

PERHITUNGAN REAKTIVITAS TERAS RSG-GAS DENGAN PROGRAM CITATION-3D

Taswanda Taryo
Rokhmadi

ABSTRAK

PERHITUNGAN REAKTIVITAS TERAS RSG-GAS DENGAN PROGRAM CITATION-3D. Mengingat bahwa reaktivitas teras merupakan salah satu besaran yang sangat penting dalam keselamatan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS), maka litbang ini perlu dilakukan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis perhitungan dengan memakai program komputer terpilih yaitu WIMSD4 untuk perhitungan generasiampang lintang dan parameter-parameter lain serta CITATION untuk perhitungan reaktivitas teras RSG-GAS. Selain perhitungan dengan memakai program komputer akan dilakukan verifikasi dengan data dan informasi teras kerja RSG-GAS. Salah satu kasus dalam pengujian kedua program komputer yang disebutkan sebelumnya adalah perhitungan k_{eff} teras kerja RSG-GAS dalam keadaan semua batang kendali berada penuh di dalam dan di luar teras RSG-GAS. Hasil yang ditunjukkan adalah bahwa k_{eff} dalam kondisi tersebut di atas berturut-turut adalah lebih kecil dari satu ($k_{eff} < 1$) dan lebih besar dari satu ($k_{eff} > 1$).

ABSTRACT

CALCULATION OF THE RSG-GAS CORE USING COMPUTER CODE CITATION-3D. Since core reactivity is one of the reactor safety parameters, this R&D has been carried out. To carry out the R&D, the code called WIMSD4 was used respectively for generating cross section and diffusion parameters. The code CITATION was then applied to estimate core reactivity in the RSG-GAS core. To verify the results of the calculation, data and information of the RSG-GAS Typical Working Core were used. To prove the codes reliably used, the case of all control elements down in the reactor core and that of all control rods up in the core were applied. The results taking into account those cases showed respectively that k_{eff} are less and greater than unity ($k_{eff} < 1$ and $k_{eff} > 1$).

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) telah diresmikan oleh Presiden Soeharto pada tanggal 20 Agustus 1987. Setelah tanggal itu, komisioning untuk teras pertama sampai dengan teras ke enam ¹⁾. Disamping komisioning untuk teras 1 sampai dengan teras 6, banyak kegiatan yang dilakukan di dalam teras RSG-GAS, diantaranya pemasangan Xenon Loop, Difraktometer dlsb ²⁾. Pemasangan dan komisioning peralatan di dalam teras cukup memakan waktu yang lama, sehingga akhirnya RSG-GAS mencapai daya 30 MW termal pada tanggal 30 Maret 1992.

Untuk mengetahui secara rinci karakteristik RSG-GAS diperlukan data dan

informasi fisika reaktor diantaranya besaran reaktivitas teras untuk setiap teras. Salah satu besaran yang sangat berpengaruh dalam penentuan besarnya kesetimbangan teras yaitu besar reaktivitas dari seluruh batang kendali. Besar reaktivitas seluruh batang kendali diantaranya bergantung kepada interaksi masing-masing batang kendali. Agar hasil reaktivitas batang kendali total ketelitiannya dapat diandalkan, maka diperlukan litbang baik secara numerik dengan paket program maupun validasinya dengan data dan informasi eksperimen teras-teras transisi. Dengan litbang ini diharapkan dapat diperoleh hasil verifikasi numerik dan hasil validasi dengan eksperimen. Dalam litbang ini yang pertama dilakukan

adalah disamping studi kelayakan dari program terpilih untuk perhitungan ini, juga ketersediaan program-program yang akan dipilih.

Dengan telah tersedianya paket program untuk perhitungan reaktivitas teras RSG-GAS, diantaranya program WIMSD4 1-D³⁾ untuk generasi tampang lintang dan parameter-parameter difusi neutron serta program CITATION 2/3 Dimensi⁴⁾ yang berada di dalam *main frame* BATAN untuk perhitungan difusi banyak kelompok. Sebagai uji coba bahwa paket program terpilih tersebut layak untuk dipakai, maka telah dilakukan perhitungan k_{eff}

dari teras RSG-GAS dalam keadaan seluruh batang kendali berada di dalam teras RSG-GAS (*fully down*) dan keadaan satu batang kendali dengan reaktivitas terbesar macet. Hasil yang didapat dari dua kejadian tersebut menunjukkan bahwa k_{eff} teras RSG-GAS pada kondisi-kondisi tersebut di atas lebih kecil dari satu ($k_{eff} < 1$).

TEORI

Seperti sudah diketahui bahwa persamaan difusi banyak kelompok dapat diturunkan dari persamaan transport diferensial Boltzmann seperti di bawah ini⁵⁾.

$$\frac{1}{v} \frac{\delta \varphi(r, \Omega, E)}{\delta t} = -\Omega \cdot \nabla \varphi(r, \Omega, E) - \sum_t (E) \varphi(r, \Omega, E) + \int_{4\pi} \int_0^\infty \sum_s (\Omega' \rightarrow \Omega, E' \rightarrow E) \varphi(r, \Omega', E') dr d\Omega' + S(r, \Omega, E) \quad (1)$$

Kondisi Awal pada $t=0$, $\varphi(r, E, \Omega) = \varphi_0(r, E, \Omega)$

Kondisi Batas $\varphi(r_s, E, \Omega) = 0$, jika $\Omega \cdot e_s < 0$, seluruh r_s pada S .

dimana,

$\varphi(r, \Omega, E)$ = jumlah neutron pada titik r dengan energi E dan bergerak dengan arah sekitar Ω dan Ω adalah vektor

Persamaan 1

sebelah kanan = bocoran dari elemen volume

Persamaan 2

sebelah kanan = kehilangan karena absorpsi dan hamburan ke arah lain

Persamaan 3

sebelah kanan = penambahan karena hamburan neutron dari interval energi dan arah lain

Persamaan 4

sebelah kanan = produksi sumber neutron dari elemen volume

Pada persamaan (1), dengan anggapan bahwa bidang neutron simetri secara rotasi sekitar sumbu distribusi dan bebas terhadap t dan E , maka persamaan transport (1) menjadi :

$$\Omega \cdot \nabla \varphi(r, \Omega) + \sum_t \varphi(r, \Omega) = \int_{4\pi} \int_0^\infty \sum_s (\Omega' \rightarrow \Omega) \varphi(r, \Omega') dr d\Omega' + S(r, \Omega) \quad (2)$$

Lebih jauh lagi, dengan menganggap bidang simetri datar serta sumbu distribusi adalah sumbu x , maka persamaan (2) menjadi :

$$\cos \theta \frac{\delta \varphi(x, \Omega)}{\delta x} + \sum_t \varphi(x, \Omega) = \int \sum_s (\Omega' \rightarrow \Omega) \varphi(x, \Omega') d\Omega' + \frac{1}{4\pi} S(x) \quad (3)$$

Di dalam material isotropik, tampang lintang hamburan, $\Sigma_s (\Omega' \rightarrow \Omega)$ dapat dikembangkan ke dalam satu serial polinomial

$$\cos\theta \frac{\delta\phi(x, \Omega)}{\delta x} + \sum_t \phi(x, \Omega) = \frac{1}{2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) \sum_{s1} P_s(\cos\theta) P_l(\cos\theta) \int_0^{\pi} \phi(x, \Omega') P_l(\cos\theta') \sin\theta' d\theta' + \frac{1}{4\pi} S(x) \dots\dots(4)$$

dan dengan ekspansi $\phi(x, \Omega)$ sampai dua tingkat polinomial Legendre, fluks $\phi(x, \Omega)$ dapat ditulis

$$\phi(x, \Omega) \cong \frac{1}{4\pi} \phi(x) + \frac{3}{4\pi} J(x) \cos\theta \dots\dots(5)$$

dimana,

ϕ = jumlah neutron yang berpenetrasi di dalam bola dengan $r = 1/\pi^{0.5}$ setiap detik dari seluruh sisi dan biasa disebut fluks neutron, besaran skalar yang dicapai dengan penjumlahan besaran dari reaktor meliputi seluruh arah

J = kerapatan arus neutron, besaran vektor yang dicapai dengan penjumlahan vektor fluks meliputi seluruh sudut.

$$J = \frac{1}{3[\Sigma_s(1 - \cos\theta) + \Sigma_a]} \frac{d\phi}{dx} = -D \frac{d\phi}{dx} \dots\dots(8)$$

dimana $D(\text{cm})$ disebut sebagai koefisien difusi. Dengan menggabungkan persamaan (8) dan (5) akan menghasilkan persamaan dasar difusi :

$$D \frac{d^2\phi}{dx^2} - \sum_a \phi(x) + S(x) = 0 \dots\dots(9)$$

Pendekatan yang paling berguna untuk menampilkan analisis neutron adalah persamaan difusi neutron. Perhitungan difusi dengan komputer lebih murah dibandingkan dengan penyelesaian menggunakan persamaan transport karena teori difusi mengurangi jumlah maksimum tujuh variabel bebas menjadi lima, yaitu tiga variabel ruang, satu variabel energi dan satu variabel waktu ⁵⁾.

Legendre dengan $\cos \theta = \Omega \cdot \Omega'$ serta memberikan :

Dengan gabungan persamaan (5), (4) dan memasukkannya ke dalam persamaan (3) serta mengintegrasikan sekali seluruh $d\Omega$ dan sekali meliputi $\cos \theta d\Omega$ akan didapat :

$$\frac{dJ}{dx} + \sum_a \phi = S(x) .$$

dan

$$\frac{1}{3} \frac{dJ}{dx} + (\sum_t - \sum_{s1}) J = 0$$

Dari persamaan (7), hukum difusi Fick dapat dicapai :

Mengingat teori difusi dengan segala keterbatasannya lebih banyak diinginkan daripada teori transport yang mahal, banyak koreksi yang timbul dari teori transport digunakan dalam penyelesaian teori difusi. Dengan koreksi-koreksi yang benar, teori difusi masih dapat diterima untuk digunakan untuk analisis masalah-masalah reaktor skala besar. Dengan demikian, sebuah paket komputer umum selayaknya mempunyai pilihan-pilihan yang dapat memasukkan koreksi-koreksi tersebut.

Perhitungan distribusi daya, faktor perlipatan dan yang lainnya dapat dicapai dengan penyelesaian persamaan difusi banyak

kelompok yang merupakan penyederhanaan dari teori transport ⁵⁾. Persamaan difusi yang telah

disebutkan sebelumnya diberikan oleh persamaan di bawah ini.

$$-\nabla \cdot D^g(r) \nabla \phi^g(r) + \sum_t^g(r) \phi^g(r) = \sum_{g'=1}^G \sum_s^{g' \rightarrow g}(r) \phi^{g'}(r) + \frac{\chi^g}{k_{\text{eff}}} \sum_{g'=1}^G \nu^{g'} \sum_f^{g'}(r) \phi^{g'}(r),$$

$g = 1, 2, \dots, G$, dimana,

G = jumlah kelompok energi,

g = indeks kelompok,

r = posisi,

ϕ^g = fluks neutron kelompok g ,

D^g = konstanta difusi kelompok g ($=1/3 \Sigma_{tr}^g$),

Σ_{tr}^g = tampang lintang dari kelompok g ,

$\nu \Sigma_f^g$ = tampang lintang sumber fisi dari kelompok g ,

Σ_t^g = tampang lintang total untuk kelompok g ,
 $= \Sigma_a^g + \Sigma_{g'=1}^G \Sigma_{s \rightarrow g'}^g$

Σ_a^g = tampang lintang serapan untuk kelompok g ,

$\Sigma_{s \rightarrow g'}^g$ = tampang lintang hamburan dari kelompok g' ke g ,

χ^g = fraksi sumber fisi di dalam kelompok g ,

k_{eff} = konstanta perlipatan efektif.

Persamaan-persamaan di atas diselesaikan dengan menggunakan metoda beda hingga dengan membuat variabel ruang serta dengan menggunakan teknik iterasi luar dan dalam akhirnya dapat menyelesaikan nilai eigen k_{eff} dan fluks neutron banyak kelompok $\phi^g(r)$.

Perlu untuk diingat bahwa ada empat pendekatan persamaan difusi terhadap persamaan teori transport, yaitu :

- fluks angular dapat dinyatakan hanya dengan satu kebergantungan angular anisotropik linear

$$\phi(r, \Omega, t) \cong \frac{1}{4\pi} \phi(r, t) + \frac{3}{4\pi} J(r, t) \Omega \dots \dots \dots (11)$$

(fluks angular tidak begitu bergantung kepada sudut, dengan demikian pendekatan difusi cukup sah).

- pendekatan satu kelompok
- sumber isotropik.
- perubahan kerapatan arus neutron yang lambat terhadap waktu dibandingkan dengan waktu hamburan rata-rata

$$\frac{1}{|J|} \frac{\partial |J|}{\partial t} \ll \langle \nu \Sigma_t \rangle \dots \dots \dots (12)$$

dengan demikian, kerapatan arus terhadap waktu jauh lebih lambat dibandingkan dengan frekuensi hamburan $\nu \Sigma_t$, yang biasanya dalam orde 10^5 det^{-1} atau lebih ⁵⁾.

Deskripsi Singkat Program Komputer CITATION.

Satu code yang cukup terkenal yaitu CITATION telah digunakan untuk menghitung faktor perlipatan teras reaktor, distribusi daya, dan terutama sekali distribusi fluks disekitar elemen kontrol.

Paket program CITATION dikembangkan oleh ORNL ⁴⁾ dapat menghitung masalah dua dan tiga dimensi di dalam teras reaktor. Teras reaktor dapat dibagi dalam tiga daerah, yaitu teras, reflektor dan air. Paket tersebut telah diuji dengan menggunakan *benchmarking IAEA* dengan tujuan untuk menguji hasil-hasil paket program WIMSD4.

Simulasi teras RSG-GAS terdiri dari daerah (daerah-daerah) dimana setiap material di dalam setiap daerah dianggap *uniform*. Seluruh tampang lintang yang didapat dari WIMSD4 tetap di dalam satu daerah; di dalam satu daerah, hanya fluks dan sumber neutron total yang bergantung ruang.

Persamaan-persamaan difusi neutron dipecahkan secara numerik untuk seluruh teras reaktor (teras, reflektor dan daerah di atas jarak ekstrapolasi linear) dengan menggunakan kondisi batas dan antar-muka yang tepat.

Persamaan difusi diganti oleh satu pendekatan ekuivalen beda hingga, dimana hal tersebut dicapai dengan penempatan pada setiap daerah sejumlah interval *mesh* yang sama dan melakukan pendekatan terhadap persamaan turunan/diferensial dengan analogi beda hingga pada seluruh titik-titik *mesh* yang ada. Interval *mesh* tetap dalam suatu daerah, tetapi bisa jadi bervariasi dari suatu daerah ke daerah yang lain. Interval *mesh* dipilih sedemikian kecil sehingga fluks menjadi linear pada titik-titik *mesh* yang berdekatan ⁶⁾.

Dengan menggunakan persamaan turunan pertama dan kedua untuk fluks setiap titik *mesh*, maka setiap kelompok persamaan diferensial dapat diganti dengan N persamaan aljabar. Dengan menggunakan relasi tiga titik untuk fluks di dalam kelompok untuk perhitungan satu dimensi, sebuah persamaan yang dicapai dapat berlaku untuk seluruh titik kecuali pada bagian-bidang antar-muka. Seluruh persamaan akan mempunyai tiga fluks yang tidak diketahui, dimana dua daripadanya sangat umum di dalam setiap dua persamaan yang berdekatan. Nilai tunggal dapat dihitung dari kondisi batas pada batas rata-rata dan luar dari perangkat (*assembly*). Didalam kasus

perhitungan dua dimensi seperti dengan CITATION, digunakan lima persamaan yang berbeda. Kemudian perhitungan 3 dimensi dengan menggunakan paket program yang sama dapat dikembangkan.

Dalam pelaksanaan perhitungan, pertama kali pengguna perlu untuk menebak harga distribusi sumber S, yang kemudian S tersebut dinormalisasikan dan diatur pada setiap titik *mesh*. Hal ini dimaksudkan untuk melakukan iterasi pertama. Dengan distribusi sumber S ini, persamaan beda hingga dapat dipecahkan untuk kelompok 1 sampai dengan kelompok 4. Setelah seluruh fluks untuk semua kelompok dihitung, satu distribusi sumber baru dihitung dari distribusi fluks yang didapatkan sebelumnya. Distribusi sumber ini digunakan untuk iterasi berikutnya, dan prosedur ini biasanya disebut iterasi luar. Metode ini dilakukan berulang-ulang sampai kriteria konvergensi tercapai, misalnya, untuk k_{eff} , $e_1 \approx 10^{-5}$ dan untuk fluks, $e_2 \approx 10^{-4}$.

Dalam perhitungan yang akan dilakukan pada bagian berikutnya, untuk hasil perbandingan telah dipakai paket program BATAN 3-DIFF. Program tersebut adalah program untuk menghitung difusi neutron 3 dimensi yang dikembangkan oleh BATAN dan telah diverifikasi dengan program 3DBUM ⁷⁾.

TATA KERJA

Sebelum menghitung k_{eff} yang sekaligus dapat menghitung reaktivitas teras RSG-GAS, diperlukan urutan perhitungan, yaitu, perhitungan homogenisasi dan pemodelan sel, perhitungan dimensi dan komposisi sel dan perhitungan teras ^{8,9)}.

Untuk menghitung sel, telah digunakan program komputer WIMSD4 satu dimensi.

Dengan program ini, diperlukan pemodelan elemen bakar dan kendali RSG-GAS. Dalam hal ini, elemen bakar dan kendali RSG-GAS dipandang sebagai *multiplate*, yang tersusun dari bagian daging, kelongsong, moderator dan *extra region*. WIMSD4 1-D dapat digunakan untuk menghitung sel untuk seluruh material di dalam teras seperti daging dengan fraksi bakar tertentu, reflektor Beryllium dan juga udara didalam teras. Pemodelan elemen bakar dan kendali RSG-GAS dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Pustaka WIMSD4 mempunyai 69 kelompok energi, yang kemudian dalam perhitungan menjadi 4 kelompok energi.

Dimulai dengan spesifikasi material dan geometri, tampang lintang makroskopik dihitung dengan menggunakan pustaka tampang lintang dan jumlah kerapatan sampai komposisi elemen bakar sebagai fungsi fraksi bakar elemen bakar di dalam MWD/THM. Keluaran dari perhitungan ini adalah tabel data di dalam 4 kelompok energi pada berbagai ragam fraksi bakar. Di dalam WIMSD4, ada tiga aspek penting yang dilakukan oleh program, yaitu, perhitungan resonansi, prosedur kondensasi dan perhitungan kebocoran.

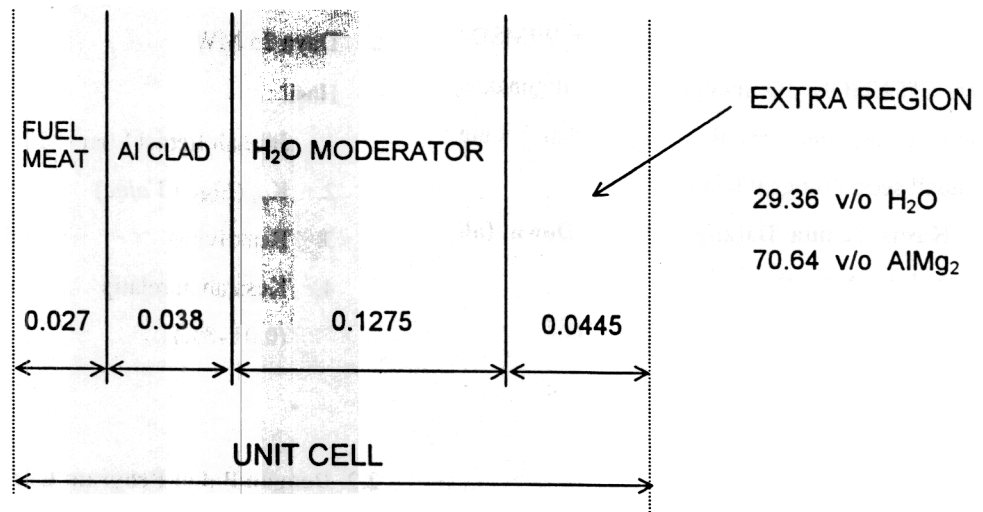
Unit sel yang digunakan dalam perhitungan ini terdiri dari daging, cladding, air yang mempunyai ketebalan nyata serta extra region dengan komposisi dan ketebalan yang tepat untuk memasukkan sisa air dan aluminium dengan perbandingan yang sama serta dianggap sebagai fisik elemen bakar.

Perhitungan sel yang dilakukan yaitu menggunakan opsi WIMSD4 dengan geometri papan dengan pilihan kemungkinan tumbukan untuk menghasilkan konstanta 4 kelompok energi sel rata-rata, yang akhirnya akan dipakai untuk perhitungan teras reaktor. Di dalam

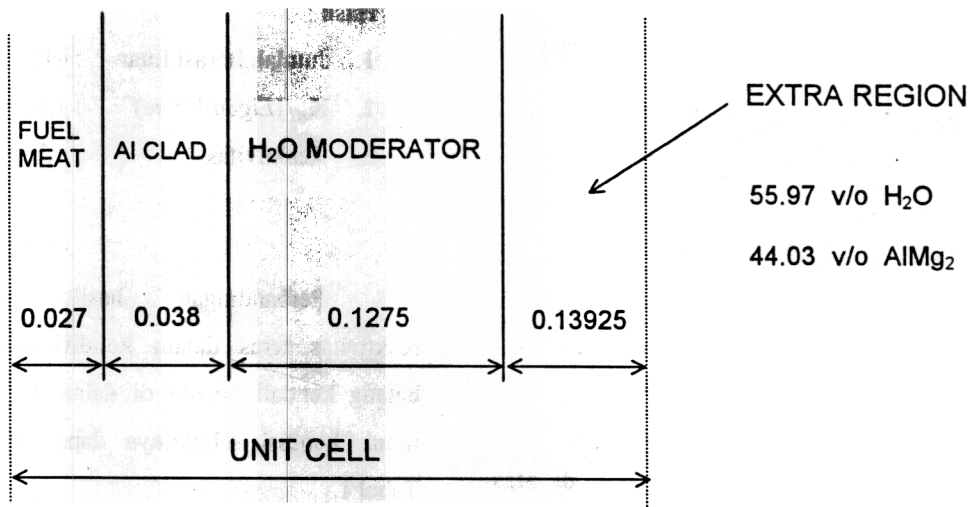
model sel seperti pada Gambar 1 dan 2, konstanta kondensasi dihitung dengan konstanta 69 kelompok energi untuk daerah daging. Konstanta 4 kelompok energi untuk seluruh teras dihitung untuk suhu-suhu daging 20, 30, 50, 100 dan 200 °C dan suhu moderator 20, 30, 40, 60, 80, dan 100 °C yang digunakan untuk perhitungan koefisien reaktivitas.

Tiga tingkatan perhitungan dilakukan oleh WIMSD4, yaitu perhitungan spektrum untuk beberapa daerah di dalam 69 kelompok energi, kemudian spektrum digunakan untuk kondensasi tampang lintang dasar menjadi beberapa kelompok di dalam konstanta ruang yang rinci, dan akhirnya diakhiri dengan perhitungan koreksi kebocoran serta perhitungan fraksi bakar bergantung waktu.

Untuk perhitungan seluruh teras, program difusi 3 dimensi CITATION telah digunakan. Perhitungan dilakukan dengan geometri x-y-z yang terdiri dari 4x4 mesh per perangkat dimana masukan diambil untuk suatu teras kerja RSG-GAS tertentu. Dengan program ini, maka akan didapat harga k_{eff} , distribusi fluks dan daya, koefisien suhu dan reaktivitas batang kendali.



Gambar 1. Model Sel untuk Elemen *Standard* (cm)⁹⁾



Gambar 2. Model Sel untuk Elemen *Kontrol* (cm)⁹⁾

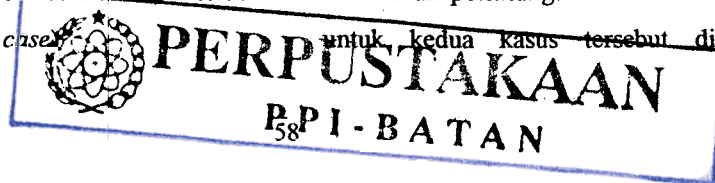
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian tahap pertama ini, untuk menguji kelayakan dari program komputer yang akan digunakan telah dilakukan perhitungan-perhitungan yang berkaitan dengan keadaan sebagai berikut :

1. Keadaan teras reaktor dimana seluruh batang kendali jatuh semua ke dalam teras reaktor (*all rod down case*)

2. Keadaan dimana seluruh batang kendali berada di atas teras reaktor (*all rods up case*)

Sebagai perbandingan, perhitungan di atas dilakukan juga dengan memakai paket program lain, yaitu BATAN-3DIFF yang sudah diverifikasi dan di *benchmark* IAEA. Dengan melakukan perhitungan reaktivitas teras reaktor untuk kedua kasus tersebut di atas dan



dibandingkan dengan hasil dari paket program lain, maka kedua program komputer WIMSD4 dan CITATION 3D mungkin dapat digunakan untuk menghitung reaktivitas teras dan batang kendali secara tunggal RSG-GAS.

1. Kasus Semua Batang Kendali Down (all rod down case)

1.1. Paket Program BATAN-3-DIFF

a. Paket Program BATAN-3-DIFF

b. Kondisi TWC, Hot Xe dan Sm

Daya 25 MW

d. Hasil :

1. Jumlah Iterasi Luar : 96
2. K_{eff} (Eigen Value) : 0,91655
3. Reaktivitas : -9,061399%
4. Kesalahan relatif : 1,8E-2 (1,8%)

b. Kondisi TWC, Hot Xe dan Sm

c. Daya 25 MW

d.

Jumlah Iterasi Luar 101

2. K_{eff} (Eigen Value) , 05879
3. Reaktivitas +5,5351%
4. Kesalahan relatif 1,04829E-4 (0,0148%)

2.2. Dengan Paket Program CITATION-3D

a. Paket Program CITATION

b. Kondisi TWC, Hot Xe dan Sm

c. Daya 25 MW

d.

1. Jumlah Iterasi Luar 415
2. K_{eff} (Eigen Value) 1,05985
3. Reaktivitas +5,6470%

2. Kasus Seluruh Batang Kendali di atas teras RSG-GAS (all rod up case)

2.1. Dengan Paket Program BATAN-3DIFF

a. Paket Program BATAN-3-DIFF

Perbandingan hasil perhitungan reaktivitas teras dalam kondisi baik seluruh batang kendali berada di dalam teras maupun untuk kondisi sebaliknya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan K_{eff} dengan BATAN 3DIFF dan CITATION 3D

No.	Kondisi	Program CITATION 3D (kondisi 1)	Program BATAN 3DIFF (kondisi 2)	Perbedaan (%)
1.	Seluruh Batang Kendali di dalam Teras : a. K_{eff} b. Reaktivitas teras		0,91655 -9,06140%	
2.	Seluruh Batang Kendali di luar			

Teras				
a. K_{eff}		1,05985	1,05879	0,10
b. Reaktivitas teras		+5,6470%	+5,5526%	1,7

*) % Perbedaan = $|(k_{eff1} - k_{eff2})/k_{eff2}| \times 100\%$; $|(p_1 - p_2)/p_2| \times 100\%$.

Dari hasil perhitungan yang dapat dilihat pada Tabel 1, terlihat bahwa prosentase perbedaan hasil perhitungan K_{eff} untuk kondisi seluruh batang kendali RSG-GAS berada di dalam teras sebesar 0,10 %. Untuk suatu hasil perhitungan dalam teras reaktor nuklir, perbedaan ini masih dapat dipertanggungjawabkan ketelitiannya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam uraian pada bagian sebelumnya bahwa :

1. Dalam kasus seluruh batang kendali di dalam teras RSG-GAS dengan BATAN 3-DIFF K_{eff} adalah 0,91655.
2. Dalam kasus seluruh batang kendali berada di atas teras RSG-GAS dengan menggunakan BATAN 3-DIFF dan CITATION didapat harga K_{eff} adalah masing-masing 1,05879 dan 1,05985.
3. Prosentase perbedaan hasil perhitungan dalam kondisi poin 2 tersebut di atas adalah 0,10 %.

Dengan hasil-hasil di atas, dapat dikatakan bahwa perhitungan reaktivitas teras RSG-GAS dengan menggunakan paket program WIMSD4 dan CITATION 3D dapat dilakukan.

Untuk menghitung reaktivitas batang kendali secara tunggal, dapat dilakukan dengan menghitung perbedaan reaktivitas teras antara dua kondisi yang telah disebutkan sebelumnya,

yaitu, kondisi seluruh batang kendali berada di luar teras dan kondisi sebaliknya.

Untuk perhitungan interaksi antar batang kendali, maka disarankan bahwa dalam program yang ada, yaitu CITATION 3D, harus dilengkapi dengan suatu sub program yang mempertimbangkan fenomena interaksi antar batang kendali.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) BATAN-INTERATOM, "Safety Analysis Report, Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy, Rev. 7", 1989.
- 2) Hastowo, H, "Safety of the G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor", Proceeding of the International Symposium on Research Reactors Safety, Operating and Modifications, AECL, Chalk River, Canada, 1989.
- 3) Fayers, F.J, Davison W, George C.H., Halsall, M.J, " LWR WIMS. A Modular Computer Code for the Evaluation of Light Water Reactor Lattices, Part I, Description of Methods ", AEEW.R 785,1972.
- 4) Fowler,T.B., Vondy, D.R. and Cunningham, G.W, "Nuclear Reactor Core Analysis Code : CITATION", ORNL-TM-2496, Revision 2, ORNL and Union Carbide Corporation, 1971.
- 5) Duderstadt, J.J., Nuclear Reactor Analysis, The University of Michigan, John Wisley & Son, 1976.

- 6) Stacey, Jr., W.M., "Space Time Nuclear Reactor Kinetics", Academic Press, New York, 1969.
- 7) Liem, P.H., "Pengembangan Program Komputer Standar Batan Difusi Neutron Banyak Kelompok 3-D (BATAN-3-DIFF), Seminar Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir III, Jakarta, 1994.
- 8) Rokhmadi dkk., "Perhitungan Kriticalitas ISFSF", Prosiding Seminar Hasil Penelitian PRSG Tahun 1996/1997", ISSN 0854-5278, Serpong, 1997.
- 9) Arbie, B, "Oxide to Silicide Fuel Conversion Study for Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy", Ph.D Thesis,

University of Gadjah Mada, Yogyakarta,
Indonesia, 1996.

PERTANYAAN

Penanya : Kristejo

Pertanyaan :

Apakah program BATAN 3-DIF dan CITATION sudah memperhitungkan pengaruh penyerap kuat (batang kendali) dalam perhitungan keff.

Jawaban :

Sudah.