



ANALISIS IRADIASI TARGET TULIUM DI REAKTOR SERBA GUNA -GA SIWABESSY

Sutrisno

Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN, PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, 15310
E-mail: soe-tris@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS IRADIASI TARGET TULIUM DI REAKTOR SERBA GUNA (RSG)-G.A SIWABESSY. Radioisotop Tulium merupakan salah satu radioisotop yang dipergunakan di bidang kesehatan. Untuk menghasilkan radioisotop tersebut dapat dilakukan dengan cara mengiradiasi target Tm_2O_3 di teras reaktor khususnya di RSG G.A Siwabessy. Untuk kepentingan pengguna dan keselamatan operasi dilakukan beberapa perhitungan antara lain perpindahan panas dari target ke lingkungan, besarnya aktivitas target yang dihasilkan dan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal. Perhitungan perpindahan panas menggunakan paket program GENGTC, untuk besarnya aktivitas target menggunakan paket program Origen-2 dan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal dilakukan secara manual. Dari hasil perhitungan untuk iradiasi target Tulium dengan berat 0,1 gram, waktu iradiasi 5 hari pada daya 15 MW dengan fluks neutron 1×10^{14} n/(cm².detik) dan waktu peluruhan 1 hari diperoleh aktivitas $Tm-170 = 2,163$ Ci, besarnya suhu di pusat target adalah $631,4523$ °C sedang tarikan tangensial (f_t)= $29,7$ Pa dan tarikan aksial (f_a)= $14,85$ Pa).

Kata kunci : Iradiasi, Tulium

ABSTRACT

IRRADIATION TARGET ANALYSIS OF TULIUM IN RSG-GA SIWABESSY. Radioisotope Tulium is one of the radioisotopes used as a health sector. It is produced by irradiating of Tm_2O_3 target especially in RSG- GAS. Both activity and heat transfer calculation of the target and calculation of thermal pressure 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 0.1 gram Tulium ($Tm-170$) after 5 days irradiated, at power 15 MW, neutron flux 1×10^{14} n/(cm².second) and after decay 1 day was 2,163 Ci, while the temperature in the center of the target was $631,4523$ °C, $f_t=29,7$ Pa and $f_a= 14,85$ Pa.

Key words : Irradiation, Tulium

PENDAHULUAN

Radioisotop Tulium-170 ($Tm-170$)¹) merupakan radioisotop pemancar- β dan gamma (γ) dengan umur paro 128,6 hari. Radioisotop $Tm-170$ dapat diperoleh dari hasil iradiasi Tulium oksida (Tm_2O_3) di teras reaktor melalui reaksi inti $^{169}Tm(n,\gamma)^{170}Tm$. Tulium oksida mempunyai bentuk fisik berupa serbuk (powder) dengan massa jenis 9,32 gr/mL, titik leleh 1545 °C, dengan kelimpahan isotop $Tm-169$ di alam sebanyak 31,59

% dan tampang lintang 69 barn. Radioisotop $Tm-170$ digunakan di bidang kesehatan.

Untuk mengiradiasi target, Tm_2O_3 dimasukkan ke dalam kapsul yang terbuat dari kuarsa dan dimasukkan ke dalam kapsul yang terbuat dari aluminium. Setelah 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 dilakukan iradiasi target di *Centre Irradiation Position* (CIP) teras RSG-GAS pada daya 15 MW dengan fluks neutron 1×10^{14} n/cm²detik selama 5 hari. Jika terjadi kejadian yang tidak diinginkan dengan jatuhnya kapsul tersebut hingga pecahnya kapsul quartz, maka masih dalam keadaan aman karena kapsul quartz dibungkus dengan kapsul Aluminium.

Untuk kepentingan pengguna dan keselamatan operasi²⁾, adanya iradiasi target Tulium di RSG-GAS, perlu dilakukan perhitungan diantaranya adalah perpindahan panas target ke pendingin primer kolam reaktor, besarnya aktivitas target yang dihasilkan dan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal. Perhitungan besarnya aktivitas dari target Tm₂O₃ dilakukan dengan menggunakan paket program Origen-2, untuk perhitungan perpindahan panas menggunakan program GENGTC sedangkan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal dilakukan secara manual.

TEORI

Perhitungan perpindahan panas

Panas gamma yang terbangkit pada target dan kapsul perlu dibuang ke sistem pendingin reaktor, supaya tidak mengakibatkan integritas target. Target dimasukkan ke dalam kapsul berlapis dengan susunan paling dalam adalah berisi target yang dimasukkan ke dalam kapsul quartz dengan ukuran diameter dalam 8 mm, diameter luar 10 mm dan tinggi 80 mm, lapisan berikutnya kapsul Aluminium ukuran diameter dalam 20 mm, diameter luar 23 mm dan tinggi 200 mm, dimana antara kapsul quartz dan kapsul Aluminium diisi dengan gas He, kemudian lapisan luar adalah Tabung Aluminium dengan ukuran diameter dalam 26 mm, diameter luar 29 mm dan tinggi 470 mm secara aksial terlihat seperti pada 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*)³⁾. 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 dari material, dimensi kapsul, suhu pendingin serta koefisien konveksi pendingin.

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

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

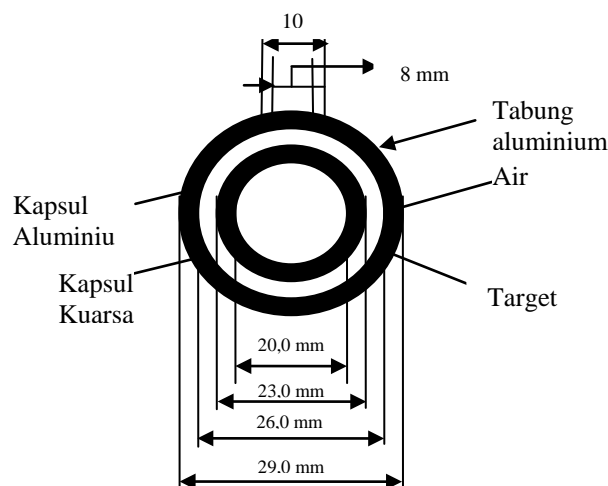
dengan :

h_c = koefisien konduksi panas fluida (W/m.².°C)

D_e = diameter ekuivalen (m)

k = konduktivitas panas dari fluida (W/m².°C)

N_u = bilangan *Nusselt*



Gambar 1. Susunan target dan kapsul

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

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

dengan :

Pr : bilangan Prandtl

Re : bilangan Reynold

Besarnya bilangan Reynold dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

dengan :

v : kecepatan fluida pendingin (m/det)

D_e : diameter ekivalen (m)

μ : kekentalan fluida (m²/det)

Perhitungan aktivitas

Besarnya aktivitas dari target dapat dihitung dengan menggunakan paket program Origen-2⁴⁾. Secara garis besar perhitungan aktivitas tersebut menggunakan rumus:

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

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/cm².detik)

t : waktu iradiasi (detik)

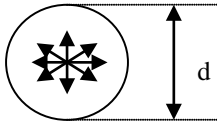


Perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal.

Kapsul kuarsa selain berisi target Tm_2O_3 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, oleh karena itu tekanan tersebut akan menimbulkan tegangan termal pada dinding kuarsa dalam arah tangensial dan arah aksial.

Tarikan Tangensial (ft)

Besarnya tarikan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :



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

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 (litr)

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 :



$$f_a = f_t / 2 \quad (7)$$

dimana : f_a = tarikan aksial (Pa)

TATA KERJA

Analisis ini dimulai dengan studi literatur tentang target Tulium dan Fasilitas Iradiasi CIP yang dimiliki RSG-GAS, kemudian

dilanjutkan dengan penyiapan data *input* untuk beberapa perhitungan baik yang dilakukan menggunakan paket program komputer maupun perhitungan secara manual.

Setelah data input tersedia dilakukan perhitungan menggunakan paket program GENTC untuk menghitung perpindahan panas, paket program Origen-2 untuk menghitung besarnya aktivitas, serta perhitungan secara manual untuk menentukan tegangan thermal akibat kenaikan tekanan internal.

Hasil perhitungan beberapa parameter tersebut di depan digunakan untuk menganalisis apakah iradiasi target Tulium di RSG-GAS dapat dilaksanakan dengan aman, baik bagi target, fasilitas reaktor maupun lingkungan.

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 :

- Laju aliran pendingin yang melewati target di dalam stringer
- Panas gamma pada target diperoleh dari hasil perhitungan dengan program GAMSET
- 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, $h_c = 521,2$ Watt/m 2 . $^{\circ}C$

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 . detik).

- Dimensi kapsul : lihat Gambar 1
- Suhu fluida pendingin : 49 $^{\circ}C$
- Koefisien konveksi pendingin : 521,2 Watt/m 2 . $^{\circ}C$
- Panas gamma Al : 3,91 w/gr
- Panas gamma Kuarsa : 2,91 w/gr
- Koefisien konduksi panas Al : 202,46 Watt/m 2 . $^{\circ}C$
- Massa jenis Al : 2,70 gr/cm 3
- Koefisien konduksi panas Tm_2O_3 : 16,9 Watt/m. $^{\circ}C$
- Massa jenis Tm_2O_3 : 9,32 gr/cm 3

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

**PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 27 Juli 2011**



- Suhu pada pusat target (Tm_2O_3): 631,4523 °C
- Suhu kuarsa (*Inner Capsule*) : 588,2400 °C
- Suhu kuarsa (*Outer capsule*) : 49,3510 °C
- Suhu kapsul Al (*Inner Capsule*): 49,0131 °C
- Suhu kapsul Al (*Outer Capsule*): 48,8889 °C

Dari hasil perhitungan suhu terlihat bahwa integritas tabung kuarsa dan tabung Al masih terjaga pada suhu tersebut, karena kuarsa mempunyai titik leleh 1425 °C dan titik leleh Al \approx 660 °C. sedangkan target Tm_2O_3 juga belum meleleh (titik leleh $Tm_2O_3 \approx$ 1545 °C).

Perhitungan Aktivitas

Perhitungan aktivitas target yang diiradiasi dilakukan dengan menggunakan program

ORIGEN-2. Parameter penting yang menjadi *input* dalam perhitungan ini adalah :

- Waktu iradiasi
- Fluks neutron thermal atau daya nominal
- Massa target

Berat target yang akan diiradiasi adalah 100 mgram dengan lama iradiasi 5 hari pada daya 15 MW pada posisi CIP dengan fluks neutron 1×10^{14} n/(cm² detik). Kapsul untuk tempat target terbuat dari bahan Al 1050. Dari hasil perhitungan dengan paket program Origen-2 dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Aktivitas kapsul Aluminium jenis Al 1050 yang dipergunakan setelah iradiasi 5 hari pada daya 15 MW adalah seperti pada Tabel 3.

Tabel 1. Radioisotop Hasil Iradiasi Unsur Tulium (Tm) di dalam target

Isotop Alam	Kelimpahan	Radioisotop Hasil Irradiasi	Aktivitas saat EOI (Ci)	Aktivitas Setelah 1 hari (Ci)	Aktivitas setelah 40 hari (Ci)	Aktivitas setelah 80 hari (Ci)	Aktivitas setelah 120 hari (Ci)	Aktivitas setelah 150 hari (Ci)	Waktu paro
Tm-169	100 %	Tm-170	1,40x10 ⁰	1,39x10 ⁰	1,13x10 ⁰	9,11x10 ⁻⁰¹	7,34x10 ⁻⁰¹	6,24x10 ⁻⁰¹	128,6 hari

Tabel 2. Aktivitas Target Tm_2O_3 100 mgram setelah diiradiasi 5 hari

Target Tm_2O_3	Produk	Aktivitas saat EOI (Ci)	Aktivitas setelah 1 hari (Ci)	Aktivitas setelah 40 hari (Ci)	Aktivitas setelah 80 hari (Ci)	Aktivitas setelah 120 hari (Ci)	Aktivitas setelah 150 hari (Ci)	Waktu paro
100 mg	Dy-165	6.740 x 10 ⁻²²	5.679 X 10 ⁻²⁵	0	0	0	0	2.334 jam
	Ho-166	1.218 x 10 ⁻⁰⁹	6.550 X 10 ⁻⁰⁷	2.007 x 10 ⁻¹⁷	3.307 X 10 ⁻²⁸	0	0	26.83 jam
	Er-167m	1.349 x 10 ⁻¹⁰	0	0	0	0	0	2.269 detik
	Er-169	2.235 x 10 ⁻¹⁷	2.070 X 10 ⁻¹⁷	1.760 X 10 ⁻¹⁸	5.833 X 10 ⁻¹⁹	7.450 X 10 ⁻¹⁹	9.198 X 10 ⁻¹⁹	9.40 hari
	Er-171	1.035 X 10 ⁻⁰⁷	1.132 X 10 ⁻⁰⁸	0	0	0	0	7.516 jam
	Er-172	5.324 X 10 ⁻¹²	3.791 X 10 ⁻¹²	6.737 X 10 ⁻¹⁸	8.526 X 10 ⁻²⁴	1.079 X 10 ⁻²⁹	4.071 X 10 ⁻³⁴	49.3 jam
	Tm-170	2.175 X 10 ⁺⁰⁰	2.163 X 10 ⁺⁰⁰	1.753 X 10 ⁺⁰⁰	1.413 X 10 ⁺⁰⁰	1.139 X 10 ⁺⁰⁰	9.689 X 10 ⁻⁰¹	128.6 hari
	Tm-170m	5.562 X 10 ⁺⁰⁰	0	0	0	0	0	4,12x10 ⁻⁶ detik
	Tm-171	2.600 X 10 ⁻⁰⁴	2.597 X 10 ⁻⁰⁴	2.499 X 10 ⁻⁰⁴	2.402 X 10 ⁻⁰⁴	2.309 X 10 ⁻⁰⁴	2.242 X 10 ⁻⁰⁴	1.92 tahun
	Tm-172	4.092 X 10 ⁻⁰⁶	3.150 X 10 ⁻⁰⁶	1.170 X 10 ⁻¹⁰	3.344 X 10 ⁻¹⁵	9.558 X 10 ⁻²⁰	3.737 X 10 ⁻²³	63.6 jam
Tm-175m	4.681 X 10 ⁻¹⁹	0	0	0	0	0	68,2x10 ⁻³ detik	



**PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 27 Juli 2011**

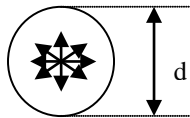
Tabel 3. Aktivitas kapsul Aluminium setelah iradiasi 5 hari

Bahan kapsul	Produk	Aktivitas Saat EOI (Ci)	Aktivitas Setelah 6 jam (Ci)	Aktivitas Setelah 12 jam (Ci)	Waktu Paruh
Al 1050	Al-28	$4,107 \times 10^3$	$1,754 \times 10^{-45}$	$7,489 \times 10^{-94}$	2,24 menit
	Mn-56	$5,857 \times 10^1$	$1,154 \times 10^1$	$2,275 \times 10^{-1}$	2,56 jam
	Cu-64	$1,184 \times 10^1$	$8,535 \times 10^0$	$6,151 \times 10^0$	12,7 jam

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

Perhitungan tekanan termal akibat kenaikan tekanan internal

Tarikan Tangensial (ft)



Besarnya tarikan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

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 0K)
- T = suhu gas (0K)

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

Volume gas He (Volume Kuarsa) = 0,006633 liter

Jadi jumlah mol gas

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

Dengan menggunakan persamaan (6) pada suhu 588,24 °C, besar tekanan di dalam kapsul kuarsa sebesar 4,57 Pa.

Dengan masukan data tersebut di atas maka dengan menggunakan persamaan (5) diperoleh harga tarikan tangensial (f_t) = 29,7 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 aksial (Pa)
- f_t = tarikan tangensial (=29,7 Pa)

dengan menggunakan persamaan (3) : $f_a = 14,85$ 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 Tulium selama 5 hari pada daya 15 MW adalah 2,175 Ci dan setelah mengalami peluruhan selama 24 jam akan diperoleh aktivitas Tm-170 sebesar 2,163 Ci.
3. *Thermal stress* yang terjadi pada kapsul kuarsa 29,7 Pa lebih kecil dari $f_{allowable}$, sehingga kapsul kuarsa aman dipergunakan untuk iradiasi Tm₂O₃.
4. Target Tulium dapat diiradiasi di Fasilitas iradiasi CIP RSG-GAS dengan aman sesuai persyaratan yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. WALKER FW, et.al. Nuclides and Isotopes, 14^{ed}, General Electric Company, USA, 1989
2. SUTRISNO DKK, "Analisis Target Tungsten di Reaktor Serba Guna GA Siwabessy", Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir, PRSG Serpong 20 Agustus 2009.



3. HALL C ROLLAND, “*Gengtc, a one-dimensional ceir computer program for capsule temperature calculations in cylindrical geometry*”, December 1967
4. PROGRAM ORIGIN-2 , *Oak Ridge National Laboratory, USA.*
5. en.wikipedia.org/wiki/quartz.

TANYA JAWAB

Prayitno

- Dalam kesimpulan No.3 sebaiknya kalimat sangat kecil diganti dengan persyaratan yang sesuai dalam pembahasan.

Sutrisno

- ✧ *Terimakasih atas sarannya, akan ditindaklanjuti.*

Eko Priyono

- Analisis dilakukan sebelum target di iradiasi atau sesudah di iradiasi ?
- Untuk analisa tarikan tangensial dilakukan pada bahan target (tulium) atau pada wadah target ?
- Apakah untuk setiap target iradiasi perlu dilakukan analisa terlebih dahulu untuk memenuhi LAK ?

Sutrisno

- ✧ *Analisis dilakukan sebelum iradiasi, yang digunakan untuk persiapan pembuatan Laporan Analisis Kecelakaan (LAK)*
- ✧ *Analisis tarikan tangensial dilakukan pada wadah target (Quartz), apakah $f_t < f_{allowable}$*
- ✧ *Benar, setiap target yang baru harus dilakukan analisis untuk keselamatan reaktor.*