

PERHITUNGAN OPTIMASI IRADIASI PRODUK MO⁹⁹ DI TERAS RSG-GAS *)

Shidiq Suroso

ABSTRAK

PERHITUNGAN OPTIMASI IRADIASI PRODUK MO⁹⁹ DI TERAS RSG-GAS.

Perhitungan muatan optimum tiap target penghasil *Fission Product Molybdenum* (FPM) dilakukan dalam dua aspek yaitu, neutronika dan termohidraulika. Lokasi target masing-masing diskenarioikan di posisi *Central Irradiation Position* (CIP) dan *Irradiation Position* (IP). Perhitungan dari aspek termohidraulika dilakukan dengan menggunakan program Cobra IV-I dengan batasan harga *Minimum Departure from Nucleate Boiling Ratio* (MDNBR) yang didefinisikan sebagai rasio antara fluks kalor maksimum yang dihitung menggunakan persamaan dengan fluks kalor setempat untuk syarat aman harus lebih besar dari 1,3. Dengan memperhitungkan ketidak-tentuan dalam perhitungan maka harga MDNBR ditetapkan sebesar 1,6. Hasil perhitungan diperoleh muatan maksimum tiap target sebesar 6 gram. Perhitungan dari aspek neutronika dilakukan dengan menggunakan program WIMS D/4 dan program BATAN-2DIFF. Batasan yang digunakan dalam perhitungan neutronika adalah harga reaktivitas lebih (ΔP_{target}) maksimum lebih kecil dari 1,2 %. Dari hasil perhitungan diperoleh muatan maksimum tiap target yang dapat diiradiasi sebesar 15 gram. Dari hasil-hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa iradiasi FPM yang selama ini dikerjakan dengan hanya 3 gram masih dapat ditingkatkan sebesar 6 gram tiap target dan reaktor masih dalam kondisi aman.

ABSTRACT

THE CALCULATION OF MO⁹⁹ PRODUCTION IRRADIATION OPTIMATION.

The calculation of optimation loaded every target for Fission Product Molybdenum (FPM) perform in both aspect i.e. neutronically and thermohidraulically. The location simulation of every target for calculation are in the Central Irradiation Position (CIP) and Irradition Position (IP). Thermohidraulically aspect calculation performed using Cobra IV-i code, with restrict Minimum Departure from Nucleat Boiling Ratio (MDNBR) value. Definition of MDNBR is ratio of maximum heat flux calculated using equation with local heat flux for safety the values must greater than 1.3. With the calculating of uncertainty in the calculation then to determination the MDNBR value is 1.6. The resulted of calculation to got maximum loaded every target is 6 gram. Neutronically aspect calcaultion performed using WIMS D/4 code and BATAN-2 DIFF code. The restricted using in the neutronis calculation is over reactivity (ΔP_{target}) less than 1.2 %. The resulted of calculation to got maximum loaded every target which can irradiation is 15 gram. From the resulted of calculation we can to take conclusion that FPM can be increase until 6 gram and the reactor still save.

PENDAHULUAN

Reaktor Serbaguna G.A. Siwabessy disamping digunakan untuk penelitian, juga digunakan untuk produksi isotop, diantaranya yang

diproduksi adalah Molybdenum (Mo⁹⁹). Molybdenum-99 diperoleh dari hasil reaksi inti antara U²³⁸ dengan neutron. Mengingat permintaan yang semakin meningkat akan jasa produksi Mo⁹⁹ dan dalam rangka optimasi pemanfaatan

RSG-GAS, maka dalam rangka mengantisipasi hal tersebut, dipandang perlu untuk menghitung optimasi produk Mo^{99} yang dapat diiradiasi di teras RSG-GAS dengan batasan reaktor masih dalam kondisi aman baik memenuhi batasan termohidraulika maupun neutronika. Perhitungan dari aspek termohidraulika dikerjakan dengan menggunakan paket program COBRA IV-I dengan data masukan laju aliran pendingin dan fluks neutron diperoleh dari pengukuran teras tipikal (*typical working core*). Batasan keselamatan yang dipakai sebagai acuan di dalam perhitungan berdasarkan pad harga MDNBR (*Minimum Departure from Nucleate Boiling Ratio*).

Paket program COBRA IV-I dikembangkan oleh *The Pacific Northwest Laboratory, Battle Northwest* pada tahun 1976. COBRA menggunakan konsep analisis subkanal. Subkanal secara aksial dibagi menjadi volume-volume atur yang diskret, di mana persamaan-persamaan kekekalan massa, momentum dan energi ditulis. Variabel-variabel laju aliran massa, tekanan, entalpi dan densitas didefinisikan sebagai harga rerata secara volume. Analisis subkanal memungkinkan paket program COBRA IV-I dapat digunakan untuk menganalisis *Fission Product Molydenum* (FPM).

Perhitungan dari aspek neutronika dikerjakan dengan menggunakan paket program komputer WIMS D/4 (*Winfrith Improved multigroup Scheme D/4*), yang merupakan versi terakhir dari WIMS buatan AEE Winfrith, Dorchester, Dorset, United Kingdom. Versi komputer pribadinya dikembangkan oleh Ergo Computing, Inc., for Lahey. Versi pertama telah digunakan untuk aplikasi desain reaktor sejak tahun 1968.

WIMS adalah program sel (*cell*) yang menggunakan teori transport untuk menghitung fluks sebagai fungsi energi dan posisi sel. Perhitungan dibagi ke dalam dua langkah, untuk memudahkan perhitungan. Langkah pertama menghitung spektrum untuk daerah ruang dengan bentuk geometri sederhana pada seluruh kelompok energi yang ada di *library* WIMS dan dengan menggunakan spektrum kecil ini menghasilkan tampang lintang pada sedikit kelompok (*few groups*). Langkah kedua, dari hasil perhitungan dengan sedikit kelompok kemudian digunakan untuk perhitungan pada ruang yang lebih banyak. Fluks yang diperoleh dikembangkan dengan menggunakan spektrum hasil perhitungan sebelumnya, sehingga laju reaksi pada setiap titik ruang dapat dihitung pada perpustakaan struktur kelompok.

TATA KERJA BATASAN

Batasan perhitungan meliputi batasan perhitungan dari aspek termohidraulika dan batasan dari aspek neutronika :

Batasan Termohidraulika

Sebagai batasan dalam perhitungan untuk aspek termohidraulika adalah harga *Minimum Departure Nucleate Boiling Ratio* (MDNBR) yang merupakan dasar desain reaktor. Reaktor yang berpendingin air harga MDNBR yang dipersyaratkan lebih besar dari 1,3¹⁾. Dengan memperhitungkan ketidak tentuan di dalam pengukuran dan akurasi di dalam perhitungan, maka batas keselamatan MDNBR yang digunakan dalam perhitungan sebesar 1,6.

Batasan Neutronika

Sebagai batasan dalam perhitungan untuk aspek neutronika adalah harga reaktivitas lebih ($\Delta\rho_{\text{target}}$) yang ditimbulkan oleh sampel yang akan diiradiasi di dalam teras reaktor tidak boleh melebihi 1,2% untuk seluruh sampel, atau maksimum 0,5% untuk setiap sampel.

METODA PERHITUNGAN

Perhitungan dilakukan dari segi termohidraulika dan neutronika, metoda perhitungan yang digunakan masing-masing adalah :

Metoda Perhitungan Termohidraulika

- Perhitungan dilakukan dengan menggunakan laju alir yang diperoleh dari pengukuran pada teras TWC yaitu sebesar 43 m³/h untuk satu kanal posisi yang dapat diisi dengan empat target pada daya nominal.
- Perhitungan dilakukan dengan asumsi sumber panas berasal dari fisi U²³⁵ yang divariasikan massanya dari 1 gr sampai 10 gr
- dan gamma heating dari material penyusun target.
- Massa U²³⁵ diasumsikan terdistribusi merata secara homogen sepanjang target dan pembangkitan panas merata sepanjang target aktif.

- Perhitungan suhu fluida , suhu kelongsong, rugi tekanan, koefisien perpindahan panas dan MDNBR dilakukan menggunakan paket program COBRA IV-I pada kondisi tunak.

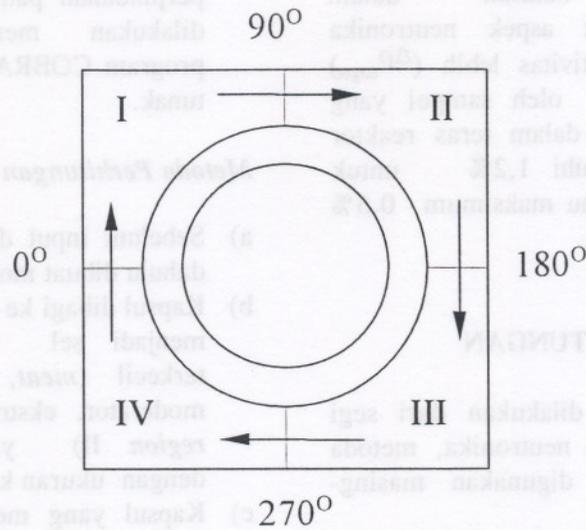
Metoda Perhitungan Neutronika

- Sebelum input dimasukkan terlebih dahulu dibuat model sel.
- Kapsul dibagi ke dalam tiga bagian menjadi sel satuan. Sel satuan terkecil (*meat*, kelongsong, moderator, ekstra *region I*, ekstra *region II*) yang disesuaikan dengan ukuran kapsul.
- Kapsul yang memuat Molibdenum menjadi dua bagian dianggap sebagai kapsul ¼ sel dan satu bagian lagi yang memuat *dummy* dianggap sebagai 1/2 sel kosong.
- Asumsi diambil bahwa batas fisis sel satuan juga merupakan batas daerah (*region*).

PEMODELAN PERHITUNGAN

Pemodelan Untuk Perhitungan Termohidraulika

Kajian termohidraulika menggunakan program COBRA IV-I dengan pemodelan diberikan pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Model perhitungan termohidraulika

Data masukan program

Data Dimensi

- a. Luas kanal = 5,458 cm²
- b. Perimeter panas = 2,369 cm
- c. Perimeter basah = 5,919 cm
- d. Panjang FPM aktif = 45,72 cm
- e. Jarak dari titik pusat kanal ke titik pusat kanal di dekatnya = 2,4 cm
- f. Jarak dinding pipa satu dan lainnya (gap I) = 0,282 cm
- g. Gap II = 0,252 cm

Data fisis

- a. Konduktivitas termal (k)
 - Helium = 0,141 W/(mK)
 - Uranium = 2,424 W/(mK)
 - Aluminium = 1,765 W/(mK)

b. Densitas (P)

- Helium = 0,000241 gr/cm³
- Uranium = 18,7 gr/cm³
- Aluminium = 2,699 gr/cm³

c. Panas spesifik (Cp)

- Helium = 5,20 x 10³ J/(kg K)
- Uranium = 123,51 J/(kg K)
- Aluminium = 0,5 x 10³ J/(kg K)

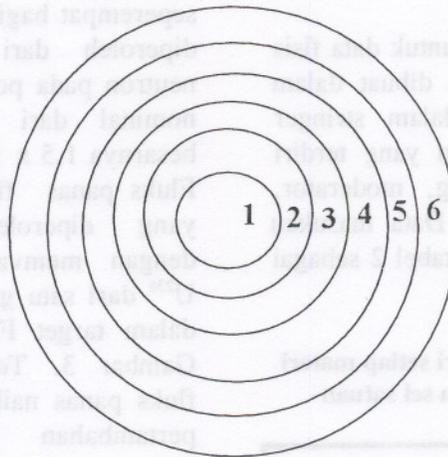
d. Temperatur inlet = 44,5 °C

e. Aliran pada posisi E-7 = 43 m³/h

f. Fluks panas 10,5213 kW

Pemodelan Untuk Perhitungan Neutronika

Kajian neutronika menggunakan program WIMS dengan pemodelan berbentuk anulus diberikan seperti pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2. Model perhitungan untuk masukan program WIMS

Keterangan :

1. Helium
2. U^{235}

3. Aluminium
4. Moderator
5. Daerah ekstra I
6. Daerah ekstra II

Data masukan program

Data Dimensi

Masukan program yang berupa dimensi terdiri dari diameter anulus dari material

penyusun kapsul sebagai fungsi muatan U^{235} diberikan dalam tabel.1. sebagai berikut :

Tabel 1. Data jenis anulus sebagai fungsi muatan U^{235}

No.	Jenis anulus penyusun kapsul	Muatan U^{235}				
		1	3	5	10	15
1	Helium	1,64992	1,64992	1,64958	1,64958	1,64873
2	U^{235}	1,65000	1,65000	1,65000	1,65000	1,65000
3	Aluminium	1,80000	1,80000	1,80000	1,80000	1,80000
4	Moderator	2,10118	2,10118	2,10118	2,10118	2,10118
5	Daerah ekstra I	2,17899	2,17899	2,17899	2,17899	2,17899
6	Daerah ekstra II	2,22928	2,22928	2,22928	2,22928	2,22928

Data fisis

Masukan program untuk data fisis berupa jumlah atom dan dibuat dalam model sel, kapsul di dalam stringer dibagi menjadi sel satuan yang terdiri dari : *meat*, kelongsong, moderator, daerah ekstra dan air. Data masukan tersebut diberikan dalam tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Jumlah atom dari setiap materi penyusun kapsul dalam sel satuan

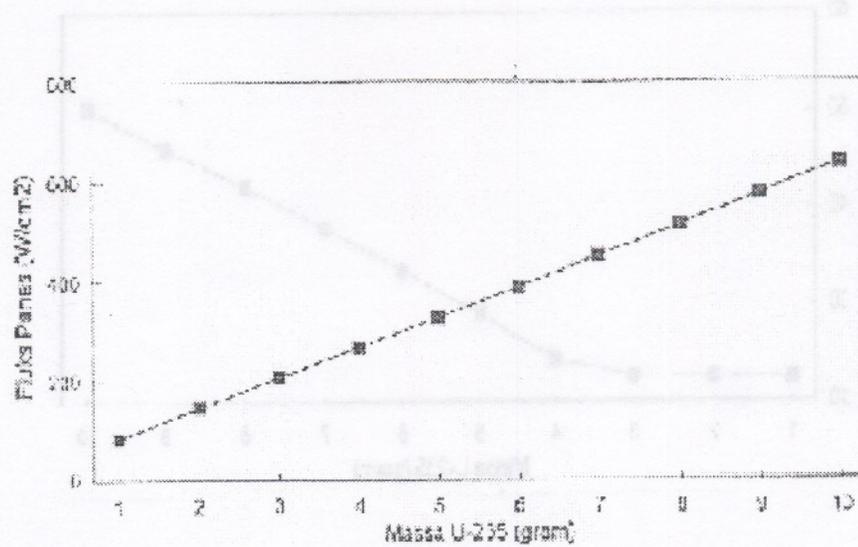
No.	Daerah	Jumlah Atom
1.	Meat	$N^{235} = 4,5148E-02$ $N^{238} = 3,01441E-03$
2.	Kelongsong	$N^{Al} = 6,02620E-02$
3.	Moderator	$N^O = 3,30941E-02$ $N^H = 6,61899E-02$
4.	Ekstra	$N^{Si} = 2,28144E-04$ $N^{Fe} = 1,14733E-04$ $N^{Cu} = 1,28041E-05$ $N^{Al} = 5,88651E-02$
5.	Air	$N^O = 3,30041E-02$ $N^H = 6,61899E-02$

HASIL DAN PEMBAHASAN

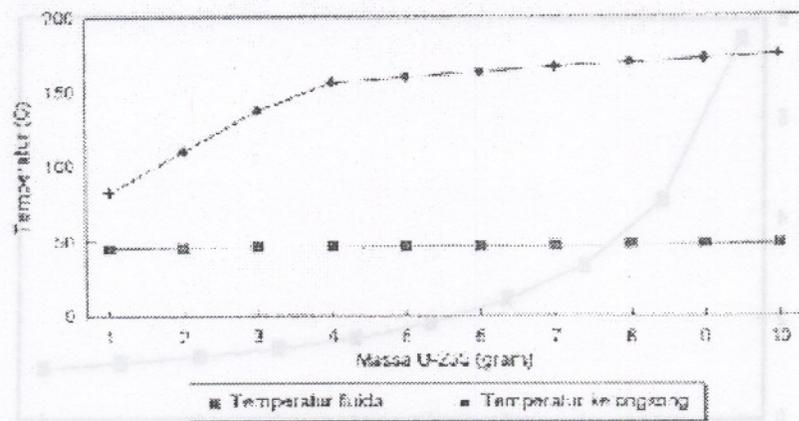
Sebagai batasan dalam perhitungan digunakan harga *Minimum Departure from Nucleate Boiling Ratio* (MDNBR). MDNBR untuk reaktor yang berpendingin air biasanya harganya lebih besar dari 1,3⁴⁾. Dengan memperhitungkan ketidakpastian di dalam pengukuran dan ketelitian di dalam perhitungan, maka pada perhitungan ini harga MDNBR - nya ditetapkan sebesar 1,6. Dalam perhitungan diasumsikan target ditempatkan pada sebuah stringer yang dapat diisi 4 buah kapsul, sehingga setiap kapsul memperoleh laju alir

pendingin maksimum sebesar seperempat bagian dari 43 m³/jam yang diperoleh dari pengukuran²⁾. Fluks neutron pada posisi iradiasi untuk daya nominal dari pengukuran diperoleh besarnya 1,5 x 10¹⁴ neutron/(cm² sec.)¹⁾. Fluks panas fisi dan *gamma heating* yang diperoleh dari perhitungan dengan memvariasikan muatan massa U²³⁵ dari satu gram sampai 10 gram di dalam target FPM dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat bahwa besarnya fluks panas naik secara linier terhadap pertambahan muatan massa U²³⁵ di dalam target. Sedangkan Gambar 4 menyajikan temperatur fluida dan temperatur kelongsong target sebagai fungsi muatan massa U²³⁵ di dalam target. Untuk temperatur pendingin terlihat tidak adanya kenaikan yang berarti, sedangkan temperatur kelongsong terlihat gradien temperatur cukup besar untuk pertambahan muatan massa U²³⁵ dari satu gram sampai 4 gram. Hal ini memperlihatkan perpindahan panas berlangsung dengan cukup baik pada fluks panas rendah. Gradien temperatur kelongsong tersebut mulai rendah untuk pertambahan muatan massa U²³⁵ dari 4 gram sampai 10 gram. Hal ini karena fluks panas yang dibangkitkan target sudah mendekati kondisi pendidihan²⁾. Harga koefisien perpindahan panas sebagai fungsi muatan massa U²³⁵ di dalam target dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk muatan U²³⁵ dari 1 gram sampai 3 gram tidak ada kenaikan yang berarti bahkan bisa dikatakan konstan, dan mulai terlihat kenaikannya pada muatan massa U²³⁵ 4 gram sampai 10 gram. Pola demikian menunjukkan bahwa untuk muatan massa U²³⁵ dari 1 gram sampai dengan 3 gram berada pada daerah *subcooled* dan daerah *saturated* terjadi pada muatan massa U²³⁵ dari 4 gram sampai 10 gram²⁾. Harga MDNBR yang diperoleh dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 6, terlihat bahwa harganya semakin

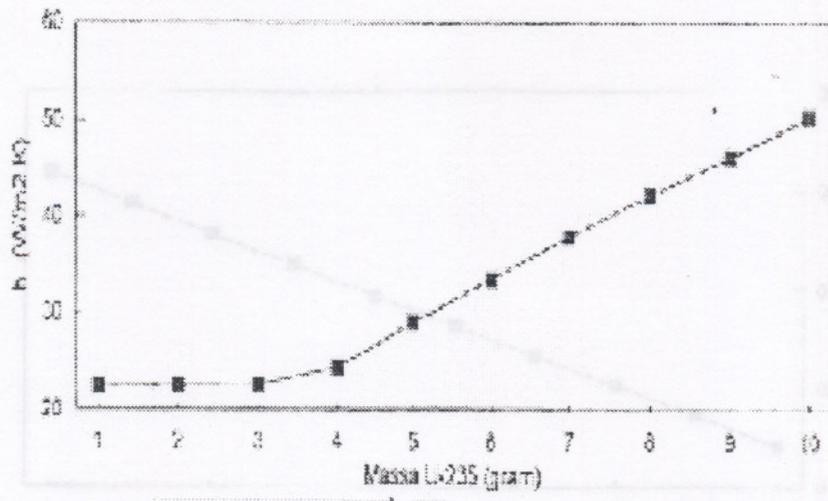
menurun dengan bertambahnya muatan massa



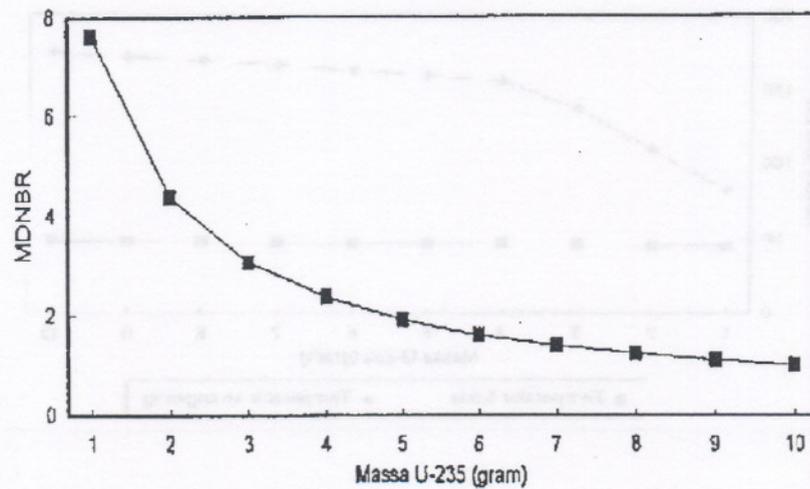
Gambar 3. Grafik fluks panas sebagai fungsi muatan masa U-235 dalam target



Gambar 4. Grafik temperatur fluida dan kelongsong sebagai fungsi muatan masa U-235 dalam target



Gambar 5. Grafik koefisien perpindahan panas sebagai fungsi muatan masa U-235 dalam target



Gambar 6. Grafik MDNBR sebagai fungsi muatan masa U-235 dalam target

Tabel 3. Simulasi perhitungan reaktivitas lebih ($\Delta\rho_{\text{target}}$) dengan alternatif posisi iradiasi sebagai fungsi muatan Uranium.

No.	Muatan (gr)	CIP (%)	IP (%)				$\Delta\rho$ (%)
			G-7	E-4	B-6	D-9	
1		E-7	G-7	E-4	B-6	D-9	
	1	0,1507	0,0586	0,0674	0,0690	0,0650	0,4107
	3	0,1915	0,0851	0,0987	0,0826	0,0867	0,5446
	5	0,1987	0,0875	0,1067	0,1003	0,0987	0,5919
	10	0,2858	0,1363	0,1483	0,1427	0,1339	0,8470
	15	0,3137	0,1643	0,1859	0,1849	0,1667	1,0125
2		E-6	G-7	E-4	B-6	D-9	
	1	0,1475	0,0586	0,0674	0,0690	0,0650	0,4075
	3	0,1907	0,0851	0,0987	0,0826	0,0867	0,5438
	5	0,2959	0,0875	0,1067	0,1003	0,0987	0,5991
	10	0,2850	0,1363	0,1482	0,1427	0,1339	0,8462
	15	0,3217	0,1643	0,1859	0,1849	0,1667	1,0205
3		D-6	G-7	E-4	B-6	D-9	
	1	0,1779	0,0586	0,0674	0,0690	0,0650	0,4379
	3	0,2659	0,0851	0,0987	0,0826	0,0867	0,6190
	5	0,2667	0,0875	0,1067	0,1003	0,0987	0,6599
	10	0,4046	0,1363	0,1483	0,1427	0,1339	0,9658
	15	0,4618	0,1643	0,1859	0,1849	0,1667	1,1606
4		D-7	G-7	E-4	B-6	D-9	
	1	0,2019	0,0586	0,0674	0,0690	0,0650	0,4619
	3	0,2531	0,0851	0,0987	0,0826	0,0867	0,6062
	5	0,2810	0,0875	0,1067	0,1003	0,0987	0,6742
	10	0,3982	0,1363	0,1483	0,1427	0,1339	0,9594
	15	0,4626	0,1643	0,1859	0,1849	0,1667	1,1614

U^{235} di dalam target. Pada harga MDNBR sesuai dengan kriteria yang ditetapkan yaitu sekitar 1,6 diperoleh muatan massa U^{235} dalam target sebesar 6 gram, temperatur pendingin 47,06 °C, temperatur kelongsong 163,06 °C, koefisien perpindahan panas 33,611 kW/(m² K) dan fluks panas 390,446 W/cm².

Sebagai batasan dalam perhitungan untuk aspek neutronika

adalah harga reaktivitas lebih ($\Delta\rho_{\text{target}}$) yang ditimbulkan oleh sampel yang akan diiradiasi di dalam teras reaktor tidak boleh melebihi 1,2 %. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program WIMD/4 untuk menghasilkan D , \sum_a , $v\sum_f$, \sum_g dan \sum_{sg} . Data-data tersebut digunakan untuk masukan program BATAN-2DIFF. Simulasi perhitungan dilakukan dengan menempatkan kapsul pada beberapa alternatif posisi iradiasi yaitu satu di

CIP (*Central Irradiation Position*) dan yang lain di IP (*Irradiation Position*). Hasil diberikan pada tabel 3 dengan muatan massa divariasikan dari 1 gram sampai dengan 15 gram. Terlihat dari tabel tersebut bahwa muatan massa Uranium sampai dengan 15 gram harga reaktivitas lebih yang ditimbulkan masih di bawah batas keselamatan yang dipersyaratkan.

KESIMPULAN

Hasil perhitungan target penghasil FPM dari segi termohidraulika dan neutronika dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan termohidraulika dengan menggunakan paket program COBRA IV-I, target penghasil FPM sampai dengan muatan U^{235} sebesar 6

gram untuk setiap kapsul dapat diiradiasi di dalam teras reaktor G.A. Siwabessy, karena pada muatan U^{235} sebesar 6 gram tersebut batas keselamatan yang disyaratkan belum terlampaui. Pada muatan U^{235} di dalam target sebesar 6 gram diperoleh fluks panas $390,446 \text{ W/cm}^2$, temperatur fluida $47,06 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatur kelongsong $163,06 \text{ }^\circ\text{C}$, koefisien perpindahan panas $33,611 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ dan MDNBR 1,62.

2. Hasil perhitungan neutronika dengan simulasi posisi iradiasi di CIP dan IP target penghasil FPM dapat diiradiasi sampai dengan muatan 15 gram reaktor masih dalam kondisi aman yaitu harga reaktivitas lebih ($\Delta\rho_{\text{target}}$) maksimum sebesar 1,1614 %, masih di bawah harga yang dipersyaratkan yaitu 1,2 %

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, *Safety Analysis Repot*, revisi 7, Serpong, 1989
2. Collier, J.G., *Convective Boiling Condensation*, McGraw-Hill, New York, 1981
3. SUROSO, dkk., *Analisis Termohidraulika Target LEU Penghasil FPM dengan Program COBRA IV-i, Prosiding Seminar III Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*, Serpong, 5-6 September 1995
4. TODREAS, N.E., and KAZIMI, M.S., *Nuclear System II Elements of Thermal-Hydraulic Design*, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1990
5. WHEELER, C.L., *An Interim Version of COBRA for Thermal-Hidraulic Anlysis of Rod Bundle Nuclear Fuel Elements and Cores*, Battele Pacific Northwest Laboratories, Washington, 1976
6. WOOD, E.L., *Thermal Testing of Uranium Metal Targets for ^{99}Mo Production*, ANL, USA, 1994