

PENENTUAN KOEFISIEN REAKTIVITAS VOID TERAS RSG-GAS BERBAHAN BAKAR SILISIDA

Lily Suparlina

ABSTRAK

PENENTUAN KOEFISIEN REAKTIVITAS VOID TERAS RSG-GAS BERBAHAN BAKAR SILISIDA. Dengan adanya rencana penggunaan bahan bakar silisida pada teras RSG-GAS, maka untuk menunjang salah satu aspek keselamatan perlu dilakukan pengkajian mengenai parameter kinetik. Salah satu parameter tersebut adalah koefisien reaktivitas void yang telah dilakukan melalui perhitungan dengan tingkat muat silisida 300gr/cm^3 . Perhitungan dilakukan dengan menggunakan dua paket program, yaitu WIMS/D4 dan Batan-2DIFF. Perhitungan sel dilakukan pada awal teras untuk teras TWC dengan fraksi bakar aktual, semua batang kendali ditarik ke atas untuk kondisi teras panas, xenon setimbang dan temperatur saturasi. Generasi sel dari berbagai material pembentuk teras dilakukan dengan program transport satu dimensi dalam 4 kelompok energi neutron dengan metode S_n . Perhitungan koefisien reaktivitas void dilakukan dengan cara pengurangan densitas moderator sampai 5 %, sedangkan untuk melihat sifat dari reaktivitas voidnya sendiri, dilakukan perhitungan koefisien reaktivitas void s/d 70 % fraksi void. Konstanta tampang lintang makroskopik sebagai keluaran program WIMS/D4 diinterpolasi untuk mendapatkan harga tampang lintang makroskopik dengan fraksi bakar aktual yang digunakan sebagai masukan untuk perhitungan teras pada program difusi neutron dengan metode *beda hingga*. Harga koefisien reaktivitas void di teras RSG-GAS berbahan bakar silisida di dapat dari perbedaan harga reaktivitas yang dihitung dengan menggunakan paket program Batan-2DIFF. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga koefisien reaktivitas void untuk teras RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan muatan 300gr/cm^3 pada kondisi saturasi adalah $-1,36\text{ pcm}/\% \text{ void}$, dan harga tersebut memenuhi kriteria keselamatan.

ABSTRACT

DETERMINATION OF VOID COEFFICIENT OF REACTIVITY FOR RSG-GAS SILICIDE FUELED CORE. Concerning to the usage of silicide fuel for RSG-GAS core, to support the safety aspect, it is needed to perform the assessment of kinetics parameters. One of the parameters is void coefficient of reactivity for silicide fueled core with 300gr/cm^3 loaded that has been calculated. Two computer codes were used to compute the coefficient namely WIMSD/4 and Batan-2DIFF. The cell calculation was conducted for actual burn up. All control rods up for hot, xenon free and saturate temperature condition. Cell generation for variety of core burn-up and void fraction was done by one dimension transport code with S_n method for 4 neutron energy groups. The calculation of void coefficient was carried out by reducing the moderator density until 5 %, meanwhile to determine the void coefficient of reactivity behavior the moderator density reduced until 70 % void fraction. The macroscopic cross section calculated by WIMSD/4 was interpolated to obtained the macroscopic cross section for actual burn-up and these result were used as the input of core finite difference diffusion code. The Void coefficient of reactivity for silicide RSG-GAS core was determined from the difference of the reactivity values calculated using Batan-2DIFF. The calculation showed that the void coefficient of silicide 300 gr/cm^3 loaded for saturate condition is $1.36\text{ pcm}/\% \text{ void}$ and the value is in agreement with the safety criteria.

PENDAHULUAN

RSG-GAS merupakan reaktor jenis kolam (*swimming pool reactor*) dengan pendingin dan moderator air ringan (H_2O) dan dirancang untuk menghasilkan daya nominal sebesar 30 MW dan fluks neutron termal rerata sebesar 2×10^{14} n/cm²s. Dengan adanya rencana penggunaan bahan bakar silisida sebagai pengganti bahan bakar oksida pada teras RSG-GAS, maka perlu dilakukan kajian mengenai kecelakaan reaktivitas di teras reaktor.

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi keselamatan operasi reaktor adalah parameter kinetik, sehingga parameter kinetik suatu reaktor perlu untuk diketahui. Koefisien Reaktivitas Void merupakan salah satu parameter kinetika reaktor, yang meskipun tidak besar pengaruhnya untuk reaktor riset, tapi perlu juga untuk diketahui. Dalam reaktor riset pengaruh adanya void dapat disimulasikan dengan memasukkan udara kedalam teras.

Dalam makalah ini dibahas mengenai penentuan koefisien void untuk teras RSG-GAS berbahan bakar silisida dengan data fraksi bakar aktual teras TWC. Penentuan koefisien reaktivitas void ditentukan melalui perhitungan yang dilakukan dalam dua tahap, yaitu perhitungan sel dengan paket program WIMSD/4 yang menyelesaikan persamaan transport satu dimensi dalam 4 kelompok energi neutron dengan metode S_n dan perhitungan teras dengan paket program Batan-2DIFF yang menyelesaikan persamaan difusi neutron dua dimensi (x-y) dengan metode *beda hingga*. Program tersebut telah teruji keakuratannya ⁽¹⁾. Perhitungan sel dilakukan untuk temperatur operasi, saturasi serta dalam kondisi teras panas xenon setimbang. Keberadaan void yang

dianggap tercampur merata di seluruh teras, ditunjukkan dengan penurunan densitas pada perhitungan sel. Harga tampang lintang makroskopik untuk berbagai material dengan berbagai densitas moderator dalam format CITATION yang digunakan dalam perhitungan teras untuk fraksi bakar aktual dilakukan dengan menggunakan program interpolasi linier. Sedangkan perhitungan reaktivitas akibat adanya void (perubahan densitas moderator) dilakukan dalam perhitungan teras untuk awal dan akhir siklus operasi.

TEORI

Void merupakan gelembung-gelembung udara dalam moderator yang dapat mengakibatkan berkurangnya kerapatan moderator dan keberadaannya dapat mengganggu aktivitas reaktor.

Adanya void di dalam teras reaktor akan merubah faktor multiplikasi efektif neutron dan merupakan gangguan reaktivitas teras reaktor. Gangguan/perubahan kecil pada keseimbangan reaksi pembelahan bahan bakar dalam teras reaktor saat dioperasikan dalam keadaan kritis pada suatu daya dapat ditunjukkan oleh perubahan reaktivitasnya. Besar kecilnya perubahan reaktivitas tergantung pada lokasi void itu sendiri. Gangguan itu mengakibatkan perubahan terhadap keseimbangan produksi neutron yang ditunjukkan pada perubahan reaktivitasnya.⁽²⁾

KOEFISIEN REAKTIVITAS VOID

Perubahan faktor multiplikasi efektif akibat adanya void dapat ditunjukkan oleh perubahan reaktivitas $\Delta\rho$. Parameter yang berhubungan dengan adanya void adalah koefisien

reaktivitas void yang menggambarkan sensitivitas reaktor terhadap adanya void.

Koefisien reaktivitas void didefinisikan sebagai perubahan reaktivitas $d\rho$ tiap perubahan volume void dV , yang ditulis sebagai ⁽²⁾:

$$\alpha_v = \frac{d\rho}{dV} \quad (1)$$

Dimana :

α_v = koefisien reaktivitas void (pcm/% void)

$d\rho$ = perubahan reaktivitas (%)

dV = perubahan fraksi void (% void)

Telah disebutkan sebelumnya bahwa keberadaan void akan merubah kerapatan moderator, akibatnya akan mengganggu kesetimbangan produksi neutron

Keberadaan void akan merubah kerapatan moderator, akibatnya akan mengganggu kesetimbangan produksi neutron, dalam hal ini koefisien reaktivitas void dapat ditulis sbb⁽²⁾:

$$\alpha_T^M = \frac{1}{k} \frac{dk}{dT_M} = \ln\left(\frac{1}{p}\right) \frac{dN_M}{dT_M} \quad (2)$$

$\frac{dN_M}{dT_M}$ = perubahan kerapatan moderator terhadap perubahan temperatur.

Harga $\frac{dN_M}{dT_M}$ akan semakin negatif dan semakin besar jika temperatur mendekati temperatur saturasi.

Probabilitas resonansi pada tangkapan neutron dapat ditulis ⁽²⁾:

$$p = \exp\left[-\frac{N_f}{\sum N_m \sigma_p} I\right] \quad (3)$$

Dimana :

p = probabilitas resonansi

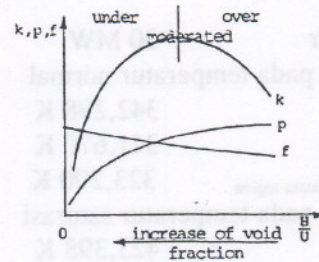
N_f = rapat atom fuel

N_m = kerapatan moderator

I = integral resonansi

σ_p = tampang lintang serapan

Hubungan antara fraksi void dan koefisien reaktivitas void ditunjukkan pada gambar berikut ini ⁽³⁾ :



Gambar 1. Hubungan antara fraksi void dengan probabilitas lolos resonansi dan faktor guna termal.

Void dalam moderator mengurangi kerapatan moderator dan berpengaruh pada probabilitas lolos resonansi dan faktor guna termal. Perubahan dalam kerapatan moderator mempengaruhi perbandingan jumlah atom H/U. Kerapatan moderator berkurang akibat dari perbandingan H/U dan void. Karena p dan f bergantung pada perbandingan H/U, maka faktor multiplikasi juga terpengaruh ⁽³⁾.

LANGKAH PERHITUNGAN

Perhitungan koefisien reaktivitas void dilakukan dalam dua tahap, yaitu perhitungan sel dengan menggunakan paket program WIMS/D4 dan perhitungan teras dengan menggunakan paket program difusi Batan-2DIFF. Diagram alir untuk masing-masing program ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 ⁽¹⁾.

Perhitungan dilakukan untuk teras TWC RSG-GAS yang menggunakan 40 buah elemen bakar dan 8 elemen kendali dengan harga fraksi bakar tertentu untuk masing-masing

elemen bakar. Susunan teras dan harga fraksi bakar teras TWC awal dan akhir siklus ditunjukkan pada Gambar 4.

Data-data perhitungan yang dipergunakan diambil dari geometri teras TWC, adalah sebagai berikut:

Daya reaktor	30 MW
Perhitungan pada temperatur normal	
- T_{meat}	342,298 K
- T_{clad}	341,670 K
- $T_{moderator/extra\ region}$	323,290 K
Perhitungan pada temperatur saturasi	
- T_{meat}	423,398 K
- T_{clad}	417,110 K
- $T_{moderator/extra\ region}$	437,380 K
Jumlah pelat elemen bakar di elemen bakar	21 buah
Tebal meat	0,54 mm
Tebal clad (kelongsong)	0,38 mm
Tebal moderator	2,55 mm

Jumlah Kerapatan Atom Meat

NU_{235} (U_{235})	1,80030E-03
NU_{238} (U_{238})	7,22274E-03
NP_{239} (Pu_{239})	1,00000E-27
N_{27} (Al)	3,91012E-02
N_{16} (O)	6,01537E-03

Jumlah kerapatan atom kelongsong

NU_{3200} (Mg)	1,36127E-03
N_{29} (Si)	1,72395E-04
N_{63} (Cu)	1,26989E-05
N_{55} (Mn)	8,81320E-05
N_{56} (Fe)	1,15597E-04
N_{52} (Cr)	9,31187E-05
N_{27} (Al)	5,76030E-02

Jumlah kerapatan atom moderator

N_{16} (O)	3,30269E-02
N_{2001} (H)	6,60537E-02

Jumlah kerapatan extra region

N_{3200} (Mg)	5,58099E-04
N_{29} (Si)	3,32123E-04
N_{63} (Cu)	9,29143E-05
N_{55} (Mn)	1,21162E-04
N_{56} (Fe)	9,51386E-05
N_{52} (Cr)	4,10691E-05

N_{27} (Al)	3,98989E-02
N_{16} (O)	1,01749E-02
N_{2001} (H)	2,03497E-02

Perhitungan Sel dengan paket program WIMS/D4

Perhitungan sel dimaksudkan untuk mendapatkan harga tampang lintang makroskopik, yang dilakukan dalam tiga macam kondisi yang berbeda. Langkah pertama ialah perhitungan untuk kondisi teras operasi dengan temperatur operasi normal, xenon setimbang. Dalam langkah pertama ini, void dianggap belum terjadi. Langkah ke dua, perhitungan untuk kondisi operasi temperatur saturasi⁽⁴⁾, xenon setimbang tanpa void. Langkah ketiga perhitungan untuk kondisi operasi temperatur saturasi dan terjadi void. Besarnya void yang dihitung untuk 5% - 70% dengan kenaikan 5%. Untuk mendapatkan harga tampang lintang makroskopik sesuai dengan fraksi bakar aktual, dilakukan dengan menggunakan program perhitungan interpolasi linier Polatexs.

Perhitungan Teras dengan Paket Program Batan-2DIFF

Untuk memperoleh harga reaktivitas yang diinginkan, hasil perhitungan sel pada paket program WIMS/D4 berupa harga tampang lintang makroskopik dengan harga fraksi bakar aktual digunakan dalam perhitungan teras yang menggunakan paket program Batan-2DIFF dengan format CITATION. Harga buckling aksial yang digunakan dalam perhitungan teras tersebut adalah 1,764E-03.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melalui seluruh proses perhitungan maka diperoleh hasil berupa harga k_{eff} reaktivitas teras untuk masing-

masing kondisi. Harga koefisien reaktivitas void dihitung terhadap harga reaktivitas teras kondisi operasi temperatur saturasi dengan menggunakan persamaan (1).

Hasil perhitungan koefisien reaktivitas void teras TWC RSG-GAS berbahan bakar silisida Tabel 1

Tabel 1. Hasil perhitungan koefisien reaktivitas void untuk awal siklus.

Fv (% void)	k_{eff}	ρ (‰)	$\Delta\rho$ (‰)	α_v ($\Delta\rho/\%void$)
0	1,0356	3,4377	-	-
0.01	1,0217	2,1229	0	-0,1356
5	1,0417	1,4451	-0,6778	-0,1356
10	1,0060	5,9775	-1,5252	-0,1525
20	0,9814	-1,5870	-3,7099	-0,1855
30	0,9572	-4,4670	-5,5899	-0,2197
40	0,9232	-8,3198	-10,4426	-0,2611
50	0,8803	-1,3595	-15,7179	-0,3144
60	0,8260	-2,1072	-23,1950	-0,3866
70	0,7561	-3,2259	-34,3818	-0,4912

Dari hasil perhitungan diatas, telah dibuat grafik reaktivitas void dan koefisien reaktivitas void sebagai fungsi fraksi void untuk awal dan akhir siklus, yang ditunjukkan pada Gambar 5 s.d.8.

Perhitungan koefisien reaktivitas void ini dilakukan pada temperatur saturasi, karena kemungkinan terbesar terjadinya void adalah pada temperatur yang sangat tinggi. Pada kondisi ini, sebenarnya telah terjadi gelembung uap pada dinding kelongsong bahan bakar. Untuk reaktor riset RSG-GAS dengan tekanan 1 bar dan temperatur diatas 100°C maka fraksi void pada temperatur saturasi sekitar 0,01 % ⁽⁵⁾. Karena koefisien reaktivitas void merupakan perbandingan antara perbedaan reaktivitas terhadap fraksi void, maka untuk RSG-GAS, harga koefisien reaktivitas void adalah -1,36 pcm/% void yang ditentukan melalui Gambar 6. Pada Gambar 5 s.d 8 terlihat bahwa makin besar komposisi void di dalam teras reaktor, menyebabkan harga koefisien reaktivitas void bertambah. Dengan bertambahnya void akibat

kenaikan temperatur, maka kerapatan moderator semakin berkurang, akibatnya tampang lintang resonansi pada teras reaktor mengalami perubahan, laju serapan bertambah. Di dalam teras RSG-GAS, sebagian serapan terjadi pada U-238. Walaupun serapan fisi U-235 juga bertambah, namun efek ini kecil dibandingkan dengan tangkapan neutron, sebab di dalam reaktor termal sebagian besar reaksi fisi terjadi di daerah termal. Dengan demikian, efeknya berupa kenaikan serapan yang pada akhirnya menurunkan reaktivitas sistem.

Gerakan void menyebabkan gerakan atom mediumnya menjadi lebih cepat. Neutron lebih mudah bergerak atau dengan kata lain koefisien difusinya bertambah. Akibatnya kebocoran neutron juga semakin besar dan ini dirasakan oleh sistem reaktor sebagai penurunan reaktivitas. Hasil perhitungan koefisien reaktivitas void teras RSG-GAS berbahan bakar silisida yang dibandingkan dengan hasil perhitungan koefisien reaktivitas void untuk teras RSG-GAS berbahan bakar oksida⁽⁶⁾, terdapat perbedaan sebesar 3,6 %. Hal ini dipengaruhi banyak faktor antara lain adanya perbedaan sifat antara bahan bakar oksida dengan bahan bakar silisida dengan muatan yang berbeda. Pada teras berbahan bakar silisida, penyaluran panasnya lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar oksida, sehingga suhu pada *meat* cenderung lebih rendah dari bahan bakar oksida, juga adanya perbedaan distribusi bahan bakar masing-masing pada teras TWC.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan koefisien reaktivitas void pada temperatur saturasi, dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa dengan menggunakan dua paket program WIMSD/4 dan Batan-2DIFF diperoleh koefisien reaktivitas void sebesar -1,36

pcm/% void. Harga ini diambil dari batas range untuk % void yang terkecil dari perhitungan. Sedangkan harga koefisien reaktivitas void untuk teras RSG-GAS dengan bahan bakar oksida yang dihtiung dengan paket program yang sama adalah -1,38 pcm/% sehingga menghasilkan perbedaan sebesar 1,5 % lebih besar sedangkan harga koefisien void yang diberikan pemasok pada batas range tersebut adalah sebesar -1,31 pcm

/% void sehingga menghasilkan perbedaan sebesar 3,8 % lebih lebih kecil yang disebabkan oleh adanya perbedaan sifat antara bahan bakar silisida dan oksida.

Ditinjau dari aspek keselamatan, harga koefisien reaktivitas void untuk teras RSG-GAS berbahan bakar silisida hasil perhitungan memenuhi kriteria keselamatan reaktor.

DAFTAR PUSTAKA

1. LIEM, P.H., Development and Verification of Batan Standard Two Dimensional Multigroup Neutron Diffusion Code (Batan-2DIFF), makalah seminar BATAN, 1994
2. H. BOCK., Reactor Kinetics and Dynamic , Lecture notes at RTC on the Use of PC in Research Reactor Operation and Management , Bandung- Indonesia November 1991
3. DUDERSTADT, J.J., HAMILTON, L.J., Nuclear Reactor Analysis, John Wiley and Son, NY, USA, 1976
4. PUJI HASTUTI E, KAMINANGA. M., Blockage Channel Analysis on RSG-GAS Oxide Core and RSG-GAS Silicide Core design by using Coolod-N Code, JAERI , April 1998
5. NEIL E. TODREAS, MUJID S KAZIMI. ., Thermal Hydraulic Fundamentals, Hemisphere Publising Corporation, New York 1990
6. LILY SUPARLINA, dkk., Penentuan Koefisien Reaktivitas Void Teras RSG-GAS Pada Temperatur Saturasi, diusulkan untuk presentasi diYogyakarta, Mei 1999.

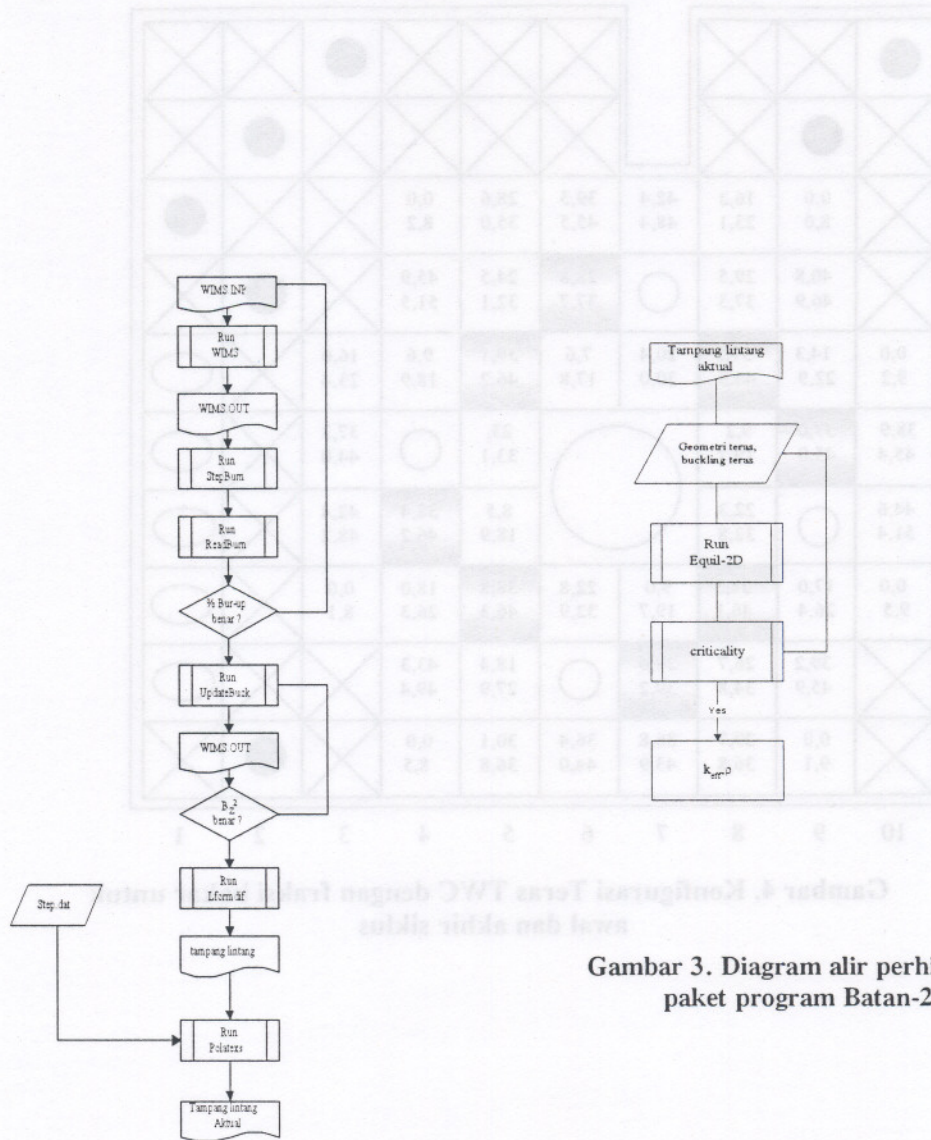
DISKUSI

Pertanyaan (Dhandhang Purwadi) :

1. Metode apa yang digunakan untuk menghitung α_v ?
2. Apa arti perbedaan nilai α_v pada teras berbahan bakar silisida dan oksida?

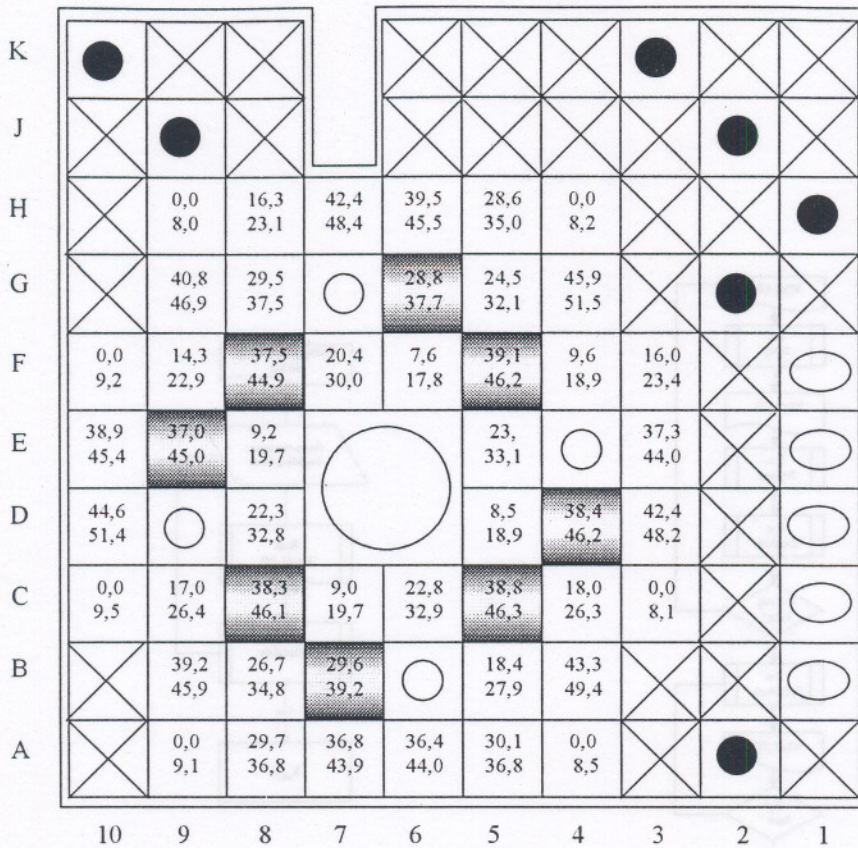
Jawaban (Lily Suparlina) :

1. Metode yang digunakan dalam perhitungan ini untuk menentukan α_v dengan menggunakan rumus
$$\alpha_v = \frac{d\rho}{dV}$$
2. Perbedaan nilai α_v dari hasil perhitungan pada teras berbahan bakar silisida dan oksida menunjukkan bahwa dari harga koefisien reaktivitas void teras berbahan bakar silisida tidak lebih baik daripada oksida, karena temperatur yang lebih rendah adalah temperatur pada *meat* bahan bakar silisida lebih rendah, itu berarti void akan lebih mudah terjadi pada suhu elemen bakar silisida yang lebih rendah.

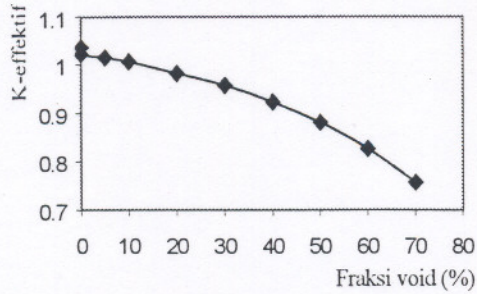


Gambar 3. Diagram alir perhitungan teras paket program Batan-2DIFF.

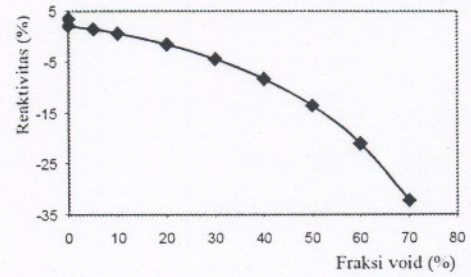
Gambar 2. Diagram alir perhitungan paket program WIMS/D4



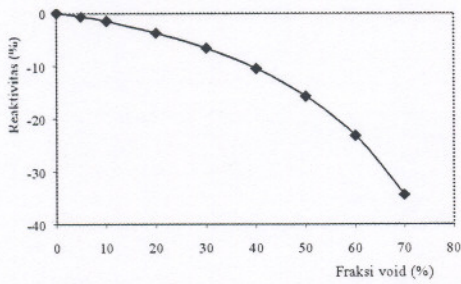
Gambar 4. Konfigurasi Teras TWC dengan fraksi bakar untuk awal dan akhir siklus



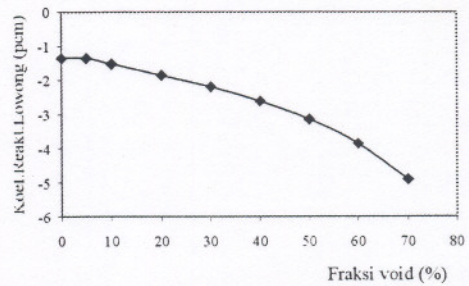
Gambar 5. Grafik K-effektif sebagai fungsi Fraksi Void Teras RSG-GAS



Gambar 6. Grafik Reaktivitas Void sebagai fungsi Fraksi Void Teras RSG-GAS



Gambar 7. Grafik perubahan reaktivitas sebagai fungsi Fraksi Void teras RSG-GAS



Gambar 8. Grafik Koefisien Reaktivitas Void sebagai fungsi Fraksi Void Teras RSG-GAS