 1,00Si, 17,00-19,00 Cr, 9,00-12,00 Ni, sisa Fe
Rapat jenis SS 321, gr/cm ³	8,03
Lebar bahan penyerap AgInCd, mm	3,38
Lebar bahan penyerap total, mm	5,08
Panjang bahan penyerap total, mm	65,0
Bahan pelat pengarah	AlMg2
Lebar pelat pengarah	1,3

Tabel 3 : Spesifikasi Desain Elemen Kendali RSG-GAS⁶⁾