

PERHITUNGAN PROFIL SUHU FASILITAS IRADIASI BATU TOPAZ DI RSG-GA SIWABESSY

Sutrisno, Kawkab Mustofa, Saleh Hartaman, Rohidi

ABSTRAK

PERHITUNGAN PROFIL SUHU FASILITAS IRADIASI BATU TOPAZ DI RSG- GA SIWABESSY. Fasilitas iradiasi batu topaz berada di posisi luar teras dengan memanfaatkan fasilitas silikon doping yang mempunyai fluks neutron sekitar $4 \times 10^{12} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{det})$ pada daya 15 MW. Fasilitas iradiasi batu topaz terdiri dari tabung luar dan kapsul iradiasi. Sebelum dilakukan iradiasi perlu dilakukan perhitungan perpindahan panas dari target ke lingkungan. Perhitungan perpindahan panas menggunakan paket program *GENGTC*. Dari hasil perhitungan profil suhu tabung tersebut diperoleh hasil sebagai berikut: Suhu topaz di pusat kapsul: 303,87 °C, Suhu AlMgSi dinding dalam : 186,99 °C (gap di antara topaz dan dinding AlMgSi terisi He), Suhu Indium: 112 °C, Suhu paduan B-Gd: 108°C dan suhu Al Mg Si (dinding luar): 96,20°C. Dengan harga ini fasilitas iradiasi topaz aman untuk dioperasikan karena integritas batu topaz, kapsul AlMgSi, lapisan paduan B-Gd masih terjaga pada suhu di bawah titik lelehnya.

Kata kunci : suhu, batu topaz

ABSTRACT

CALCULATION OF TEMPERATURE PROFILE OF TOPAZ STONES FACILITY IN RSG-GA SIWABESSY. Topaz irradiation facility is in outside of core. It use silicon doping facility that has neutron flux is approx. $4 \times 10^{12} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ at 15 MW power. Topaz irradiation facility is consist of outer tube and irradiation capsule. Before irradiating the target, must be calculate heat transfer from the target to environment. The program *GENGTC* is used to calculate heat transfer. From calculation of temperature profile, it is produced: Temperature of topaz at the centre is 303,87 °C, temperature of inner AlMgSi is 186,99 °C (between topaz and inner AlMgSi is filled be Helium), temperature of Indium is 112 °C, temperature of mixture of B-Gd is 108 °C and temperature of outer AlMgSi is 96,20 °C. By the results, topaz irradiation facility is safety to be operated because the integrity of topaz, AlMgSi capsule, mixture of B-Gd layer, is still in good condition of the melting point.

Key words : temperature, topaz

PENDAHULUAN

RSG-GAS mempunyai beberapa fasilitas iradiasi yang digunakan untuk melakukan penelitian, pengujian dan produksi isotop. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan reaktor, dibuat fasilitas baru yaitu fasilitas iradiasi batu topaz.

Fasilitas iradiasi batu topaz adalah fasilitas iradiasi yang dipasang di sisi luar teras reaktor RSG-GAS yang mempunyai fluks neutron sekitar $4 \times 10^{12} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{det})$ pada daya 15 MW, bila diperlukan fasilitas ini dapat digunakan secara bergantian dengan fasilitas silikon doping. Bagian utama dari fasilitas iradiasi batu topaz adalah tabung luar, tabung dalam, rangka pemegang dan penggantung. Sebagian besar material dari fasilitas iradiasi topaz adalah paduan Aluminium (AlMgSi).

Tabung luar dibuat dari bahan paduan Aluminium (AlMgSi) berlapis yang bagian tengahnya disisipi cadmium (tebal $\approx 5 \text{ mm}$) yang berfungsi sebagai filter neutron termal. Sedangkan kapsul iradiasi juga dibuat dari Aluminium (AlMgSi) berlapis yang di tengahnya disisipi lapisan Indium setebal 2 mm dan paduan Boron-Gadolinium (B-Gd) setebal 7 mm sehingga diharapkan neutron yang menembak topaz hanya neutron cepat saja.

TEORI

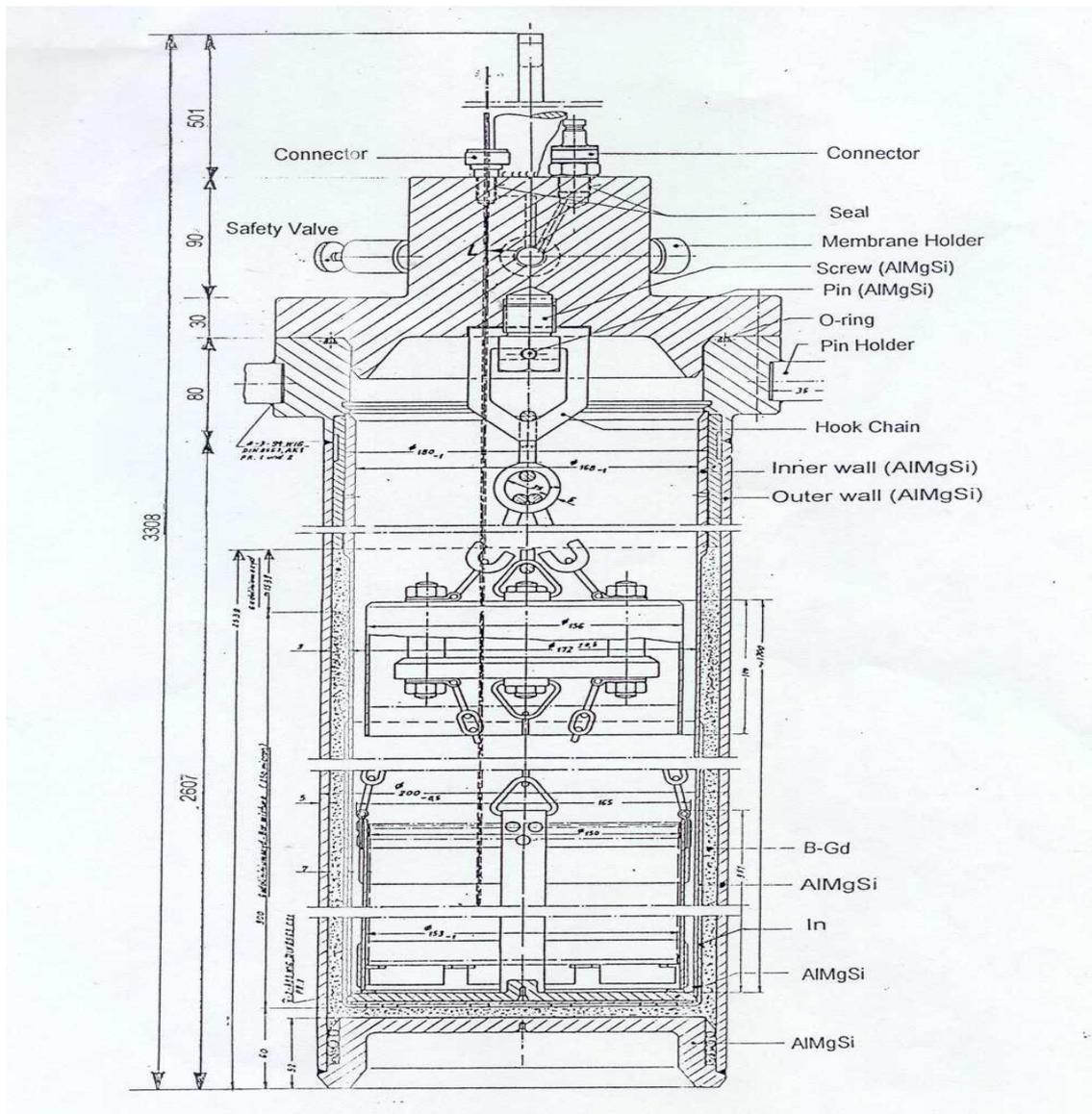
Diskripsi Fasilitas.

Fasilitas iradiasi batu topaz adalah fasilitas iradiasi yang dipasang di sisi luar teras reaktor RSG-GAS, dan bila diperlukan fasilitas ini dapat digunakan secara bergantian dengan fasilitas silikon doping. Bagian utama dari fasilitas iradiasi batu topaz

adalah tabung luar, tabung dalam, rangka pemegang dan penggantung. Sebagian besar material dari fasilitas iradiasi topaz adalah paduan Aluminium (AlMgSi).

Tabung luar mempunyai jari-jari luar 110 mm, tinggi 1304 mm yang berfungsi sebagai pengikat tabung ke rangka. Bagian bawah tabung setinggi 1000 mm ber dinding 3 (tiga) lapis. Lapisan luar paduan aluminium (AlMgSi) setebal 2 mm, lapisan tengah cadmium setebal 1,5 mm dan lapisan dalam paduan aluminium (AlMgSi) setebal 1,5 mm. Tutup bawah sekaligus berfungsi sebagai dudukan kapsul topaz dibuat dari paduan aluminium (AlMgSi). Pada tutup bawah ini dibuat lubang-lubang sebanyak 16 buah secara radial yang berfungsi sebagai saluran air pendingin. Kapsul iradiasi topaz mempunyai jari-jari 100 mm dan tinggi 3400 mm. Bagian atas adalah tutup yang dapat dibuka dan dilengkapi dengan saluran gas pendingin (gas He).

Dinding kapsul dibuat 4 lapis, lapisan pertama (lapisan luar) paduan aluminium (AlMgSi) setebal 5 mm, lapisan kedua paduan Boron-Gadolinium setebal 7 mm, lapisan ketiga Indium setebal 2 mm dan lapisan keempat (lapisan dalam) paduan aluminium (AlMgSi) setebal 2 mm. Tutup bawah dibuat dari bahan paduan aluminium (AlMgSi). Rangka pemegang dibuat dari bahan paduan aluminium (AlMgSi), berfungsi sebagai pemegang tabung luar. Rangka tersebut dipasang pada rel penuntun yang terdapat pada fasilitas silikon doping. Penggantung dibuat dari rantai paduan aluminium (AlMg₃) yang berfungsi sebagai penggantung kapsul topaz. Fasilitas iradiasi batu topaz mampu mengiradiasi batu topaz dengan kapasitas maximum 30 Kg seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kapsul Iradiasi Batu Topaz di RSG GA Siwabessy

Profil suhu pada kapsul iradiasi batu topaz.

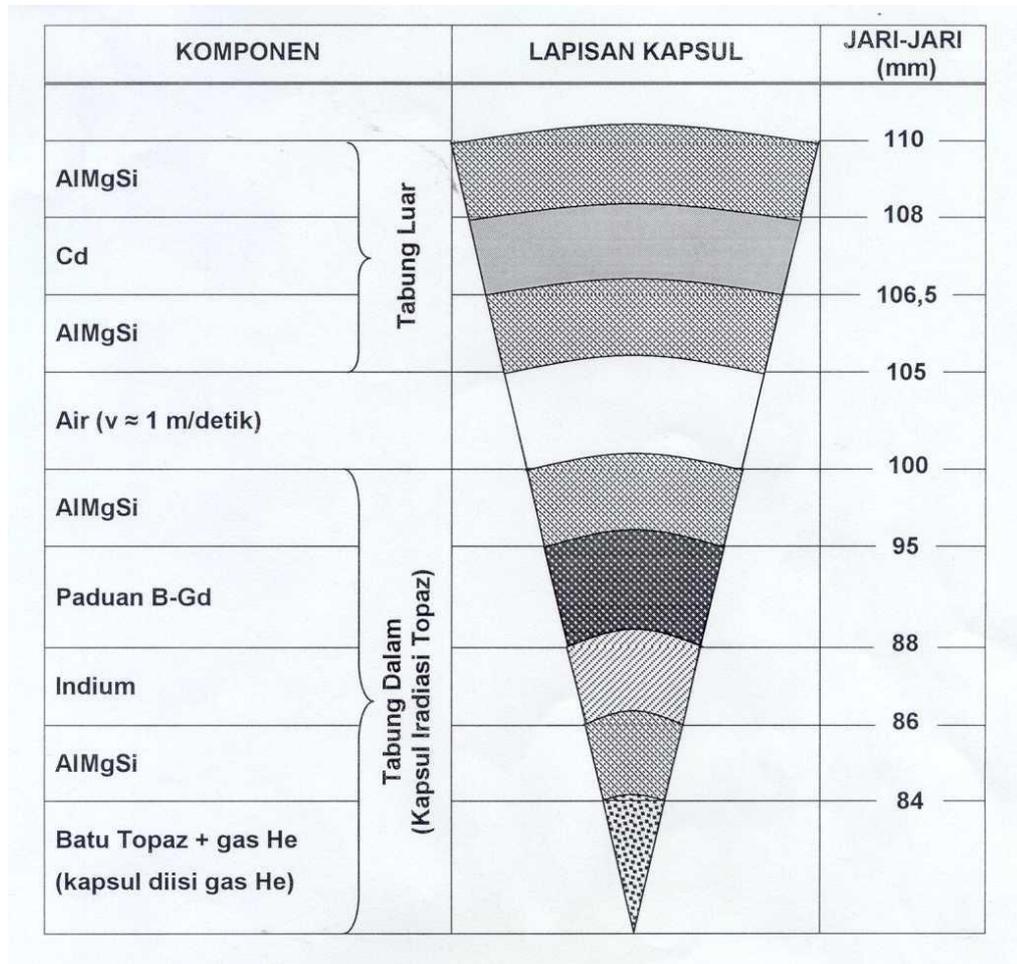
Profil suhu pada kapsul iradiasi batu topaz, bergantung pada besarnya panas yang timbul di dalam kapsul tersebut. Dimana panas tersebut timbul akibat oleh terjadinya reaksi fisi pada elemen bakar dan interaksi

radiasi gamma dengan batu topaz (*gamma heating*).

Terbangkitnya sejumlah panas pada batu topaz yang berasal dari panas gamma perlu dibuang ke sistem pendingin reaktor supaya tidak mengakibatkan kenaikan suhu di atas titik lelehnya 1425 °C yang dapat

membahayakan integritas batu topaz. Topaz dimasukkan ke dalam kapsul berlapis dengan susunan dan ukuran seperti pada Gambar 2. Untuk mengisi rongga (gap) diantara batu

topaz di dalam kapsul iradiasi diisi dengan gas helium (He), sehingga diharapkan distribusi suhu di dalam kapsul akan lebih merata.



Gambar 2. Susunan Komponen Tabung Iradiasi

Profil suhu dari pusat target sampai dinding terluar dari kapsul iradiasi selama iradiasi dapat dihitung dengan menggunakan paket program *GENGTC (Generalized Gap Temperature Calculation)*. Program *GENGTC* menghitung perpindahan panas secara konduksi dan radiasi dalam arah radial. Masukan dari program ini adalah jenis

material, emisivitas, massa jenis, konduktivitas, panas gamma dan panas fisi dari material, dimensi kapsul, suhu pendingin serta koefisien konveksi pendingin. Panas gamma pada topaz dan kapsul diperoleh dari hasil perhitungan dengan program *GAMSET*. Harga koefisien konveksi pendingin (h_c) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$h_c = N_u \cdot k / D_e \quad (1)$$

di mana :

h_c = Koefisien konveksi pendingin ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

N_u = bilangan *Nusselt*

K = koefisien konduksi panas dari fluida ($W/m \cdot ^\circ C$)

D_e = diameter ekuivalen (m)

Untuk konveksi bebas pada kanal vertikal dengan fluks panas konstan dan pendekatan secara *Adiabatik*, maka bilangan *Nusselt* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Nu_{s,L} = \left[\frac{C_1}{Ra_s^* \cdot S/L} + \frac{C_2}{(Ra_s^* \cdot S/L)^{2/5}} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

di mana :

$Nu_{s,L}$ = Bilangan *Nusselt*

C_1 = 24 (Tabel 9.3 "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", Frank P.I and David)

C_2 = 2,51 (Tabel 9.3 "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", Frank P.I and David)

S = *gap* antara tabung dalam dan tabung luar. (m)

L = panjang tabung. (m)

Bilangan *Rayleigh*, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ra_s^* = \frac{g \cdot \beta \cdot q_s'' \cdot S^4}{k \cdot \alpha \cdot \nu} \quad (3)$$

di mana :

Ra_s^* = Bilangan *Rayleigh*

g = gravitasi bumi (m/s^2)

β = koefisien ekspansi air ($^\circ C^{-1}$)

q_s'' = fluks panas (W/m^2)

S = *gap* antara tabung dalam dan tabung luar. (m)

k = koefisien konduksi panas. ($W/m \cdot ^\circ C$)

α = difusitas panas (m^2/s)

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Perhitungan suhu pada kapsul iradiasi batu topaz dilakukan dengan menggunakan program GENGTC. Parameter penting yang menjadi input dalam perhitungan ini adalah:

1. Laju aliran pendingin yang melewati batu topaz di dalam kapsul.
2. Panas gamma pada target.
3. Suhu inlet air pendingin yang melewati target diambil harga rata-rata dari harga terendah dan tertinggi yang diperkenankan pada operasi reaktor.

Diasumsikan kecepatan fluida pendingin *stagnant* dengan suhu $50^\circ C$, maka diperoleh harga koefisien konveksi pendingin, $h_c = 460,6 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ atau $h_c = 81,09 BTU/hr ft^2 \cdot ^\circ F$

Sedangkan data lain yang dipergunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

(dengan asumsi daya reaktor 15 MW).

- Dimensi kapsul : lihat Gambar 1

- Suhu fluida pendingin : $50^\circ C$

- Koefisien konveksi pendingin : 81,09 BTU/hr ft² °F

- Panas gamma AlMgSi : 0,133 W/gr

- Panas gamma Indium : 0,121 W/gr

- Panas gamma paduan B-Gd: 0,120 W/gr

- Panas gamma topaz : 0,124 W/gr

- Koefisien konduksi panas AlMgSi : 117 BTU/hr ft °F

- Koefisien konduksi panas Indium : 13,76 BTU/hr ft °F

- Koefisien konduksi panas B-Gd : 5,08 BTU/hr ft °F

- Koefisien konduksi panas topaz : 1,94 BTU/hr ft °F

- Massa jenis AlMgSi : 2,72 gr/cc

- Massa jenis Indium : 7,31 gr/cc

- Massa jenis paduan B-Gd: 7,40 gr/cc

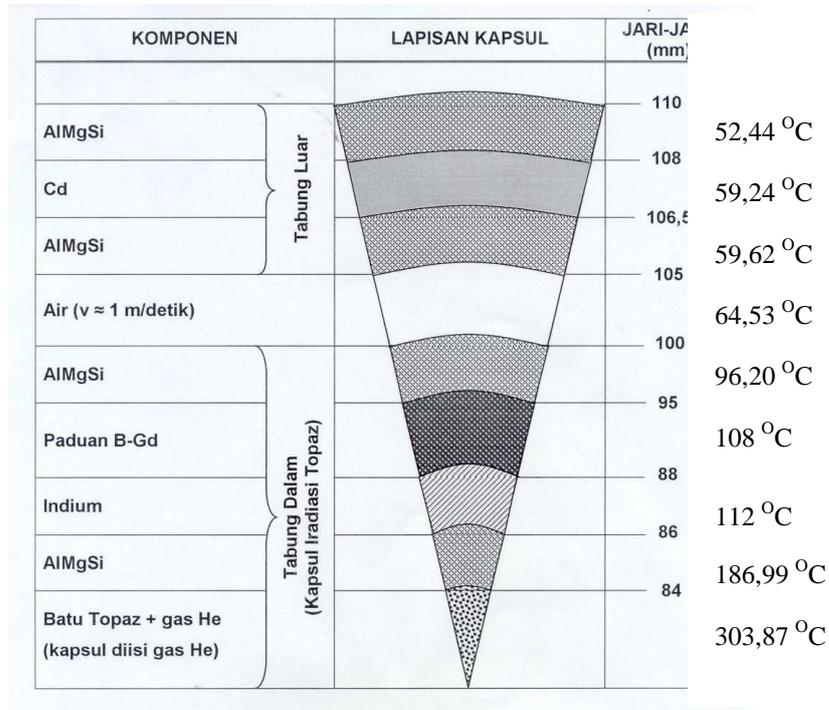
- Massa jenis topaz : 3,5 gr/cc

Dengan data masukan seperti tersebut di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut :

- Suhu topaz di pusat kapsul : $303,87^\circ C$

- Suhu AlMgSi (dinding dalam) : $186,99^\circ C$

- Suhu Indium : 112 °C
 - Suhu paduan B-Gd : 108 °C
 - Suhu AlMgSi (dinding luar) : 96,20 °C
 - Suhu Air : 64,53 °C
 - Suhu AlMgSi (dinding dalam tabung luar) : 59,62 °C
 - Suhu Cadmium (tabung luar) : 59,24 °C
 - Suhu AlMgSi (dinding luar tabung luar): 52,44 °C
- Dari hasil perhitungan suhu tersebut di atas dapat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil perhitungan distribusi suhu pada fasilitas topaz

Dari hasil perhitungan di atas bahwa integritas batu topaz, kapsul AlMgSi, lapisan Indium dan lapisan paduan B-Gd masih terjaga pada suhu tersebut, karena titik leleh topaz $\approx 1425^{\circ}\text{C}$ (hasil perhitungan $303,87^{\circ}\text{C}$), titik leleh AlMgSi $\approx 650^{\circ}\text{C}$ (hasil perhitungan $186,99^{\circ}\text{C}$), titik leleh Indium $\approx 156,6^{\circ}\text{C}$ (hasil perhitungan 112°C) dan titik leleh paduan B-Gd sekitar 2160°C (hasil perhitungan 108°C).

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dapat diambil kesimpulan, bahwa fasilitas iradiasi topaz

aman untuk dioperasikan karena integritas batu topaz, kapsul AlMgSi, lapisan paduan B-Gd masih terjaga pada suhu di bawah titik lelehnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. DR.Horst Krupp, "Consideration regarding neutron treatment of topaz in a nuclear reactor", March 2001
2. Frank P.I and David," Fundamentals of Heat and Mass Transfer"

