

## ANALISIS PERHITUNGAN IRADIASI TARGET PRASEODIMIUM DI REAKTOR SERBA GUNA -GA SIWABESSY

SUTRISNO, SARWANI, ARIYAWAN SUNARDI DAN SUNARKO

*Pusat Reaktor Serba Guna*

### *Abstrak*

**ANALISIS PERHITUNGAN IRADIASI TARGET PRASEODIMIUM DI REAKTOR SERBA GUNA (RSG)-G.A SIWABESSY.** Radioisotop praseodimium merupakan salah satu radioisotop yang dipergunakan di bidang kesehatan. Untuk menghasilkan radioisotop tersebut dapat dilakukan dengan cara mengiradiasi target  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  di teras reaktor 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 dengan manual. Dari hasil perhitungan untuk iradiasi target praseodimium dengan berat 10 mgram, waktu iradiasi 5 hari pada daya 15 MW dengan fluks neutron  $1 \times 10^{14}$  n/(cm<sup>2</sup>.detik) dan waktu peluruhan 1 jam diperoleh aktivitas Pr -142= 0,3318 Ci, besarnya suhu di pusat target adalah 657,98 °C sedang tarikan tangensial ( $f_t$ )=33,22 Pa dan tarikan aksial ( $f_a$ )=16,61 Pa).

*Kata kunci : iradiasi, praseodimium*

### *Abstract*

**IRRADIATION TARGET CALCULATION ANALYSIS OF PRASEODYMIUM IN RSG-GA SIWABESSY.** Radioisotope praseodymium is one of the radioisotopes used in health sector. It is produced by irradiating of  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  target in the reactor core of 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 safety operation. The target activity and heat transfer were calculated by Origen-2 and GENTC respectively. The activity of 10 mgram praseodymium (Pr -142) after 5 days irradiated, at power 15 MW, neutron flux  $1 \times 10^{14}$  n/(cm<sup>2</sup>.second) and after decay 1 hour was 0,3318 Ci, while temperature in the center of the target was 657,98 °C,  $f_t$ =33,22 Pa and  $f_a$ = 16,61 Pa.

*Keywords: irradiation, praseodymium*

### **PENDAHULUAN**

Radioisotop praseodimium-142 (Pr-142)<sup>1)</sup> merupakan radioisotop pemancar- $\beta$  dengan umur paro 19,2 jam. Radioisotop Pr-142 dapat diperoleh dari hasil iradiasi praseodimium oksida ( $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ) di teras reaktor melalui reaksi inti  $^{141}\text{Pr}(n,\gamma)^{142}\text{Pr}$ . praseodimium oksida mempunyai bentuk fisik berupa serbuk (halus) dengan massa jenis sebesar 6,8 gr/mL, kelimpahan isotop Pr-141 di alam sebanyak 100% dan tampang lintang sebesar 3,3 barn.

Radioisotop Pr-142 digunakan di bidang kesehatan.

Untuk mengiradiasi target  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  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 CIP teras RSG-GAS pada daya 15 MW dengan fluks neutron  $1 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>detik 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 operasi<sup>2)</sup>, adanya iradiasi target praseodimium di RSG-GAS perlu dilakukan perhitungan 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 Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dilakukan dengan menggunakan paket program Origen-2, untuk perhitungan perpindahan panas menggunakan program GENGTC sedangkan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal dengan manual.

## METODE PENELITIAN

### Perhitungan Perpindahan Panas

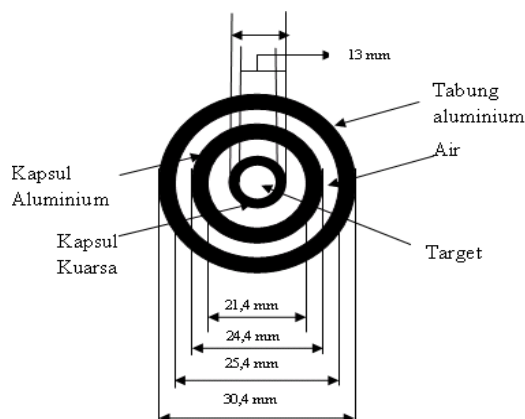
Panas gamma yang terbangkit pada target dan kapsul perlu dibuang ke sistem pendingin reaktor, supaya tidak mengakibatkan integritas target. Target dimasukkan ke dalam kapsul berlapis dengan susunan paling dalam adalah berisi target yang dimasukkan ke dalam kapsul Quartz dengan ukuran diameter dalam 13 mm, diameter luar 15 mm dan tinggi 50 mm lapisan berikutnya kapsul Aluminium ukuran diameter dalam 21,4 mm, diameter luar 24,4 mm dan tinggi 200 mm di mana antara kapsul quartz dan kapsul Aluminium diisi dengan gas He, kemudian lapisan luar adalah Tabung Aluminium dengan ukuran diameter dalam 25,4 mm, diameter luar 30,4 mm dan tinggi 500 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*)<sup>3)</sup>. 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 :

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

dengan  $h_c$  = koefisien konduksi panas fluida (W/m.<sup>2</sup>.°C);  $D_e$  = diameter ekuivalen (m);  $k$  = konduktivitas panas dari fluida (W/m<sup>2</sup>.°C);  $N_u$  = bilangan Nusselt.



Gambar 1. Susunan target dan kapsul

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

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

dengan  $Pr$  : bilangan Prandtl;  $Re$ : bilangan Reynold.

Besarnya bilangan Reynold dapat dihitung dengan persamaan :

$$Re = vDe/\mu \quad (3)$$

dengan  $v$  : kecepatan fluida pendingin (m/det);  $De$  : diameter ekuivalen (m);  $\mu$  : kekentalan fluida (m<sup>2</sup>/det).

### Perhitungan Aktivitas

Besarnya aktivitas dari target dapat dihitung dengan menggunakan paket program Origen-2<sup>4)</sup>. Secara garis besar perhitungan aktivitas tersebut menggunakan rumus

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

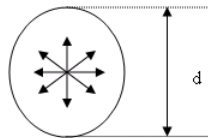
dengan  $A$  : Aktivitas (cps);  $No$  : nomor atom dari target (jumlah atom/gram);  $m$  : massa dari target (gram);  $\sigma_1$  : tampang lintang target (barn);  $\sigma_2$  : tampang lintang produk (barn);  $\lambda_1$  : 0,693 /

umur paro (per detik);  $\phi$ : fluks neutron ( $\text{n/cm}^2 \cdot \text{detik}$ );  $t$ : waktu iradiasi (detik).

### Perhitungan Tegangan Termal Akibat Kenaikan Tekanan Internal

Kapsul kuarsa selain berisi target  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  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 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 :

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

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)

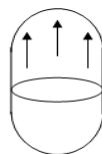
$V$  = volume gas (ltr)

$n$  = jumlah mol gas He (mol)

$R$  = tetapan gas ideal ( $\approx 0,08205 \text{ ltr} \cdot \text{pa/mol} \cdot \text{K}$ )

$T$  = suhu gas ( $^\circ\text{K}$ )

#### Tarikan Aksial



Besarnya tarikan aksial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

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

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 (diambil dari kecepatan fluida pada celah bahan bakar) 3,1 m/detik dengan fluida pendingin berupa air pada suhu  $49 \text{ }^\circ\text{C}$ , dengan menggunakan persamaan 1, 2 dan 3 akan diperoleh harga koefisien konveksi pendingin,  $h_c = 630,2 \text{ watt/m}^2 \cdot \text{C}$ . Sedangkan data lain yang dipergunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut (dengan asumsi daya reaktor 15 MW dengan fluks neutron  $1 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{detik}$ ) :

- a. Dimensi kapsul : lihat Gambar 1
- b. Suhu fluida pendingin :  $49 \text{ }^\circ\text{C}$
- c. Koefisien konveksi pendingin :  $630,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$
- d. Panas gamma Al :  $3,91 \text{ w/gr}$
- e. Panas gamma Kuarsa :  $2,91 \text{ w/gr}$
- f. Koefisien konduksi panas Al :  $202,46 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$
- g. Massa jenis Al :  $2,70 \text{ gr/cm}^3$
- h. Koefisien konduksi panas  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  :  $12,5 \text{ W/m} \cdot \text{C}$
- i. Massa jenis  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  :  $6,77 \text{ gr/cm}^3$

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

- a. Suhu pada pusat target ( $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ) :  $657,98 \text{ }^\circ\text{C}$
- b. Suhu kuarsa (*inner capsule*) :  $637,45 \text{ }^\circ\text{C}$
- c. Suhu kuarsa (*outer capsule*) :  $593,8 \text{ }^\circ\text{C}$
- d. Suhu kapsul Al (*inner capsule*) :  $49,3 \text{ }^\circ\text{C}$
- e. Suhu kapsul Al (*outer capsule*) :  $48,9 \text{ }^\circ\text{C}$

Dari hasil perhitungan suhu tersebut di atas terlihat bahwa integritas tabung kuarsa dan tabung Al masih terjaga pada suhu tersebut, karena kuarsa<sup>5)</sup> mempunyai titik leleh  $1425 \text{ }^\circ\text{C}$

dan titik leleh Al  $\approx 660$  °C, sedangkan target praseodimium juga belum meleleh (titik leleh Pr-142  $\approx 935$  °C).

**Perhitungan Aktivitas**

Hasil perhitungan aktivitas yang timbul dari kegiatan iradiasi Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dilakukan dengan menggunakan persamaan

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

dengan

- A = aktivitas (Ci)
- F = efisiensi (70%)
- N<sub>o</sub> = jumlah atom sasaran Pr -141 (atom)
- σ = tampang lintang (cm<sup>2</sup>)
- φ = fluks neutron di CIP (n / cm<sup>2</sup>detik)
- t = lama iradiasi (jam)
- T<sub>1/2</sub> = waktu paruh (jam)

Tabel 1. Radioisotop Hasil Iradiasi Unsur Praseodimium (Pr-141 ) di dalam target

Isotop Alam	Kelimpahan	Radioisotop Hasil Irradiasi	Aktivitas saat EOI (Ci)	Aktivitas setelah 1 jam (Ci)	Aktivitas setelah 2 jam (Ci)	Aktivitas setelah 4 jam (Ci)	Aktivitas setelah 8 jam (Ci)	Aktivitas setelah 18 jam (Ci)	Waktu paroh
Pr-141	100 %	Pr-142	1,93 x 10 <sup>-1</sup>	1,86 x 10 <sup>-1</sup>	1,80 x 10 <sup>-1</sup>	1,67 x 10 <sup>-1</sup>	1,45 x 10 <sup>-1</sup>	1,01 x 10 <sup>-1</sup>	19,2 jam
		Pr-142m	1,96 x 10 <sup>-1</sup>	1,13 x 10 <sup>-2</sup>	6,58 x 10 <sup>-4</sup>	2,21 x 10 <sup>-6</sup>	2,49 x 10 <sup>-11</sup>	1,07 x 10 <sup>-23</sup>	14,6 menit

Tabel 2. Aktivitas Target Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Setelah Iradiasi 5 Hari

Target Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Produk	Aktivitas saat EOI (Ci)	Aktivitas setelah 1 jam (Ci)	Aktivitas setelah 2 jam (Ci)	Aktivitas setelah 4 jam (Ci)	Aktivitas setelah 8 jam (Ci)	Aktivitas setelah 18 jam (Ci)	Waktu paroh
10 mg	Ba-139	7,405 x 10 <sup>-23</sup>	7,405 x 10 <sup>-23</sup>	7,405 x 10 <sup>-23</sup>	7,405 x 10 <sup>-23</sup>	7,405 x 10 <sup>-23</sup>	7,405 x 10 <sup>-23</sup>	83,06 menit
	La-138	7,904 x 10 <sup>-17</sup>	7,904 x 10 <sup>-17</sup>	7,904 x 10 <sup>-17</sup>	7,904 x 10 <sup>-17</sup>	7,904 x 10 <sup>-17</sup>	7,904 x 10 <sup>-17</sup>	1,05 x 10 <sup>11</sup> tahun
	La-140	2,865 x 10 <sup>-11</sup>	2,816 x 10 <sup>-11</sup>	2,768 x 10 <sup>-11</sup>	2,674 x 10 <sup>-11</sup>	2,496 x 10 <sup>-11</sup>	2,101 x 10 <sup>-11</sup>	1,6781 hari
	La-141	2,337 x 10 <sup>-15</sup>	1,925 x 10 <sup>-15</sup>	1,585 x 10 <sup>-15</sup>	1,125 x 10 <sup>-15</sup>	6,112 x 10 <sup>-16</sup>	8,451 x 10 <sup>-17</sup>	3,92 jam
	Ce-139m	1,123 x 10 <sup>-24</sup>	0	0	0	0	0	54,8 detik
	Ce-141	1,165 x 10 <sup>-5</sup>	1,164 x 10 <sup>-5</sup>	1,163 x 10 <sup>-5</sup>	1,161 x 10 <sup>-5</sup>	1,157 x 10 <sup>-5</sup>	1,146 x 10 <sup>-5</sup>	32,501 hari
	Ce-142	1,004 x 10 <sup>-21</sup>	1,004 x 10 <sup>-21</sup>	1,004 x 10 <sup>-21</sup>	1,004 x 10 <sup>-21</sup>	1,004 x 10 <sup>-21</sup>	1,004 x 10 <sup>-21</sup>	> 5 x 10 <sup>16</sup> tahun
	Ce-143	4,225 x 10 <sup>-14</sup>	4,136 x 10 <sup>-14</sup>	4,049 x 10 <sup>-14</sup>	3,883 x 10 <sup>-14</sup>	3,570 x 10 <sup>-14</sup>	2,893 x 10 <sup>-14</sup>	33,039 jam
	Pr-142	3,432 x 10 <sup>-1</sup>	3,318 x 10 <sup>-1</sup>	3,201 x 10 <sup>-1</sup>	2,977 x 10 <sup>-1</sup>	2,575 x 10 <sup>-1</sup>	1,793 x 10 <sup>-1</sup>	19,2 jam
	Pr-142m	6,982 x 10 <sup>-2</sup>	4,045 x 10 <sup>-3</sup>	2,343 x 10 <sup>-4</sup>	7,864 x 10 <sup>-7</sup>	8,856 x 10 <sup>-12</sup>	3,768 x 10 <sup>-24</sup>	14,6 menit
	Pr-143	5,865 x 10 <sup>-6</sup>	5,853 x 10 <sup>-6</sup>	5,840 x 10 <sup>-6</sup>	5,816 x 10 <sup>-6</sup>	5,766 x 10 <sup>-6</sup>	5,645 x 10 <sup>-6</sup>	13,57 hari
	Pr-144	1,944 x 10 <sup>-8</sup>	1,752 x 10 <sup>-9</sup>	1,580 x 10 <sup>-10</sup>	1,284 x 10 <sup>-12</sup>	8,482 x 10 <sup>-17</sup>	3,007 x 10 <sup>-27</sup>	17,28 menit
	Pr-145	6,019 x 10 <sup>-21</sup>	6,019 x 10 <sup>-21</sup>	6,019 x 10 <sup>-21</sup>	6,019 x 10 <sup>-21</sup>	6,019 x 10 <sup>-21</sup>	6,019 x 10 <sup>-21</sup>	5,984 jam
	Nd-144	7,493 x 10 <sup>-26</sup>	7,520 x 10 <sup>-26</sup>	7,523 x 10 <sup>-26</sup>	7,523 x 10 <sup>-26</sup>	7,523 x 10 <sup>-26</sup>	7,523 x 10 <sup>-26</sup>	2,29 x 10 <sup>15</sup> tahun

Berat target yang akan diiradiasi adalah 10 mgram dengan lama iradiasi 5 hari pada daya 15 MW pada posisi CIP dengan fluks neutron  $1 \times 10^{14}$  n/(cm<sup>2</sup> detik). Kapsul untuk tempat target terbuat dari bahan Al 1050. Dari hasil perhitungan dengan paket program Origen-2 dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah. Dari Tabel 2 target Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan berat 10 mgram setelah diiradiasi 5 hari terlihat bahwa produk radioisotop yang dihasilkan cukup banyak yaitu Ba-139 hingga Pr-145.

Akan tetapi produk radioisotop yang diinginkan adalah Pr-142 yang setelah diiradiasi selama 5 hari aktivitasnya 0,3432 Ci setelah meluruh 1 jam menjadi 0,3318 Ci.

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

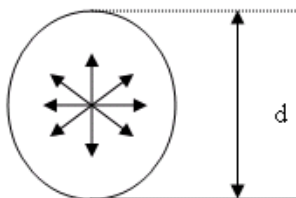
Tabel 3. Aktivitas kapsul Aluminium setelah iradiasi 5 hari

Bahan kapsul	Produk	Aktivitas Saat EOI (Ci)	Aktivitas Setelah 6 jam (Ci)	Aktivitas Setelah 12 jam (Ci)	Waktu Paruh
Al 1050	Al-28	$4,107 \times 10^3$	$6,624 \times 10^{-11}$	$4,450 \times 10^{-11}$	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

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 temal akibat kenaikan tekanan internal**

**Tarikan Tangensial (ft)**



Besarnya tarikan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

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

$$P V = n R T$$

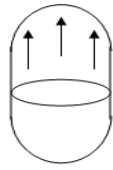
dengan  $P$  = tekanan gas ideal (pa);  $V$  = volume gas (l);  $n$  = jumlah mol gas He (mol);  $R$  = tetapan gas ideal ( $\approx 0,08205$  l . pa/mol °K);  $T$  = suhu gas (°K). Pada kondisi STP (0 °C ; 1 pa), 1 mol suatu gas mempunyai volume 22,4 liter. Volume gas He (Volume Kuarsa) = 0,006633 liter.

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

Dengan menggunakan persamaan (6) pada suhu 657,98 °C, besar tekanan di dalam kapsul kuarsa sebesar 5,11 Pa. Dengan masukan data tersebut di atas maka dengan menggunakan persamaan (5) diperoleh harga tarikan tangensial ( $f_t$ ) = 33,22 Pa

Harga  $f_{\text{allowable}}$  untuk kuarsa = 69,948 Pa Harga  $f_t < f_{\text{allowable}}$ .

### 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 (33,22 Pa)

dengan menggunakan persamaan (3) :

$$f_a = 16,61$$

### 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 praseodimium selama 5 hari pada daya 15 MW adalah 0,3432 Ci dan setelah mengalami peluruhan selama 1 jam akan diperoleh aktivitas Pr -142 sebesar 0,3318 Ci.
3. Termal stress yang terjadi pada kapsul kuarsa sangat kecil sehingga kapsul kuarsa aman dipergunakan untuk iradiasi Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### DAFTAR PUSTAKA

1. WALKER FW, ET.AL. Nuclides and Isotopes, 14<sup>ed</sup>, General Electric Company, USA, 1989
2. SUTRISNO DKK, "Analisis Iradiasi 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 ORIGEN-2 , Oak Ridge National Laboratory, USA.
5. [www.en.wikipedia.org/wiki/quartz](http://www.en.wikipedia.org/wiki/quartz).

### TANYA JAWAB

#### Pertanyaan

1. Pembuatan Pr -142 dari Pr-141 dilakukan dengan reaksi (n,j), di dalam penelitian ini langsung digunakan, fluks netron dan daya operasi yang ekstrim (maksimum) dalam akhir akhir ini. Untuk pemilihan operasi sebenarnya dapat dipilih sesuai dengan pesanan besarnya aktifitas Pr-142 dengan mengetahui aktifitas berbagai kondisi operasi reaktor (daya dan Fluks netron) dpt dihitung dgn rumus sederhana, perhitungan tsb apa sudah dilakukan? Kalau belum mohon penelitian selanjutnya, shg kita dapat memiliki kondisi operasi sesuai pesanan. (Gunanjar – PTPLR)
2. Kenapa tidak di evaluasi 3 dimensi?

#### Jawaban

1. Belum dilakukan perhitungan, terima kasih atas sarannya, Insyah Allah untuk perhitungan berikutnya akan kami lakukan
2. Dari reverensi yang kami peroleh, perhitungan 3 dimensi dapat dilakukan dengan program COBRA, akan tetapi saat ini kami belum mendapatkannya, untuk yang akan datang akan kami gunakan program COBRA.