

ANALISIS IRADIASI TARGET KALIUM BROMIDA DI REAKTOR SERBA GUNA-GA SIWABESSY

SUTRISNO, SARWANI, ARIYAWAN SUNARDI
Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN
Kawasan Puspitex Serpong, Tangerang 15310, Banten
Telp. 021.7560908, Faks. 7560573

Abstrak

ANALISIS IRADIASI TARGET KALIUM BROMIDA DI REAKTOR SERBA GUNA (RSG)-G.A SIWABESSY. Radioisotop Bromida merupakan salah satu radioisotop yang dipergunakan sebagai perunut dalam industri. Untuk menghasilkan radioisotop tersebut dapat dilakukan dengan cara mengiradiasi target KBr di teras reaktor khususnya di RSG G.A Siwabessy. Untuk kepentingan pengguna dan keselamatan operasi dilakukan beberapa perhitungan, antara lain besarnya aktivitas dan perpindahan panas dari target ke lingkungan. Perhitungan besarnya aktivitas target menggunakan paket program Origen-2 dan untuk perpindahan panas menggunakan paket program GENGTC. Dari hasil perhitungan untuk iradiasi target Bromida dengan berat 2 gram, waktu iradiasi 4 hari pada daya 15 MW dengan fluks neutron 1×10^{14} n/(cm².detik) dan waktu peluruhan 6 jam diperoleh aktivitas Br-82 = 45,78 Ci sedang besarnya suhu di pusat target adalah 215,1314 °C.

Kata kunci : Iradiasi, Kalium Bromida

Abstract

IRRADIATION TARGET ANALYSIS OF KALIUM BROMIDA IN RSG-GA SIWABESSY. Radioisotope Bromida is one of the radioisotopes used as a tracer in many certain industries. It is produced by irradiating of KBr target especially in RSG- GAS. Both activity and heat transfer calculation of the target are very important to be done to fulfill the customer's need and safe operation. The target activity and heat transfer were calculated by Origen-2 and GENTC respectively. The activity of 2 gram Bromide (Br-82) after 4 days irradiated, at power 15 MW, neutron flux 1×10^{14} n/(cm².second) and after decay 6 hours was 45,78 Ci, while the temperature in the center of the target was 215,13 °C.

Keywords: Irradiation, Kalium Bromide

PENDAHULUAN

Salah satu radioisotop yang dipergunakan sebagai perunut adalah Bromida (Br) dan Radioisotop Br-82 (umur paro 35,34 jam), merupakan radioisotop pemancar beta (β) dan gamma (γ). Radioisotop Br-82 dapat diperoleh dari hasil iradiasi Kalium Bromida (KBr) di teras reaktor dengan reaksi $^{81}\text{Br}(n,\gamma)^{82}\text{Br}$. Kalium Bromida mempunyai bentuk kristal, granuler dan serbuk, massa jenis 2,29 gr/cm³, titik leleh 891 °C dengan kelimpahan Br-81 di

alam sebanyak 49,31 % dan tampang lintang (δ) 2,43 barn.

Untuk mengiradiasi target K-Br dimasukkan ke dalam kapsul yang terbuat dari kuarsa dan dimasukkan ke dalam kapsul yang terbuat dari aluminium. Sertelah itu kedua ujung kapsul tersebut dilas. Untuk menguji kebocoran kapsul yang berisi target dilakukan dengan menggunakan metode uji gelembung dan uji kebocoran dalam kondisi vakum. Selesai diuji kebocoran selanjutnya kapsul aluminium tersebut dimasukkan ke dalam tabung yang terdapat lubang pada sisi-sisinya. Kemudian pau dilakukan iradiasi target di CIP

teras RSG-GAS pada daya 15 MW dengan fluks neutron 1×10^{14} n/cm²detik selama 4 hari.

Untuk kepentingan pengguna dan keselamatan operasi, adanya iradiasi target Bromida di RSG-GAS, perlu dilakukan perhitungan diantaranya adalah besarnya aktivitas dari target yang dihasilkan, perpindahan panas target ke pendingin primer kolam reaktor. Perhitungan besarnya aktivitas dari target KBr dilakukan dengan menggunakan paket program Origen-2 sedangkan untuk perhitungan perpindahan panas menggunakan program GENGTC.

TEORI

Perhitungan Perpindahan Panas

Panas gamma yang terbangkit pada target dan kapsul perlu dibuang ke sistem pendingin reaktor, supaya tidak mengakibatkan pendidihan sehingga tidak membahayakan integritas target. Untuk mencegah kenaikan suhu target yang terlalu tinggi, target dimasukkan ke dalam kapsul berlapis dengan susunan dan ukuran seperti Gambar 1.

Profil suhu dari pusat target sampai dinding terluar dari kapsul 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.

Harga koefisien konveksi pendingin (h_c) dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

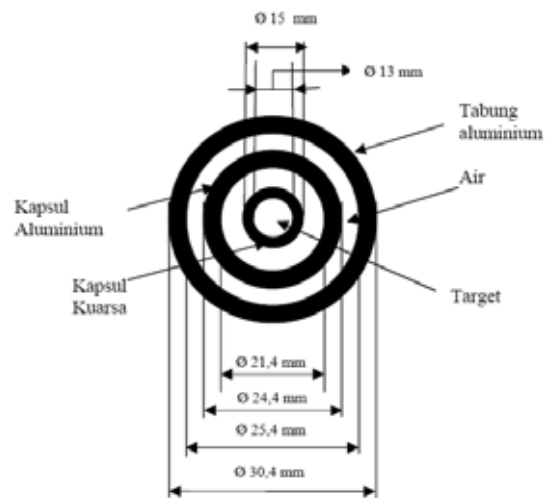
dengan :

h_c = koefisien konduksi panas fluida (w/m.oc)

d_e = diameter ekuivalen (m)

k = konduktivitas panas dari fluida (w/m² oc)

nu = bilangan nusselt



Gambar 1. Susunan Target dan Kapsul

Menurut Dittus Boetler, untuk menghitung besarnya bilangan Nuselt dipergunakan persamaan berikut:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \quad (2)$$

dengan :

Pr = bilangan Prandtl

Re = bilangan Reynold

Besarnya bilangan Reynold dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Re = v \cdot D_e / \mu \quad (3)$$

dengan :

v = kecepatan fluida pendingin (m/det)

D_e = diameter ekuivalen (m)

μ = kekentalan fluida (m²/det)

Perhitungan Aktivitas

Besarnya aktivitas dari target dapat dihitung dengan menggunakan paket program Origen-2. Secara garis besar perhitungan aktivitas tersebut menggunakan rumus:

$$A = \frac{No \cdot m \cdot \sigma_1 \cdot \phi \cdot \lambda_1 \cdot (e^{-\sigma_1 \cdot \phi \cdot t} - e^{-(\lambda_1 + \sigma_2 \cdot \phi) t})}{\lambda_1 + \sigma_2 \cdot \phi - \sigma_1 \cdot \phi} \text{ cps} \quad (4)$$

dengan :

A = Aktivitas (cps)

No = nomor atom dari target (jumlah atom/gram)

m = massa dari target (gram)

σ_1 = tampang lintang target (barn)

σ_2 = tampang lintang produk (barn)

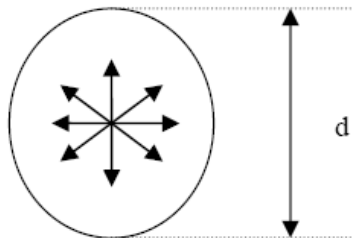
λ_1 = 0,693/umur paro (per detik)

ϕ = fluks neutron ($n/cm^2 \cdot detik$)
t = waktu iradiasi (detik)

Perhitungan Tegangan Termal Akibat Kenaikan Tekanan Internal

Kapsul kuarsa selain berisi target K-Br juga diisi dengan gas helium (He). Tujuan dari pengisian gas helium ini untuk menjaga agar udara tidak masuk dan untuk membantu perpindahan panas dari target ke dinding kapsul. Tekanan yang timbul di dalam kapsul kuarsa lebih banyak ditimbulkan oleh gas helium dibandingkan dengan tekanan tersebut akan timbul tegangan termal pada dinding kuarsa dalam arah tangensial dan arah aksial.

Tarikan Tangensial (f_t)



Besarnya tarikan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$f_t = \frac{p \cdot d}{2 t} \quad (5)$$

dengan :

f_t = tarikan tangensial (pa)
p = tekanan dalam (pa)
d = diameter dalam kuarsa (m)
t = tebal kuarsa (m)

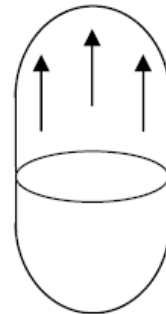
Tekanan internal pada kapsul kuarsa dapat dihitung dengan mengasumsikan gas He sebagai gas ideal sehingga berlaku persamaan :

$$P V = n R T \quad (6)$$

dengan :

P = tekanan gas ideal (pa)
V = volume gas (ltr)
N = jumlah mol gas He (mol)
R = tetapan gas ideal ($\approx 0,08205$ ltr . pa/mol $^{\circ}K$)
T = suhu gas ($^{\circ}K$)

Tarikan Aksial



Besarnya tarikan aksial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$F_a = F\tau/2$$

dengan : F_a = tarikan aksial (Pa)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Perpindahan Panas Pada Kapsul

Perhitungan suhu pada masing-masing target yang diiradiasi dilakukan dengan menggunakan program GENTC. Parameter penting yang menjadi input dalam perhitungan ini adalah :

1. Laju aliran pendingin yang melewati target di dalam *stringer*
2. Panas gamma pada target diperoleh dari hasil perhitungan dengan program GAMSET
3. Suhu inlet air pendingin yang melewati target diambil harga rata-rata dari harga terendah dan tertinggi yang diperkenankan pada operasi reaktor.

Untuk kecepatan fluida pendingin 3,1 m/detik dengan fluida pendingin berupa air pada suhu 49 $^{\circ}C$, dengan menggunakan persamaan 1,2 dan 3 akan diperoleh harga koefisien konveksi pendingin, $h_c = 8967,7$ Watt/ $m^2 \cdot ^{\circ}C$

Sedangkan data lain yang dipergunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

(dengan asumsi daya reaktor 15 MW dengan fluks neutron 1×10^{14} n/ $cm^2 \cdot detik$).

1. Dimensi kapsul : lihat Gambar 1
2. Suhu fluida pendingin : 49 $^{\circ}C$
3. Koefisien konveksi pendingin : 8967,7 Watt/ $m^2 \cdot ^{\circ}C$
4. Panas gamma Al : 3,91 w/gr
5. Panas gamma Kuarsa : 2,91 w/gr

6. Koefisien konduksi panas Al : 202,46 Watt/m².°C
7. Massa jenis Al : 2,70 gr/cm³
8. Koefisien konduksi panas K-Br : 0,121 Watt/m².°C
9. Massa jenis K-Br : 2,29 gr/cm³

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

1. Suhu pada pusat target (KBr) : 215,1314 °C
2. Suhu kuarsa (*Inner Capsule*) : 202,3055 °C
3. Suhu kuarsa (*Outer capsule*): 202,0971 °C
4. Suhu kapsul Al (*Inner Capsule*) : 52,0971 °C
5. Suhu kapsul Al (*Outer Capsule*) : 51,9175 °C

Dari hasil perhitungan suhu tersebut di atas terlihat bahwa integritas tabung kuarsa dan tabung Al masih terjaga pada suhu tersebut, karena kuarsa mempunyai titik leleh 1425 °C dan titik leleh Al ≈ 660 °C. sedangkan target

Kalium Bromida juga belum meleleh (titik leleh KBr ≈ 891 °C).

Perhitungan Aktivitas

Hasil perhitungan aktivitas yang timbul dari kegiatan iradiasi KBr dilakukan dengan menggunakan persamaan

$$A = F \frac{N_o \times \sigma \times \phi}{3,7 \times 10^{10}} (1 - e^{-0,693 \times t / T_{1/2}})$$

dengan:

- A = aktivitas (Ci)
- F = efisiensi (70%)
- N_o = jumlah atom sasaran Br-82 (atom)
- σ = tampang lintang (cm²)
- φ = fluks neutron di CIP (n / cm²detik)
- t = lama iradiasi (jam)
- T_{1/2} = waktu paruh (jam)

Berat target yang akan diiradiasi adalah 2 gram dengan lama iradiasi 4 hari pada daya 15 MW pada posisi CIP dengan fluks neutron 1 x 10¹⁴ n/(cm² detik). Sedangkan kapsul untuk tempat target terbuat dari bahan Al 1050. Dari hasil perhitungan dengan paket program Origin-2 dapat dilihat pada Tabel di bawah.

Tabel 1. Radioisotop Hasil Irradiasi Unsur Kalium di dalam target

Isotop Alam	Kelimpahan (%)	Radiisotop Hasil Irradiasi	Aktivitas Saat EOI (Ci)	Aktivitas Setelah 6 jam (Ci)	Aktivitas Setelah 12 jam (Ci)	Waktu Paruh
K-39	93,26	Tidak ada	61,50	24,00	9,37	4,42 jam
K-40	0,01	Tidak ada	263	0	0	17,7 menit
K-41	6,73	K-42	4,50	3,21	2,29	12,4 jam

Tabel 2. Radioisotop Hasil Irradiasi Br

Target KBr	Produk	Aktivitas Saat EOI (Ci)	Aktivitas Setelah 6 jam (Ci)	Aktivitas Setelah 12 jam (Ci)	Waktu Paruh
2 gram	Br-82	5,135 x 10 ¹	4,578 x 10 ¹	4,069 x 10 ¹	35,3 jam
	S-37	1,300 x 10 ⁻⁶	4,973 x 10 ⁻²⁸	0	5,05 menit
	Cl-38	7,954 x 10 ⁻⁸	9,745 x 10 ⁻¹¹	1,201 x 10 ⁻¹³	37,24 menit
	Ar-41	1,361 x 10 ⁻⁶	1,398 x 10 ⁻⁷	1,435 x 10 ⁻⁸	1,83 jam
	K-42	4,496	3,212	2,294	12,36 jam
	Ca-45	1,424 x 10 ⁻¹⁵	1,422 x 10 ⁻¹⁵	1,421 x 10 ⁻¹⁵	4,54 hari
	Sc-46	0	3,715 x 10 ⁻²⁵	3,715 x 10 ⁻²⁵	83,81 hari
	Se-81	7,624 x 10 ⁻⁴	1,898 x 10 ⁻⁶	2,436 x 10 ⁻⁸	18,45 menit
	Kr-81	3,514 x 10 ⁻⁹	3,514 x 10 ⁻⁹	3,514 x 10 ⁻⁹	76,31 menit
	Rb-86	6,315 x 10 ⁻¹⁷	6,317 x 10 ⁻¹⁷	6,317 x 10 ⁻¹⁷	18,66 hari
Sr-89	0	1,861 x 10 ⁻³⁴	1,861 x 10 ⁻³⁴	50,55 hari	

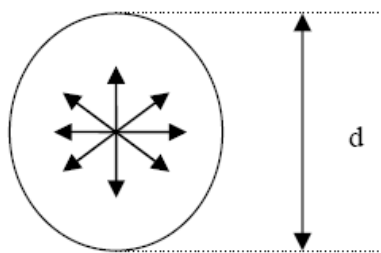
Tabel 3. Aktivitas Kapsul dari Aluminium Jenis Al 1050 yang Dipergunakan Setelah Iradiasi 4 Hari Pada Daya 15 MW

Bahan kapsul	Produk	Aktivitas Saat EOI (Ci)	Aktivitas Setelah 6 jam (Ci)	Aktivitas Setelah 12 jam (Ci)	Waktu Paruh
Al 1050	Al-28	$4,107 \times 10^3$	$6,624 \times 10^{-11}$	$4,450 \times 10^{-11}$	2,24 menit
	Mn-56	$5,857 \times 10^1$	$1,167 \times 10^1$	$4,638 \times 10^{-1}$	2,56 jam
	Cu-64	$1,184 \times 10^1$	$8,535 \times 10^0$	$4,434 \times 10^0$	12,7 jam

Radiisotop Al-28 terbentuk dengan aktivitas tinggi, namun segera meluruh dalam waktu singkat karena waktu paruhnya hanya 2,24 menit. Sehingga setelah 6 jam, radiisotop yang menyisa di dalam kapsul adalah Mn-56 dan Cu-64.

Perhitungan Tekanan Temal Akibat Kenaikan Tekanan Internal

Tarikan Tangensial (ft)



Besarnya tarikan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$f_t = \frac{p \cdot d}{2 t}$$

dengan :

- f_t = tarikan tangensial (pa)
- p = tekanan dalam (pa)
- d = diameter dalam kuarsa (m)
- t = tebal kuarsa (m)

Tekanan internal pada kapsul kuarsa dapat dihitung dengan mengasumsikan gas He sebagai gas ideal sehingga berlaku persamaan :

$$P V = n R T$$

dengan:

- P = tekanan gas ideal (pa)
- V = volume gas (ltr)
- n = jumlah mol gas He (mol)
- R = tetapan gas ideal ($\approx 0,08205$ ltr . pa/mol °K)
- T = suhu gas (°K)

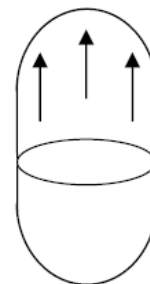
Pada kondisi STP (0 °C ; 1 pa), 1 mol suatu gas mempunyai volume 22,4 liter. Volume gas He (Volume Kuarsa) = 0,006633 liter

$$\text{Jadi jumlah mol gas He} = \frac{0,006633}{22,4} \times 1 \text{ mol} = 0,0003 \text{ mol}$$

Dengan menggunakan persamaan (6) pada suhu 215 °C, besar tekanan di dalam kapsul kuarsa sebesar 1,81 pa.

Dengan masukan data tersebut di atas maka dengan menggunakan persamaan (5) diperoleh harga tarikan tangensial (f_t) = 12,04 pa
Harga allowable untuk kuarsa = 69,948 pa
Harga $f_t <$ allowable

Tarikan Aksial



Besarnya tarikan aksial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$f_a = f_t/2$$

dengan :

f_a = Tarikan tangensial ($\sim 12,04$ Pa)

Dengan menggunakan persamaan (3)

$f_a = 6,02$ PA

KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Suhu pada pusat target maupun suhu pada kapsul lebih kecil dari titik lelehnya sehingga integritas target dan kapsul masih terjaga.
2. Hasil iradiasi Bromida selama 4 hari pada daya 15 MW adalah 47,432 Ci dan setelah mengalami peluruhan selama 6 jam akan diperoleh aktivitas Br-82 sebesar $4,578 \times 10^1$ Ci.
3. Thermal stress yang terjadi pada kapsul kuarsa sangat kecil dibandingkan dengan thermal stres dari bahan sehingga kapsul kuarsa aman dipergunakan untuk iradiasi K-Br.

DAFTAR PUSTAKA

1. RIDWAN dkk, 1978, "Pengantar Teknik Nuklir", BATAN, Jakarta.
2. HALL C. ROLLAND, 1967, "GENGTC, A ONE-DIMENSIONAL CEIR COMPUTER PROGRAM FOR CAPSULE TEMPERATURE CALCULATIONS IN CYLINDRICAL GEOMETRY", December.
3. WALKER FW, et.al. 1989, 'Nuclides and Isotopes, 14^{ed}', General Electric Company, USA.