

## PERHITUNGAN USIA RERATA NEUTRON SEREMPAK TERAS KERJA RSG-GAS

Uju Jujuratisbela

Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

PERHITUNGAN USIA RERATA NEUTRON SEREMPAK TERAS KERJA RSG-GAS. Usia rerata neutron serempak ( $l_r$ ) merupakan salah satu parameter kinetik reaktor yang harus ditentukan dengan teliti baik secara eksperimen maupun perhitungan. Hasil perhitungan teliti dari  $l_r$  teras kerja RSG-GAS dapat digunakan untuk pengujian data desain. Dengan memasukkan tampang lintang serapan makroskopik, fluks neutron dan *adjoint*-nya, dan beberapa parameter lainnya kedalam paket program LIFET,  $l_r$  teras kerja RSG-GAS dapat ditentukan. Harga  $l_r$  teras kerja RSG-GAS  $0,56552E-04$  detik, lebih kecil 7,8% dibandingkan dengan harga disain RSG-GAS pada Safety Analysis Report.

### ABSTRACT

AVERAGE PROMPT NEUTRON LIFETIME CALCULATION OF THE RSG-GAS TYPICAL WORKING CORE. Average prompt neutron lifetime ( $l_r$ ) is one of the kinetics parameters which has to be determined accurately either by experiment or by calculation. The accurate calculated prompt neutron lifetime of the RSG-GAS typical working core can be used for checking the design data. By using macroscopic absorption cross sections, neutron flux and its *adjoint*, and some other parameters as inputs to LIFET code,  $l_r$  of RSG-GAS typical working core can be determined.  $l_r$  of RSG-GAS typical working core is  $0.56552E-04$  second, 7.8% less than the designed data described in Safety Analysis Report.

### PENDAHULUAN

Karakteristik reaktor baik yang statis maupun yang dinamis perlu ditentukan seteliti mungkin dalam fase komisioning nuklir agar keselamatan dan keandalan operasi terjamin. Usia rerata neutron serempak ( $l_r$ ) merupakan parameter kinetik utama yang sangat penting dalam keselamatan operasi reaktor. Oleh karena itu parameter ini sangat perlu ditentukan dengan teliti baik secara eksperimen maupun secara perhitungan. Dengan menggunakan metode analisis derau<sup>(1)</sup>, usia rerata neutron serempak dapat diketahui secara tidak langsung dari konstanta peluruhan neutron serempak, asalkan fraksi efektif neutron kasip diketahui. Sedangkan  $l_r$  teras kerja RSG-GAS dihitung berdasarkan pada teori gangguan dan menggunakan faktor pembobot fluks neutron *adjoint* dalam 4 kelompok energi neutron. Dalam makalah ini akan dibahas perhitungan  $l_r$  bergantung ruang dan energi untuk teras kerja RSG-GAS dengan menggunakan paket program komputer LIFET yang menyelesaikan persamaan integral dengan metode numerik. LIFET merupakan paket program komputer satu dimensi, berbahasa Fortran IV dan dapat dioperasikan pada komputer pribadi. Parameter reaktor untuk masukan pada LIFET seperti tampang lintang

serapan makroskopik, fluks neutron dan *adjoint* fluks neutron, dll., dihitung dalam paket program dua dimensi UM2DB. Dengan memasukkan tampang lintang serapan makroskopik, fluks neutron dan *adjoint*-nya, dan beberapa parameter lainnya ke dalam LIFET,  $l_r$  teras kerja RSG-GAS dapat ditentukan.

Teras kerja RSG-GAS yang terdiri dari 40 elemen bakar dan 8 elemen kendali, disusun dalam satu baris sehingga membentuk satu dimensi dengan titik pusat koordinat terletak pada salah satu ujung dari susunan tersebut. Harga  $l_r$  teras kerja RSG-GAS  $0,56552E-04$  detik, lebih kecil 7,8% dibandingkan dengan harga desain RSG-GAS pada Safety Analysis Report. Untuk mempelajari pengaruh adanya 8 buah kolom air yang terdiri dari 4 kolom air dari fasilitas iradiasi sentral dan 4 kolom air dari fasilitas iradiasi lainnya, dilakukan perhitungan  $l_r$ . Hasil yang diperoleh berharga  $0,68999E-04$  detik, yaitu 12,6% lebih besar dibanding harga disain ini, menunjukkan perlunya diperhatikan pengaruh kolom air.

### TEORI

Dalam bab ini akan dibahas garis besar latarbelakang perhitungan sel dan generasi

tampang lintang yang merupakan masukan untuk perhitungan tampang lintang serapan makroskopik, distribusi fluks neutron dan *adjoint*-nya, serta perhitungan usia rerata neutron serempak.

**Perhitungan sel dan generasi tampang lintang.**

Program sel kisi umum untuk menghitung fluks neutron sebagai fungsi energi dan posisi pada sel diselesaikan dengan menggunakan teori transpor dalam paket program WIMS<sup>(2)</sup>. Langkah pertama menghitung spektra beberapa daerah ruang untuk seluruh grup energi dan menggunakannya untuk mengkondensasi tampang lintang. Kemudian dilakukan perhitungan fluks neutron dan hasilnya dipakai untuk menghitung laju reaksi pada tiap titik ruang. Tambahan pada perhitungan sel, paket yang mengambil data tampang lintang mikroskopik dari pustaka ini dapat digunakan untuk menghitung fraksi bakar dan untuk menyelesaikan problema banyak sel.

**Perhitungan difusi seluruh teras.**

Penentuan kekritisian reaktor dan analisis fraksi bakar dilakukan dengan menggunakan paket komputer UM2DB yang didasarkan pada difusi banyak kelompok dalam 2 dimensi dan ditulis dalam Fortran IV untuk menghitung :

1. Faktor multiplikasi efektif,  $k_{eff}$ , pencarian kekritisian pada *buckling*, waktu serapan, komposisi reaktor, dan dimensi reaktor baik dengan fluks maupun dengan model fluks *adjoint*,
2. Fraksi bakar material dengan menggunakan skema penggantian material yang fleksibel,
3. Distribusi fluks untuk sumber luar sembarang.

Persamaan difusi banyak kelompok ditulis sebagai :

$$D_g \nabla^2 \Phi_g - \Sigma_g^r \Phi_g + S_g = 0, \quad g = 1, 2, \dots, N \quad (2.1)$$

$$S_g = \chi_g / k_{eff} \sum_{g'=1}^N (\nu \Sigma_f)_{g'} \Phi_{g'} + \sum_{g'=1}^{g-1} \Sigma (g' \rightarrow g) \Phi_{g'} \quad (2.2)$$

- $N$  = jumlah kelompok energi neutron
- $g$  = indeks kelompok energi
- $\Phi_g$  = fluks dalam kelompok  $g$
- $S_g$  = sumber dalam kelompok  $g$
- $D_g$  = konstanta difusi untuk kelompok  $g$  ( $= 1/8 \Sigma_{gr}$ )

$(\nu \Sigma_f)_g$  = tampang lintang sumber fisi untuk kelompok  $g$

$\Sigma (g' \rightarrow g)$  = tampang lintang pindah kelompok dari  $g'$  ke  $g$

$\Sigma_g^r$  = tampang lintang pindahan (removal cross section) untuk kelompok  $g$

$$= \Sigma_g^a + \sum_{g'=g+1}^N \Sigma (g' \rightarrow g)$$

$\chi_g$  = fraksi sumber fisi dalam kelompok  $g$

$\Sigma_g^a$  = tampang lintang serapan (absorption cross section) untuk kelompok  $g$

$k_{eff}$  = konstanta multiplikasi efektif.

Pilihan utama dalam pengaturan persamaan-persamaan selisih adalah menempatkan titik *mesh* relatif terhadap batas-batas *mesh* (pada batas atau pada bagian dalam *mesh*). Dipilih titik *mesh* terletak di pusat interval *mesh* yang homogen (Gambar 1). Pemilihan ini akan memperjelas perhitungan dan interpretasi semua laju reaksi.

Persamaan selisih ruang diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan (2.1) dan (2.2) ke seluruh volume yang bersangkutan dengan tiap titik *mesh*. Untuk titik *mesh*( $i,j$ ), integrasi radial dari  $(R_1 - \delta R_1/2)$  ke  $(R_1 + \delta R_1/2)$ , dan integrasi aksial dari  $(Z_j - \delta Z_j/2)$  ke  $(Z_j + \delta Z_j/2)$

Suku bocoran ditentukan dengan transformasi awal integral volume meliputi Laplasian ke integral permukaan dengan menggunakan teorema Green

$$\int D \nabla^2 \Phi \, dV = \int D \nabla \Phi \cdot dA \quad (2.3)$$

Gradien fluks pada batas *mesh* dinyatakan dengan interpolasi dua harga fluks yang berdekatan. Maka integrasi volume dari persamaan (2.1) untuk titik *mesh* 0 menghasilkan persamaan :

$$\sum_{k=1}^N \frac{D_k A_k}{l_k} (\Phi_k - \Phi_0) - \sum_0^r \Phi_0 V_0 + S_0 V_0 = 0 \quad (2.4)$$

yang untuk penyederhanaan, indeks kelompok diabaikan dan

$\Phi_k$  = fluks yang berhubungan dengan titik *mesh* 0

$V_0$  = volume yang berhubungan dengan titik *mesh* 0

$S_0$  = laju sumber yang berhubungan dengan titik *mesh* 0

$D_k$  = konstanta difusi efektif antara titik *mesh*  $k$  dan 0

$$= \frac{D_0 D_k (\delta R_0 + \delta R_k)}{D_0 \delta R_k + D_k \delta R_0}$$

$l_k$  = jarak antara titik *mesh* k dan 0  
 $A_k$  = luas dari batas antara titik *mesh* k dan 0  
 $\Sigma_0^r$  = tampang lintang removal berhubungan dengan titik *mesh* 0

Akhirnya persamaan (2.4) dapat diubah menjadi persamaan yang mudah untuk dilakukan iterasi fluks, yaitu

$$\Phi_0 = \frac{S_0 V_0 + \sum_{k=1}^4 C_k}{C_5} \quad (2.6)$$

$$C_k = \frac{D_k A_k}{l_k}, k = 1, \dots, 4 \quad (2.7)$$

$$\text{dan } C_5 = \Sigma_0^r V_0 + \sum_{k=1}^4 C_k$$

nyatakan dengan menggunakan fungsi *adjoint*. Dalam eksperimen pada rakitan kritis, respons terhadap perubahan kekritikan atau reaktivitas setelah pemasukan sedikit penyerap neutron digambarkan pula dengan fungsi *adjoint*. Harga keefektipan material sering diinterpretasikan dalam suku-suku serapan efektif atau tampang lintang transpor. Beberapa perubahan kecil dalam geometri reaktor (seperti ekspansi panas), dalam komposisi (sebagai akibat dari fraksi bakar), dan dalam spektrum neutron (terjadi karena efek Doppler) terjadi selama reaktor beroperasi. Pengaruh perubahan-perubahan ini pada reaktivitas sistem dapat ditemukan dengan mempergunakan teori gangguan. Dalam perhitungan reaktor, geometri atau tampang lintang aktual harus disederhanakan agar memperoleh suatu problema yang dapat diselesaikan dengan mempergunakan paket program tertentu. Pengaruh dari penyederhanaan pada kekritikan sering dapat diperkirakan dengan teori gangguan.

*Diskripsi paket program LIFET*

LIFET adalah program untuk menghitung usia rerata neutron serempak bergantung energi dan geometri dengan menggunakan fungsi pembobot perkalian fluks neutron dan *adjoint*-nya. Usia neutron bergantung ruang dan energi didefinisikan dengan persamaan :

$$l(\vec{r}, E) = \frac{1}{v(E) \cdot \Sigma_a(r, E)} \quad (2.8)$$

$\Sigma_a = N\sigma_a$  = tampang lintang serapan makroskopik.

N = jumlah nuklida

$\sigma_a$  = tampaang lintang serapan mikroskopik  
 Kecepatan neutron  $v(E)$  dihitung dari

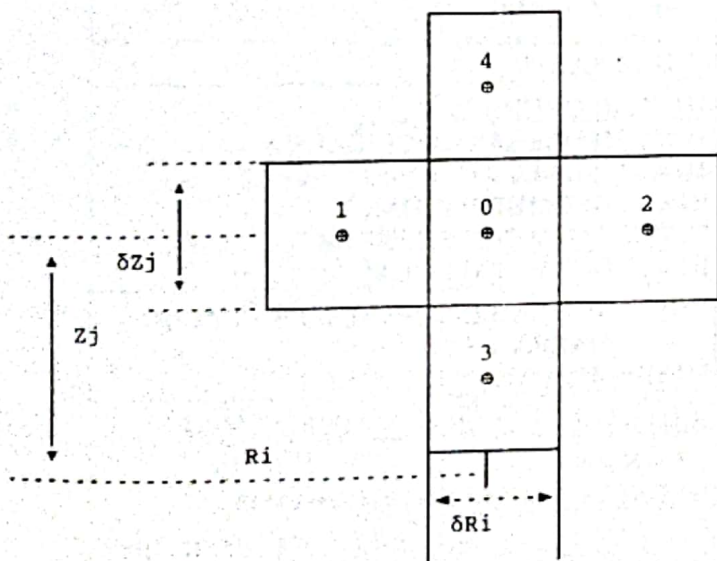
$$v = 1,38 \times 10^8 \sqrt{E} \text{ (ev) } \quad (\text{cm/s}) \quad (2.9)$$

Berdasarkan model gangguan, usia neutron bergantung energi didefinisikan sebagai

$$l E = \frac{\int_{\vec{r}} n(\vec{r}, E) \cdot e(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) d\vec{r}}{\int_{\vec{r}} n(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) d\vec{r}} \quad (2.10)$$

Sedangkan usia neutron bergantung geometri dinyatakan dengan

$$l_{\vec{r}} = \frac{\int_{\vec{r}} n(\vec{r}, E) \cdot l(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) dE}{\int_E n(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) dE} \quad (2.11)$$



Gambar. 1 Diskripsi Mesh

**Teori gangguan**

Respons sistem multiplikasi hampir kritis terhadap gangguan atau perubahan harga laju multiplikasi atau faktor multiplikasi dapat di-

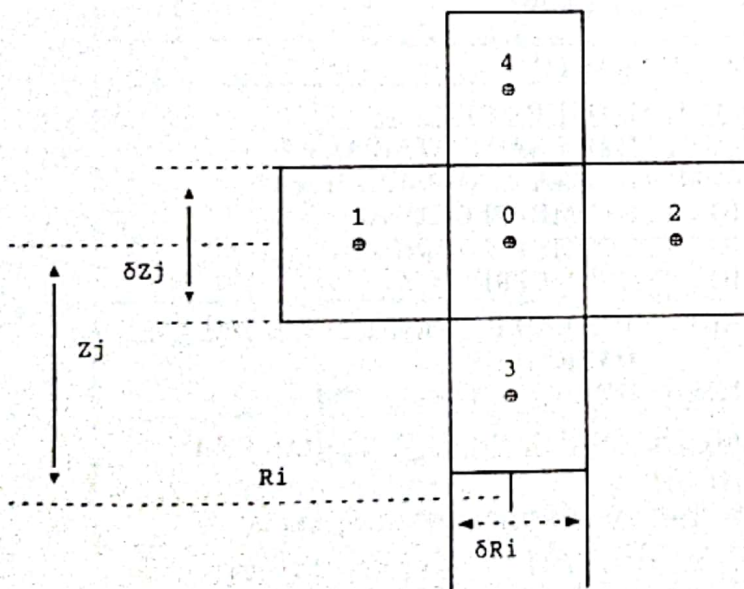
$l_k$  = jarak antara titik *mesh* k dan 0  
 $A_k$  = luas dari batas antara titik *mesh* k dan 0  
 $\Sigma_0^r$  = tampang lintang removal berhubungan dengan titik *mesh* 0

Akhirnya persamaan (2.4) dapat diubah menjadi persamaan yang mudah untuk dilakukan iterasi fluks, yaitu

$$\Phi_0 = \frac{S_0 V_0 + \sum_{k=1}^4 C_k}{C_5} \quad (2.6)$$

$$C_k = \frac{D_k A_k}{l_k}, k = 1, \dots, 4 \quad (2.7)$$

$$\text{dan } C_5 = \Sigma_0^r V_0 + \sum_{k=1}^4 C_k$$



Gambar. 1 Diskripsi Mesh

### Teori gangguan

Respons sistem multiplikasi hampir kritis terhadap gangguan atau perubahan harga laju multiplikasi atau faktor multiplikasi dapat di-

nyatakan dengan menggunakan fungsi *adjoint*. Dalam eksperimen pada rakitan kritis, respons terhadap perubahan kekritikan atau reaktivitas setelah pemasukan sedikit penyerap neutron digambarkan pula dengan fungsi *adjoint*. Harga keefektipan material sering diinterpretasikan dalam suku-suku serapan efektif atau tampang lintang transpor. Beberapa perubahan kecil dalam geometri reaktor (seperti ekspansi panas), dalam komposisi (sebagai akibat dari fraksi bakar), dan dalam spektrum neutron ( terjadi karena efek Doppler ) terjadi selama reaktor beroperasi. Pengaruh perubahan-perubahan ini pada reaktivitas sistem dapat ditemukan dengan mempergunakan teori gangguan. Dalam perhitungan reaktor, geometri atau tampang lintang aktual harus disederhanakan agar memperoleh suatu problema yang dapat diselesaikan dengan mempergunakan paket program tertentu. Pengaruh dari penyederhanaan pada kekritikan sering dapat diperkirakan dengan teori gangguan.

### Diskripsi paket program LIFET

LIFET adalah program untuk menghitung usia rerata neutron serempak bergantung energi dan geometri dengan menggunakan fungsi pembobot perkalian fluks neutron dan *adjoint*-nya. Usia neutron bergantung ruang dan energi didefinisikan dengan persamaan :

$$l(\vec{r}, E) = \frac{1}{v(E) \cdot \Sigma_a(r, E)} \quad (2.8)$$

$\Sigma_a = N\sigma_a$  = tampang lintang serapan makroskopik.

N = jumlah nuklida

$\sigma_a$  = tampaang lintang serapan mikroskopik  
 Kecepatan neutron  $v(E)$  dihitung dari

$$v = 1,38 \times 10^8 \sqrt{E} \text{ (ev) } \quad (\text{cm/s}) \quad (2.9)$$

Berdasarkan model gangguan, usia neutron bergantung energi didefinisikan sebagai

$$l_E = \frac{\int_{\vec{r}} n(\vec{r}, E) \cdot e(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) d\vec{r}}{\int_{\vec{r}} n(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) d\vec{r}} \quad (2.10)$$

Sedangkan usia neutron bergantung geometri dinyatakan dengan

$$l_{\vec{r}} = \frac{\int n(\vec{r}, E) \cdot l(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) dE}{\int_E n(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) dE} \quad (2.11)$$

Akhirnya usia rerata neutron serempak bergantung ruang dan energi dinyatakan dengan persamaan:

$$T = \frac{\int \int_{E_r} n(\vec{r}, E) \cdot l(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) d\vec{r} dE}{\int \int_{E_r} n(\vec{r}, E) \cdot n^*(\vec{r}, E) dE} \quad (2.12)$$

Pendimensian tertentu mengharuskan beberapa pembatasan dalam prosedur numerik yang antara lain disebutkan bahwa :

Jumlah kelompok energi	50
Jumlah titik mesh	40
Jumlah daerah material	6
Jumlah tampang lintang mikroskopik	15

LIFET menyelesaikan persamaan (2.10) hingga (2.12) dalam kasus 1 dimensi untuk geometri bola, silinder dan bidang. Paket ini memberikan daftar fluks neutron dan adjointnya per

satuan lethargi untuk menggambarkan spektrum neutron dan fungsi importansi tak bergantung pada struktur kelompok energi.

Diagram alir dari program LIFET dapat dilihat pada Gambar 2 (lihat halaman berikutnya).

Diskripsi masukan untuk LIFET

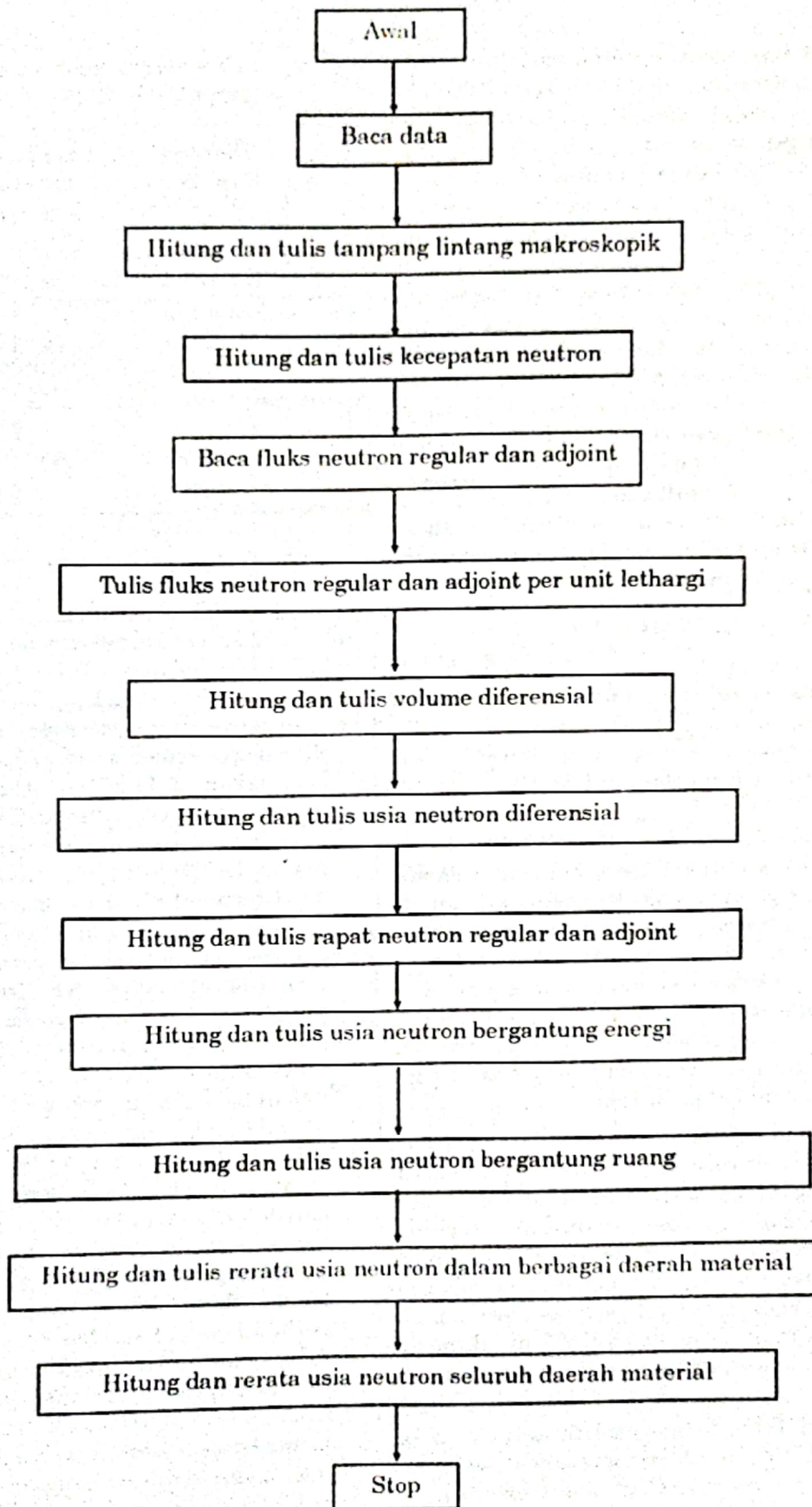
Beberapa variabel seperti tampang lintang serapan makroskopik, fluks neutron dan adjointnya untuk masukan ke dalam LIFET diambil dari hasil perhitungan UM2DB yang formatnya harus disesuaikan. Diskripsi masukan yang memuat nama variabel dan formatnya dapat dilihat pada Tabel 1.

#### TATA KERJA

Program LIFET yang mulanya dikombinasikan dengan paket program ANISN dan ditulis dalam Fortran IV beroperasi pada komputer utama. Agar penggunaannya dapat lebih luas, diusahakan dapat beroperasi pada komputer pribadi yang kemudian dikombinasikan dengan

Tabel 1. Diskripsi masukan untuk LIFET

No.	Maks. Jumlah Kartu	Format	Nama Variabel	Keterangan
1	1	18A4	JUDUL	JUDUL KARTU
2	1	12I6	N NB M IG	JUMLAH GRUP $\leq 50$ JUMLAH DAERAH MATERIAL $\leq 5$ JUMLAH DATA MIKROSKOPIK $\leq 12$ IG = 1 : GEOMETRI BIDANG IG = 2 : GEOMETRI SILINDER IG = 3 : GEOMETRI BOLA
3	2	12I6	(N(I),MN(I), I=1,NB)	N(I) : JUMLAH INTERVAL MESH DALAM DAERAH KE-I MN(I) : JUMLAH DAERAH KE-I
4	1	6F12.6	(R(I),I=1,NB)	R(I) : RADIUS DAERAH MATERIAL KE-I
5	9	6E12.5	(E(I), I=1,N1)	N1 = N + 1 E : BATAS ENERGI GRUP DALAM eV
6	108	6F12.6	(S(I,J))	TAMPANG LINTANG SERAPAN UNTUK GRUP KE-I DAN ELEMEN KE-J DALAM BARN
7	NB*MN(L)	F12.6,I12	RΦ(J),NM(J)	L = 1, NB RΦ(J) : RAPAT ATOM KE-J DALAM ZONE KE L DALAM $10^{24}$ NM(J) : JUMLAH MASUKAN TAMPANG LINTANG SERAPAN MIKROSKOPIK



Gambar 2. Diagram alir LIFET

UM2DB diaplikasikan untuk menghitung usia rerata neutron serempak teras kerja RSG-GAS.

Beberapa aktivitas yang dilakukan dalam perhitungan usia rerata neutron serempak teras kerja RSG-GAS antara lain sbb. :

1. modifikasi dan kompilasi paket program agar dapat dioperasikan pada komputer pribadi,
2. uji-coba untuk 1 daerah material berelemen bakar yang kemudian diteruskan untuk 1 baris horisontal daerah berelemen bakar dari teras kerja RSG-GAS,
3. susun kedelapan baris horisontal daerah berelemen bakar teras kerja RSG-GAS menjadi satu baris saja,
4. evaluasi hasil perhitungan.

Untuk mempelajari pengaruh 8 buah kolom air dalam fasilitas iradiasi dilakukan perhitungan yang sama seperti di atas (3).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil perhitungan

Nomor material dan nomor daerah dari 40 buah elemen bakar, 8 buah elemen kendali, dan 8 buah kolom air untuk teras kerja RSG-GAS yang diambil dari keluaran UM2DB, dapat dilihat pada Gambar 3.

Setelah selesai kompilasi dan uji coba paket program untuk 1 baris horisontal daerah berelemen bakar dalam komputer pribadi, dilakukan perhitungan usia rerata neutron serempak teras kerja RSG-GAS baik untuk teras aktif tanpa kolom air maupun untuk teras aktif dengan kolom air. Hasil perhitungan usia rerata neutron serempak besertabesar penyimpangannya dari harga disain pada Safety Analysis Report dapat dilihat pada Tabel 2.

### Pembahasan

Data masukan untuk paket program LIFET yang berasal dari keluaran paket komputer UM2DB, masih diproses secara manual sehingga menghabiskan banyak waktu. Dalam rangka otomatisasi proses pengambilan data keluaran dari UM2DB, sedang diusahakan pembuatan program tambahan pada LIFET untuk menghubungkan kedua paket program tersebut.

Dari Tabel 2 tampak bahwa hasil perhitungan LIFET untuk usia rerata neutron serempak teras kerja RSG-GAS, tanpa memperhatikan kolom air, lebih kecil 7,8% dibandingkan dengan data disain. Sedangkan apabila pengaruh kolom air diperhatikan, diperoleh harga usia rerata neutron serempak 12,6% lebih besar

Tabel 2. Usia rerata neutron serempak teras kerja RSG - GAS

No.	Diskripsi teras kerja RSG-GAS	Usia rerata neutron serempak	% simpangan dari SAR
1	Tanpa kolom air	0,56552E-04	-7,8
2	Dengan kolom air	0,68999E-04	12,6
3	Safety analysis report (SAR)	0,61300E-04	-

dibandingkan dengan harga disain. Perbedaan ini disebabkan karena:

1. Massa U-235 dalam tiap elemen bakar teras transisi pertama pada perhitungan disain dianggap semuanya sama sebesar 250 gram, sedangkan dalam perhitungan UM2DB massa U-235 sudah disesuaikan dengan harga masing-masing elemen bakar. Perbedaan massa U-235 yang digunakan pada teras awal tersebut akan mengakibatkan perbedaan hasil perhitungan pada teras teras transisi selanjutnya, termasuk teras kerjanya. Untuk memperoleh data hasil perhitungan yang akurat, seyogyanya dilakukan perhitungan usia rerata neutron serempak teras kerja aktual RSG-GAS sebelum dilakukan pengukuran untuk verifikasi.
2. Metode perhitungan dalam LIFET di mana delapan baris daerah aktif teras disusun menjadi satu baris saja akan menyambungkan dua sisi daerah material dengan kondisi batas berbeda sebelum dan sesudah penyambungan sehingga akan mengakibatkan kondisi fisik berbeda yang pada akhirnya perlu dilakukan koreksi.
3. Adanya kolom air pada fasilitas iradiasi tersebut akan menyebabkan tambahan jumlah neutron termal di daerah tersebut sehingga mempertinggi jumlah reaksi fisi yang akhirnya memperbanyak jumlah neutron serempak dan memperbesar usia neutron serempak. Selain itu tampang lintang serapan makroskopik kolom air lebih kecil dibandingkan dengan tampang serapan makroskopik elemen bakar, sehingga usia rerata

	R	68,30	71,48	73,36	79,19	81,08	86,88	88,88	94,69	96,81	102,90	104,89	110,01	111,83	117,78	119,84	125,43
H		03	52/27	53/29	54/31	55/32	56/32	57/27								03	
	Rav	68,06	72,48	74,36	80,13	82,08	87,84	89,77	95,55	97,47	103,26	105,18	110,97	112,80	118,65	120,61	126,29
G		03	47/33	48/29	08/22 IP1	49/40	50/28	51/33								03	
F		39/27	40/28	41/35	42/30	43/30	44/34	45/29								46/29	
E		34,32	35/39	36/30	07/22	07/22	37/30	08/22 IP2	38/31								
D		29/31	08/22 IP3	30/31	07/22	07/22	31/30	32/38	33/28								
C		21/27	22/29	23/37	24/31	25/31	26/36	27/28	28/28								
B		03	16/33	17/28	18/40	08/22 IP4	19/29	20/33	03								
A		03	10/27	11/32	12/32	13/31	14/32	15/27	03								
		10	9	8	7	6	5	4	3								

R = Radius      Rav = Radius Rerata

Gambar 3. Peta daerah elemen bakar teras kerja RSG - GAS (2DB GTWCXF 4B) / peta material



neutron serempak akan lebih besar bila ada kolom air.

4. Untuk lebih meyakinkan kebenaran hasil LIFET, hasil ini perlu dibandingkan dengan hasil perhitungan paket program yang sudah baku dan diakui keabsahannya.

#### KESIMPULAN

1. Harga usia rerata neutron serempak teras kerja RSG-GAS hasil perhitungan LIFET berada dalam batas yang dapat diterima.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Little, Jr. W.W. and Hardie, R.W., 2DB User's Manual - Revision I, BNWL-831 REV1, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington (1986).
2. Halsall, H.J., LWR-WIMS, A computer code for light water reactor lattice calculations, AEEW-R 1498, AEK, Winfrith (June 1982).
3. Bell, G.I. and Glasstone, S., Nuclear Reactor Theory, Litton Educational publishing, Inc. (1970).
4. Sumer Sahin, AWNL, A computer program to calculate the adjoint weighted neutron lifetime, Part of RSIC COMPUTER CODE COLLECTION, CCC-254 (1979).

#### DISKUSI

##### Teuku Alfa :

Program LIFET disebut program 1D. Apakah  $l_T$  memang merupakan fungsi ruang yang kontinyu sehingga ia mempunyai dimensi ?

##### Uju Djujuratibela :

Usia rerata neutron serempak bukan saja merupakan fungsi ruang melainkan juga merupakan fungsi energi. Oleh karena itu, usia rerata neutron serempak mempunyai dimensi.

2. Dari pembahasan di atas tampak bahwa paket program masih perlu dimodifikasi agar dapat digabungkan dengan paket program UM2DB.
3. Hasil perhitungan LIFET untuk usia rerata neutron serempak, perlu dikonfirmasi dengan hasil perhitungan dari paket komputer yang sudah diakui keabsahannya.