

ANALISIS PERHITUNGAN FRAKSI BAKAR BAHAN BAKAR RSG-GAS TINJAUAN TERHADAP PERUBAHAN REAKTIVITAS TERAS TRANSISI 1 SAMPAI 5

Hilman Ramli, Amil Mardha, Edison

ABSTRAK

ANALISIS PERHITUNGAN FRAKSI BAKAR BAHAN BAKAR RSG-GAS - TINJAUAN TERHADAP PERUBAHAN REAKTIVITAS TERAS TRANSISI 1 SAMPAI 5. Telah dilakukan perhitungan manajemen bahan bakar teras RSG-GAS dengan mensimulasikan keadaan yang sesungguhnya selama pengoperasian RSG-GAS. Perhitungan ini didasari oleh keperluan untuk mendapatkan informasi teoritis fraksi bakar elemen bakar yang pernah digunakan dalam operasi RSG-GAS dalam kaitannya dengan keselamatan operasi reaktor dan kebutuhan informasi akan kandungan isotop-isotop berat di dalam teras dan di dalam elemen bakar bekas pakai yang diperlukan untuk safeguard reaktor. Perhitungan ini memperbaiki perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Perbaikan yang dilakukan meliputi data masukan keluk axial (buckling) untuk perhitungan yang didasarkan atas hasil eksperimen kekritisasi, dan data waktu, daya operasi serta perubahan-perubahan elemen teras selama satu siklus operasi yang ditinjau, didasarkan catatan data operasi di RCU. Perhitungan dilakukan secara runtut dan berkesinambungan sejak teras pertama dengan mempergunakan program manajemen bahan bakar IAFUEL-COSIM. Hasil perhitungan telah disajikan untuk perubahan-perubahan teras sejak teras pertama sampai teras kelima meliputi reaktivitas, kandungan isotop berat dan fraksi bakar elemen-elemen bakar di akhir teras kelima. Hasil perhitungan teras telah dibandingkan juga dengan data eksperimen dengan beberapa hasil perbandingan masih perlu diteliti lebih lanjut.

ABSTRACT

BURNUP FRACTION ANALYSES OF RSG-GAS'S FUEL ELEMENTS - INVESTIGATION ON REACTIVITY OF 1ST TO 5TH TRANSITION CORES. RSG-GAS's in-core fuel management analyses has been done which it has simulated actual condition of RSG-GAS operations. The calculation is based on the needs of the information of fuel burnup that had been used in operations and the one of heavy metals productions in burned-fuel in their relation for reactor safety. The calculation improved the old one in cases buckling input data was based on critical-experiment data, cycle lengths, powers, and the core-elements changes in a cycle. The calculation used IAFUEL-COSIM codes and was done since first core. Results of the calculation include reactivities, heavy metal productions, and burnup fractions until fifth core. The results has compared by experiments, also.

PENDAHULUAN

Fraksi bakar (*burnup*) elemen bakar adalah salah satu dari parameter-parameter penting dalam keselamatan operasi reaktor. Dari besaran tersebut dapat diketahui informasi mengenai kandungan isotop-isotop berat dalam elemen bakar bekas pakai maupun di dalam teras yang perlu diketahui dalam kaitannya dengan safeguard reaktor.

Selama pengoperasian reaktor, fraksi bakar tiap elemen bakar akan berubah dengan laju yang berbeda-beda, tergantung pada posisi elemen bakar di dalam teras. Perubahan distribusi fraksi bakar di dalam teras akan mempengaruhi kerataan fluks neutron di dalam teras. Di samping itu, fraksi bakar suatu elemen bakar pada posisi tertentu akan memberikan reaktivitas teras yang besarnya tertentu juga. Dengan demikian, untuk melakukan analisis fraksi bakar pada suatu elemen bakar, maka informasi dasar yang diperlukan adalah konfigurasi teras yang ditinjau, lama waktu pengoperasian teras, dan posisi-posisi elemen bakar dalam teras.

Untuk analisis fraksi bakar pada elemen-elemen bakar yang pernah dipakai oleh RSG-GAS, maka perlulah diketahui sejarah/riwayat elemen bakar tersebut di dalam teras. Ini diperlukan karena untuk setiap siklus operasi, elemen-elemen bakar dipindah-pindah agar diperoleh fluks neutron serata mungkin. Informasi tentang perjalanan suatu bahan bakar ini dapat diketahui dari data yang tertulis pada log book operasi.

Data-data yang diperoleh kemudian diolah untuk masukan pada program IAFUEL-COSIM yang dirancang oleh INTERATOM untuk keperluan operasi dan perhitungan teras RSG-GAS. Dari program tersebut, akan diperoleh informasi-informasi yang meliputi fraksi bakar dan kandungan isotop tiap elemen bakar, reaktivitas teras, energi operasi selama satu siklus, serta distribusi fluks neutron di dalam teras. Salah satu keuntungan di dalam program IAFUEL ini, tersedianya modul MEMORY yang akan merekam perjalanan suatu elemen bakar sejak masuk ke dalam teras hingga dikeluarkan dari dalam teras.

TEORI DASAR

Teras kerja suatu reaktor nuklir dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan reaktivitas teras yang mencukupi selama satu daur operasi dengan PPF yang relatif rata dan memenuhi kriteria-kriteria keselamatan operasi reaktor. Salah satu upaya untuk mendapatkan PPF yang relatif rata adalah dengan menyusun konfigurasi teras dari elemen bakar dengan fraksi bakar yang berbeda-beda.

Selama dioperasikan, elemen bakar kemudian akan terbakar dengan derajat berbeda-beda yang sebanding dengan faktor puncak dayanya. Di akhir siklus, diharapkan fraksi bakar elemen bakar akan mencapai harga tertentu, sesuai dengan perhitungan disain manajemen bahan bakar di dalam teras. Dengan tingkat fraksi bakar yang baru ini, kemudian elemen bakar dipindah-pindahkan/diatur kembali untuk membentuk konfigurasi baru di awal siklus selanjutnya

Tingkat fraksi bakar suatu elemen bakar di akhir siklus dapat dinyatakan dari persamaan berikut :

$$f_i = \frac{Q_i V_i}{U_i} T \dots\dots\dots 1$$

- dengan f_i = Fraksi bakar elemen i (MWD/ton atom berat).
- Q_i = Rapat daya elemen i (MW/cm³).
- V_i = Volume elemen i (cm³).
- U_i = Massa uranium awal (ton).
- T = Lama operasi (hari).

Korelasi terhadap faktor puncak daya dapat ditentukan dari persamaan di bawah ini :

$$f_i = P * T * PPF_i \frac{V_i}{V_c * U_i} \dots\dots\dots 2$$

dengan P = Daya nominal teras (MW),

V_c = Volume teras aktif (cm^3).

PPF_i = Faktor puncak daya elemen i .

Dari persamaan di atas, terlihat bahwa tingkat fraksi bakar yang sesungguhnya dapat menyimpang dari tingkat fraksi bakar hasil perhitungan. Faktor-faktor penyebabnya dapat berupa jangka waktu operasi yang tidak sesuai dengan disain teras, data daya operasi untuk masukan perhitungan fraksi bakar dan juga pemasukan bahan/element ke dalam teras yang mempengaruhi faktor puncak daya cukup besar, baik yang berpengaruh secara lokal (hanya sebagian lokasi tertentu di dalam teras) ataupun yang mempengaruhi sebagian besar lokasi teras.

METODE PERHITUNGAN

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program IAFUEL-COSIM yang merupakan program manajemen bahan bakar teras untuk RSG-GAS. Program IAFUEL digunakan untuk perhitungan reaktivitas, faktor puncak daya dan perubahan isotop dalam teras, sedangkan program COSIM digunakan untuk perhitungan fraksi bakar tiap element teras. Interaksi/hubungan antara IAFUEL dengan COSIM dijembatani oleh modul MEMORY yang terdapat pada program IAFUEL, yang juga dapat digunakan untuk merekam sejarah/riwayat suatu element bakar sejak dimasukkan hingga dikeluarkan dari dalam teras.

Untuk analisis fraksi bakar element bakar RSG-GAS ini, diupayakan mensimulasikan riwayat bahan bakar seaktual mungkin. Untuk itu, digunakan data-data operasi yang terekam dalam log-book operasi. Pada tahap pertama, data-data operasi meliputi waktu operasi, daya teras, dan posisi batang kendali diolah untuk menjadi masukan bagi program COSIM.

Tahap selanjutnya, dilakukan perhitungan awal untuk mencari nilai *buckling* untuk masukan perhitungan teras. Pada perhitungan tahap ini, digunakan data hasil eksperimen kekritisan teras sebagai pembanding untuk hasil perhitungan. Harga *buckling* untuk perhitungan teras diperoleh apabila reaktivitas teras hasil perhitungan mendekati/sama dengan hasil eksperimen.

Dengan harga *buckling* ini, kemudian dilakukan perhitungan teras dari awal siklus sampai akhir siklus. Di akhir siklus, data fraksi bakar setiap elemen bakar penyusun teras direkam oleh MEMORY. Diagram alir perhitungan dapat dilihat pada Gambar-1 dan Gambar-2

HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 1 sampai 3. Tabel-1 memuat data *buckling* dari hasil perhitungan tahap pertama. Tabel-2 memberikan perbandingan reaktivitas lebih dan reaktivitas total antara hasil perhitungan dengan data eksperimen kelompok neutronik dan kinetik. Tabel-3 memberikan data perubahan isotop-isotop Pu dan U di dalam teras untuk teras pertama sampai teras kelima.

Pada Tabel-2 terlihat perbedaan reaktivitas lebih antara hasil perhitungan dengan hasil eksperimen yang cukup kecil sampai teras keempat. Diteras kelima dan keenam, perbedaan ini cukup besar. Hal ini belum dapat dijelaskan dengan baik. Akan tetapi, terdapat dugaan bahwa daya yang terekam tidaklah tepat dengan daya sesungguhnya. Hal ini dapat dilihat dari kurva faktor konversi daya tiap teras (Gambar-3). Dari kurva tersebut, terlihat bahwa faktor konversi daya cenderung membentuk kurva eksponensial terhadap tiap teras. Akan tetapi pada teras kelima, nilai faktor konversi daya naik sehingga kurva eksponensialnya tidak terbentuk. Bila diinterpolasikan untuk suatu kurva eksponensial, faktor konversi daya pada teras kelima diperoleh sebesar 31.204×10^4 MW/A, atau 0.833 kali faktor konversi daya hasil eksperimen.

Bila digunakan nilai faktor konversi hasil interpolasi, berarti teras kelima terbakar hanya 0.833 kali lebih rendah dari yang tercatat. Dengan terbakar lebih sedikit, maka fraksi bakar elemen bakar di akhir siklus teras kelima akan lebih kecil sehingga massa ^{235}U di teras keenam akan lebih besar daripada yang dihitung dan akan diperoleh reaktivitas lebih pada teras keenam yang lebih tinggi daripada yang dihitung.

Perubahan isotop selama setiap siklus yang diberikan pada Tabel-3 dapat memberikan estimasi produksi Pu yang sudah terbentuk selama operasi RSG-GAS. Besaran-besaran ini perlu

TABEL DAN GAMBAR

Tabel-1. Nilai masukan buckling perhitungan.

Teras	ρ lebih kritis pertama, \$ (eksperimen Neutronik)	Buckling ($\times 10^{-3} \text{ cm}^3$)	H_{eq} (cm)
1	0,677	1,96702	70,83
2	0,702	2,072261	69,01
3	2,10	2,172015	67,41
4	0,978	2,040109	69,55
5	0,83	2,222275	66,64
6	0,005 <	2,583696	61,81

Tabel-2. Perbandingan ρ antara hasil perhitungan dengan hasil eksperimen

Teras	ρ LEBIH (\$)				ρ TOTAL (\$)			
	IAFUEL ρ	Neutronik		Kinetik		IAFUEL ρ	KINETIK	
		ρ	D_N	ρ	D_K		ρ	D_K
1	11.731	10.634	1.097	11.94	0.209	24.255	23.35	0,905
2	12.253	12.391	-0.137	12.39 ^[1] 11.645 ^[2]	0.137 0.608	24.769	24.403 23.685	0.366 1.084
3	11.752	11.237	0.515	11.622	0.13	28.858	25.054	3.804
4	12.660	13.661	-1.001	14.94 ^[3] 13.18 ^[4]	-2.28 -0.52	28.071	26.33 24.45	1.741 3.621
5	11.471	14.19	-2.719	14.655 ^[3] 11.45 ^[4]	-3.18 0.021	25.531	23.105 19.90	0.426 3.631
6	9.636 ^[5]	12.652	-3.016	12.557	-2.921	21.073	18.657	2.416

D_N : Selisih $\rho_{\text{IAFUEL}} - \rho_{\text{NEUTRONIK}}$

D_K : Selisih $\rho_{\text{IAFUEL}} - \rho_{\text{KINETIK}}$

[1] : Tabel-3, Pustaka no.2, hal. 14.

[2] : Pustaka no.2, hal. 15-16

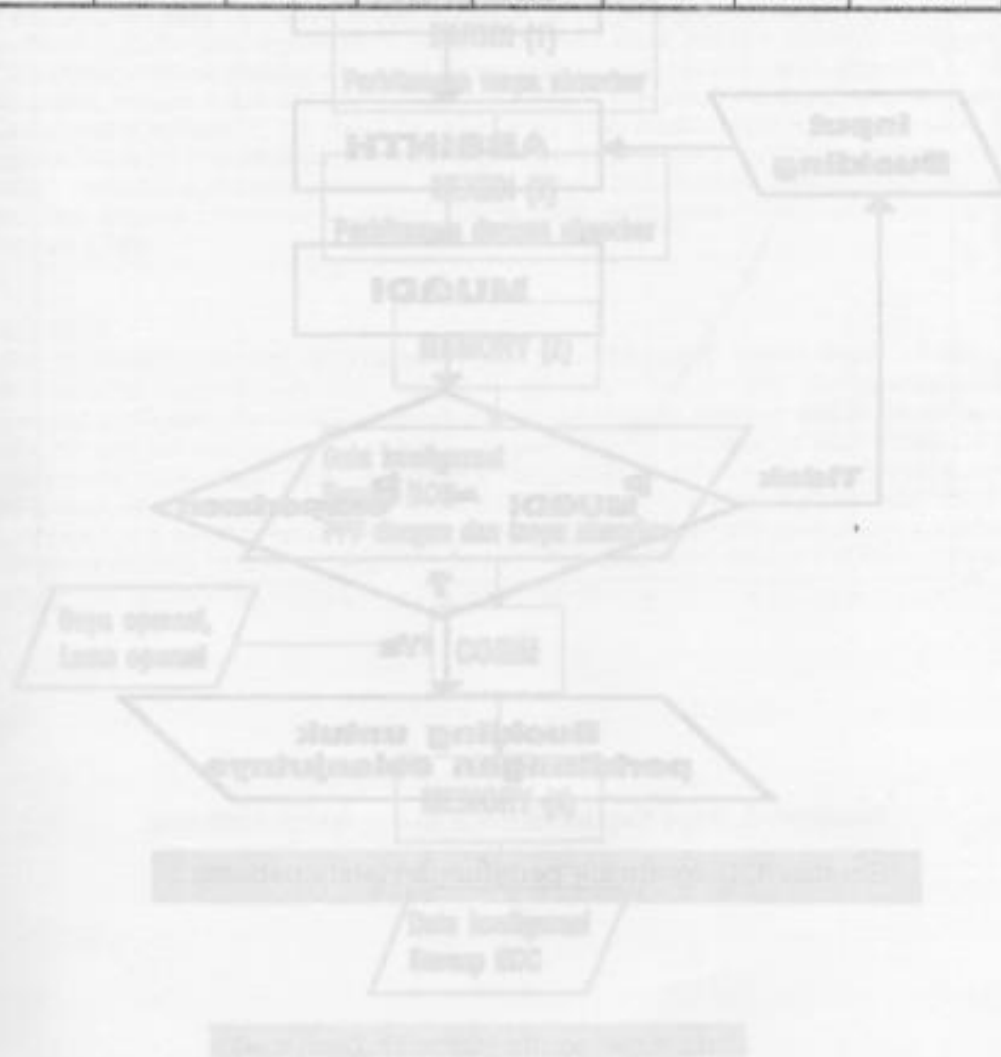
[3] : Metode kompensasi bank.

[4] : Metode kompensasi berpasangan.

[5] : Dengan akhir siklus teras 5 dihitung mempergunakan faktor konversi hasil eksperimen termohidrolis.

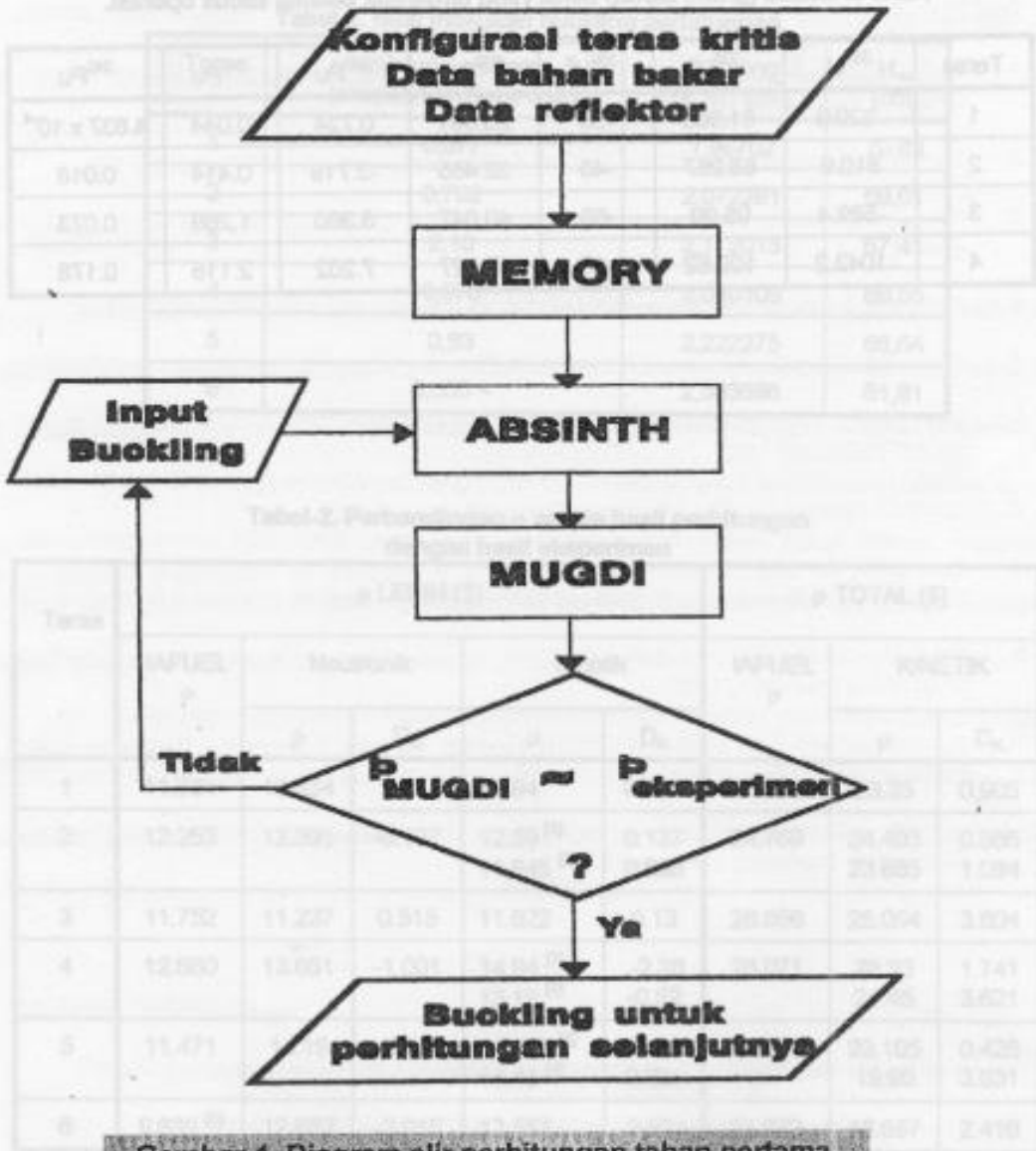
Tabel-3. Massa (gram) isotop berat yang terbentuk selama siklus operasi.

Teras	^{235}U	^{238}U	^{239}U	^{239}Pu	^{240}Pu	^{241}Pu	^{242}Pu
1	-320.6	51.583	-58	23.891	0.724	0.044	4.837×10^{-4}
2	810.9	68.267	-45	32.465	-3.719	0.414	0.018
3	-589.4	95.99	-66	40.647	5.360	1.269	0.073
4	1043.2	109.62	-60	43.327	7.202	2.118	0.178



TABEL DAN GAMBAR

Jumlah nilai grafik tersebut yang akan diambil untuk grafik E-1 dan E-2



Gambar-1. Diagram alir perhitungan tahap pertama.