

## PENGARUH DENSITAS URANIUM TERHADAP SUHU MEAT BAHAN BAKAR SILISIDA RSG-GAS

Muh. Darwis Insaini, Kurnia Putranta, Asnul Sufmawan

### ABSTRAK

**PENGARUH DENSITAS URANIUM TERHADAP SUHU MEAT BAHAN BAKAR SILISIDA RSG-GAS.** Telah dilakukan penelitian untuk melihat pengaruh perubahan densitas uranium di dalam elemen bakar silisida RSG-GAS terhadap suhu *meat* bahan bakar. Analisis ini dilakukan untuk melihat salah satu aspek keselamatan operasi reaktor apabila bahan bakar RSG-GAS diganti dari jenis oksida ke jenis silisida, khususnya mengenai suhu *meat* bahan bakar. Sebagai langkah awal dan untuk menyederhanakan permasalahan maka pada perhitungan ini dipergunakan data operasi reaktor dan data elemen bakar yang sama kecuali untuk densitas uranium 2,37 sampai 5,93 g/cm<sup>3</sup> atau tingkat muat silisida divariasikan dari tingkat muat 200 sampai 500 gram U<sup>235</sup> per elemen bakar. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan program komputer COCLOD-N. Dari perhitungan menunjukkan semakin tinggi densitas uranium akan membuat semakin tinggi pula suhu *meat* bahan bakar.

## PENDAHULUAN

RSG-GAS adalah sebuah reaktor berbentuk kolom dengan elemen bakar bertipe pelat. Teras kerja tipikal RSG-GAS tersusun atas 40 elemen bakar dan 8 elemen kendali, yang masing-masing tersusun atas 21 dan 15 pelat bahan bakar. Pada saat ini RSG-GAS menggunakan bahan bakar oksida ( $U_2O_5-Al$ ) dengan densitas uranium di dalam "meat"-nya sebesar  $2,96 \text{ g/cm}^3$  atau tingkat muat  $U^{235}$  sebesar 250 gram per elemen bakar. Pada saat yang akan datang, ada rencana bahwa bahan bakar RSG-GAS akan dirubah dari jenis oksida ( $U_2O_5-Al$ ) ke jenis silisida ( $U_2Si_2-Al$ ), untuk itu perlu dilakukan penelitian yang mendalam dari segi neutronik dan termohidrolik untuk menentukan berapa densitas uranium yang optimal untuk elemen bakar silisida RSG-GAS. Untuk dapat melakukan optimasi densitas uranium tersebut, perlu dilakukan beberapa penelitian yang mendukung, salah satu di antaranya adalah penelitian mengenai pengaruh densitas uranium terhadap suhu meat bahan bakar silisida RSG-GAS.

Perhitungan di dalam makalah ini, semata-mata hanya mengenai pengaruh perubahan densitas uranium terhadap suhu meat bahan bakar RSG-GAS. Penelitian di dalam makalah ini juga merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ismail, dkk.<sup>1</sup> yang telah melakukan perhitungan untuk menentukan besarnya laju alir minimum RSG-GAS untuk bahan bakar oksida dengan diperoleh hasil laju alir minimum yang diijinkan masing-masing berdasar data desain dan berdasar data pengukuran adalah 800 dan 860 kg/detik, serta dari penelitian yang dilakukan oleh Potranta, dkk.<sup>2</sup> yang melakukan analisis termohidraulika teras RSG-GAS pada kondisi turuk menggunakan bahan bakar silisida dengan tingkat muat 300 g per elemen bakar atau densitas uranium sebesar  $3,55 \text{ g/cm}^3$ .

Karena perhitungan ini semata-mata hanya ingin melihat pengaruh densitas uranium terhadap suhu meatnya, maka di dalam perhitungan ini dilakukan penyederhanaan antara lain data operasi reaktor dan data elemen bakar dibuat sama. Dengan merujuk dari perhitungan-perhitungan<sup>3,4,5</sup> sebelumnya yaitu untuk jenis bahan bakar oksida, serta mengacu pada semua data desain (SAR)<sup>6</sup>, data operasi dan data elemen bakar seperti tertera di bawah ini dibuat sama, data-data tersebut antara lain: seluruh kanal pendingin mempunyai lebar nominal (2,50 mm) kecuali satu kanal pendingin dengan lebar minimum (2,40 mm), daya reaktor 34,2

MW (daya lebih) dan laju alir sistem pendingin primer 800 kg/detik, dan dengan asumsi bahwa daya reaktor 100 % dibangkitkan dari hasil fisi, data suhu pendingin masukan yang sama yaitu  $T_{in} = 44,5$  °C, serta faktor puncak radial maklar yang sama yaitu,  $F_r = 3,415$ . Perhitungan dilakukan untuk variasi densitas uranium 2,37 sampai 5,93 g/cm<sup>3</sup> atau tingkat muat U<sup>235</sup> 200 sampai 500 gram per elemen bakar. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program COOLOD-N.

**TEORI**

Pada umumnya, hubungan antara densitas uranium, fraksi berat uranium di dalam meat yang terdiri dari aluminium, fase dispersi (sebaran), dan void dapat dituliskan sebagai :

$$\rho_U = \frac{(1 - P) w_U}{\frac{1}{\rho_{Al}} - a w_U} \quad w_U = \frac{\rho_U / \rho_{Al}}{(1 - P) + a \rho_U} \quad 1$$

di mana

$$a = \frac{1}{w_U^D} \left( \frac{1}{\rho_{Al}} - \frac{1}{\rho_D} \right) \quad 2$$

P = porositas = volume void / (volume padat + volume void)

w<sub>U</sub> = fraksi berat uranium di dalam meat bahan bakar

w<sub>U</sub><sup>D</sup> = fraksi berat uranium di dalam fase dispersi

ρ<sub>Al</sub> = densitas aluminium = 2,7 g/cm<sup>3</sup>

ρ<sub>D</sub> = densitas fase dispersi

Dari Persamaan 1 terlihat, apabila jumlah (tingkat muat) U<sup>235</sup> di dalam meat bertambah, maka fraksi berat uranium bertambah dan itu berarti densitas uranium bertambah. Dari berubahnya densitas uranium ini, akan merubah komposisi aluminium dan void di dalam fase dispersi seperti terlihat pada Tabel 2 (lampiran)<sup>6,7</sup>, yang berarti akan merubah pula sifat-sifat bahan bakar khususnya sifat hantaran panasnya (sifat konduktivitas termalnya)<sup>8</sup>.

## TATA KERJA

Di dalam penelitian ini semua perhitungan dilakukan dengan menggunakan program COOLOD-N, dengan mengacu pada model yang dibuat oleh pendisain<sup>3,4</sup>, uji "Benchmark" oleh Praptoriyadi, dkk.<sup>5</sup> dan penentuan laju alir minimum oleh Isnaini, dkk.<sup>6</sup>, yaitu membagi teras reaktor dibagi menjadi dua bagian :

- 1 buah kanal dengan lebar minimum (2,40 mm) dikenai dengan laju alir sebesar 84,32 % dari laju alir rerata dan dengan faktor radial total sebesar 3,412; kanal ini disebut kanal panas. Faktor radial total ini tersusun atas faktor daya radial total 2,846 , faktor daya aksial (fa) sesuai dengan bentuk fungsi kosinus dengan harga maksimum 1,6 dan fluks panas (*engineering heat flux factor for hot spot*) yang ditetapkan sebesar 1,20. Pengelompokan faktor radial total menjadi satu ini meniru seperti yang dilakukan oleh perancang.
- sisanya adalah kanal dengan lebar nominal (2,55 mm) yang mendapatkan laju alir 100 % dari laju alir rerata dan dengan faktor radial total sebesar 1,00 yang disebut dengan kanal rerata.

Di dalam perhitungan yang dilakukan di dalam makalah ini, panjang elemen bakar dibagi menjadi 13 titik aksial dengan jarak antar titik yang sama.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Masakan dan hasil perhitungan menggunakan program COOLOD-N untuk bahan bakar oksida dengan densitas uranium 2,96 g/cm<sup>3</sup> (tingkat muat uranium 250 gram per elemen bakar) dan bahan bakar silisida untuk densitas uranium 2,96, 3,56 dan 5,93 gram/cm<sup>3</sup> (tingkat muat uranium 250, 300 dan 500 g per elemen bakar), dengan suhu masakan reaktor 44,5 °C dan faktor radial total 3,415 dirangkum pada Tabel 1. Sedangkan Gambar 1 memperlihatkan grafik suhu pelat dan suhu "meat" bahan bakar terhadap tingkat muat uranium per elemen bakar.

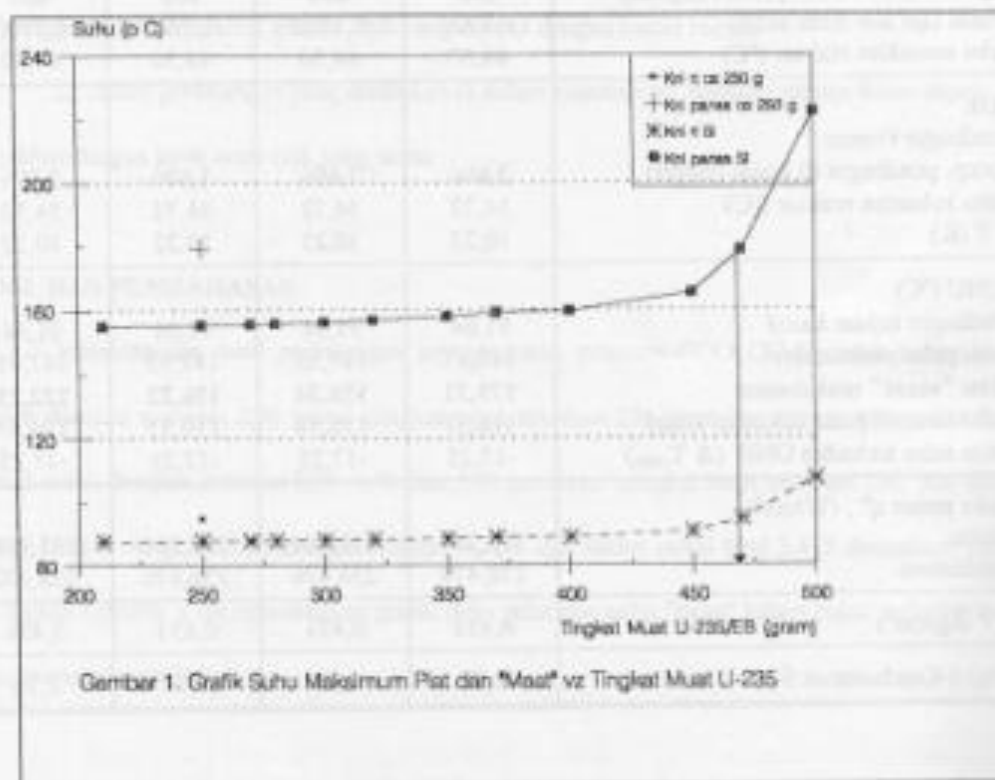
Tabel 1. Data masukan dan hasil perhitungan untuk densitas uranium 2,96 g/cm<sup>3</sup> (bahan bakar oksida) dan variasi densitas uranium 2,96, 3,56 dan 5,93 g/cm<sup>3</sup> (bahan bakar silisida), untuk daya 34,2 MW dan F, total 3,415 pada kanal panas.

Parameter	Tingkat muat U <sup>235</sup> per elemen bakar			
	250 g (ox)	250 g (sil)	300 g (sil)	500 g (sil)
<b>MASUKAN</b>				
1. Daya reaktor (MW)	34,2	34,2	34,2	34,2
2. Faktor radial total	3,415	3,415	3,415	3,415
3. Harga maksimum faktor daya aksial	1,60	1,60	1,60	1,60
4. Lebar kanal (mm)	2,40	2,40	2,40	2,40
5. Densitas uranium (g/cm <sup>3</sup> )	2,96	2,96	3,56	5,93
6. Konduktivitas termal <i>meat</i> (W/cm <sup>2</sup> K) <sub>meat</sub>	0,13	1,22	0,93	0,05
7. Pendingin Primer				
a. Laju alir total sistem primer (kg/det)	800	800	800	800
b. Fraksi laju alir teras aktif	0,7700	0,7700	0,7700	0,7700
c. Suhu masukan reaktor (°C)	44,50	44,50	44,50	44,50
<b>HASIL</b>				
1. Pendingin Primer				
a. Kecep. pendingin di kanal (m/det)	3,606	3,606	3,606	3,606
b. Suhu keluaran reaktor (°C)	54,72	54,72	54,72	54,72
c. Δ T (K)	10,22	10,22	10,22	10,22
2. SUHU (°C)				
a. Pendingin keluar kanal	91,04	91,04	91,04	91,04
b. Suhu pelat maksimum	147,93	147,93	147,93	147,93
c. Suhu "meat" maksimum	179,31	155,34	156,23	222,25
d. Suhu saturasi pada keluaran kanal	116,57	116,57	116,57	116,57
e. Batas suhu terhadap ONB (Δ T <sub>ONB</sub> )	-17,25	-17,25	-17,25	-17,25
3. Fluks panas q" (W/cm <sup>2</sup> )				
a. Rerata	152,264	152,264	152,264	152,264
b. Maksimum	258,470	258,470	258,470	258,470
4. Δ P (kg/cm <sup>2</sup> )				
	0,451	0,451	0,451	0,451
5. Angka Keselamatan S				
	2,78	2,78	2,78	2,78

Dari Tabel 1 terlihat untuk bahan bakar silisida bahwa semua parameter keluaran termasuk suhu pendingin dan suhu pelat bahan bakar maksimum tidak tergantung pada besarnya densitas uranium, kecuali suhu maksimum pusat *meat* yang semakin besar dengan bertambahnya densitas uranium di dalam elemen

bakar. Hal ini disebabkan karena :

1. Parameter/ data masukan untuk perhitungan semua sama seperti ukuran elemen bakar, pelat, kanal pendingin, daya reaktor, laju alir pendingin, faktor radial, distribusi suhu, dan lain-lain kecuali densitas uranium, porositas dan konduktivitas termal meat.
2. Pada model perhitungan di dalam program COOLOD-N, dipakai model iterasi dari luar ke dalam yaitu perhitungan diawali dengan menghitung suhu keluaran pendingin yang diperoleh dari daya yang dibangkitkan di teras dibagi dengan jumlah pendingin, baru diteruskan untuk iterasi pada pelat dan terakhir pada *meat*. Dengan hanya terjadi perubahan pada densitas uranium di dalam meat berarti sifat dan besaran untuk pendingin dan kelongsong sama, sehingga akan didapatkan distribusi suhu pendingin dan pelat sama, dan baru pada suhu *meatnya* yang berbeda.



Pada Gambar 1 ditunjukkan dengan jelas bahwa dengan berubahnya densitas uranium di dalam bahan bakar silisida akan berubah pula besarnya suhu *meatnya*. Apabila melihat batasan suhu *meat* maksimum

yang diijinkan untuk bahan bakar oksida dengan densitas  $2,96 \text{ g/cm}^3$ , seperti yang tertera pada SAR<sup>20</sup>, yaitu  $175 \text{ }^\circ\text{C}$ , maka untuk bahan bakar silisida suhu sebesar itu baru akan dicapai pada densitas uranium  $5,57 \text{ g/cm}^3$  atau tingkat muat  $\text{U}^{235}$  sebesar 470 g per elemen bakar.

### KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan termohidraulika, dengan variasi densitas uranium untuk bahan bakar silisida dapat disimpulkan bahwa :

1. Semua parameter keluaran program kecuali suhu *meat* tidak berubah dengan berubahnya densitas uranium.
2. Dengan bertambahnya densitas uranium, akan semakin tinggi pula suhu *meatnya*.

### DAFTAR PUSTAKA

1. MUH. DARWIS ISNAINI, dkk. "Penentuan Laju Alir Minimum RSG-GAS Berbahan Bakar Oksida", Laporan Penelitian USPEN 1994/1995.
2. K. PUTRANTA, dkk. "Analisis Termohidraulika Teras RSG-GAS Pada Kondisi Tunak Menggunakan Bahan Bakar Silisida", Laporan Penelitian USPEN 1994/1995.
3. "Multi Purpose Research Reactor G.A. Siwabessy, Safety Analysis Report Rev. 7", BATAN, September 1989.
4. G. GYSLER, komunikasi pribadi, March 1994.
5. G. PRAPTORIYADI, dkk, "Uji Benchmark Termohidraulika teras kerja RSG-GAS dalam keadaan tunak", Makalah Seminar Komputasi, PPI-BATAN, 24-25 Januari 1995, Jakarta.
6. J.E. MATOS, J.L. SNELGROVE, Appendix I-1.1. "Selected Thermal Properties and Uranium Density Relations for Alloy, Aluminide, Oxide, and Silicide Fuels" RERTR Program, IAEA-TECDOC-643, Research Reactor Core Conversion Guidebook, Volume 4 : Fuels, April 1992
7. H. RAMLI, komunikasi pribadi, 1995.
8. M. KAMINAGA, "COOLOD-N: A computer code for the analysis of the steady-state thermal hydraulics in plate-type research reactors", JAERI-M 90-021, February 1990, Japan.

Tabel 2. Perhitungan Fraksi Volume dan Densitas Elemen Bakar Siliseita BSC-GAS

	210	250	275	300	340	400	430	470	500
Massa U-235 per fuel element [g]	20,321	29,321	29,321	30,321	30,321	29,321	30,321	30,321	30,321
Volume MHC [cc]									
Massa U-235 [g]	15,0000	11,90476	12,93714	14,28571	16,95997	19,04762	21,43887	22,61905	23,80952
Massa U-238 [g]	45,83291	48,31755	52,24221	58,24702	67,72112	77,36652	87,07952	91,90778	96,74353
Massa Uranium [g]	60,83291	60,22231	65,17935	72,53273	84,68109	96,41304	108,51839	114,52683	120,55305
Massa U235,2 [g]	34,63536	45,23619	50,23260	58,08622	67,04276	76,40430	85,27184	92,53735	98,06037
Massa B-235 [g]	3,99342	4,73294	5,12914	5,79249	6,65428	7,60458	8,65324	9,80253	10,95242
Volume U235,2 dan B-235 [cc]	4,47769	5,32034	5,72677	6,39648	7,42168	8,52355	9,70450	10,97399	12,33202
Fraksi vol. U235,2 dalam mme	0,22023	0,28218	0,28315	0,31441	0,34708	0,40948	0,47192	0,49814	0,52459
Fraksi vol. boron dalam mme	0,01962	0,02376	0,02821	0,03454	0,04285	0,05295	0,06487	0,07859	0,09325
Fraksi vol. Al dalam mme	0,79315	0,71426	0,68854	0,64945	0,57930	0,52027	0,46817	0,42167	0,37919
Fraksi vol. B dalam mme	0,08113	0,05600	0,10433	0,11993	0,13284	0,14358	0,15268	0,16054	0,16720
Massa A-27 dalam mme [g]	41,89225	36,19737	37,79964	35,51766	31,70059	27,51037	22,80942	20,34945	17,74136
Massa U235,2-A [g]	86,81781	104,22736	108,02921	113,85389	122,98215	131,26856	139,99375	143,92060	147,80774
Fraksi vol. U235,2 = boron-29	0,23683	0,28234	0,21146	0,35115	0,42172	0,48879	0,54039	0,57880	0,61581
Konduktivitas termal mme (W/cm oK)	1,443	1,22	1,102	0,975	0,837	0,712	0,607	0,517	0,44
DENSITAS [g/cc]									
Densitas U235,2-A dalam mme	4,74771	5,17653	5,31382	5,99018	6,93811	8,04714	9,30229	10,71918	12,29177
Densitas Uranium dalam mme	2,49043	2,96480	3,01188	3,33778	4,19471	4,74267	5,32863	5,83311	6,37259
Densitas U235,2 dan B-235 dalam mme	2,88830	3,16017	3,45446	3,82826	4,47600	5,11773	5,76743	6,37726	6,93713