

## ANALISIS IRADIASI TARGET TUNGSTEN DI REAKTOR SERBA GUNA -GA SIWABESSY

Sutrisno, Sarwani, Ariyawan Sunardi, Asnul Sufmawan

### ABSTRAK

**ANALISIS IRADIASI TARGET TUNGSTEN DI REAKTOR SERBA GUNA (RSG)-G.A SIWABESSY.** Radioisotop Tungsten merupakan salah satu radioisotop yang dipergunakan dibidang kesehatan. Untuk menghasilkan radioisotop tersebut dapat dilakukan dengan cara mengiradiasi target  $WO_3$  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 dengan manual. Dari hasil perhitungan untuk iradiasi target Tungsten dengan berat 5 gram, 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 hari diperoleh aktivitas W-187= 156,5 Ci, besarnya suhu di pusat target adalah 252,509 °C sedang tarikan tangensial ( $f_t$ )=12,74 Pa dan tarikan aksial ( $f_a$ )=6,37 Pa).

Kata kunci : Iradiasi, Tungsten

### ABSTRACT

**IRRADIATION TARGET ANALYSIS OF TUNGSTEN IN RSG-GA SIWABESSY.** Radioisotope Tungsten is one of the radioisotopes used as a health sector. It is produced by irradiating of  $WO_3$  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 GENGTC respectively. The activity of 5 gram Tungsten (W-187) after 5 days irradiated, at power 15 MW, neutron flux  $1 \times 10^{14}$  n/(cm<sup>2</sup>.second) and after decay 1 day was 156,5 Ci, while the temperature in the center of the target was 252,509 °C,  $f_t$ =12,74 Pa and  $f_a$ = 6,37 Pa.

Key words: Irradiation, Tungsten

### PENDAHULUAN

Radioisotop Tungsten-188 (W-188) merupakan radioisotop pemancar- $\beta$  dengan umur paro 69,4 hari. Radioisotop W-188 dapat diperoleh dari hasil iradiasi Tungsten oksida ( $WO_3$ ) di teras reaktor melalui reaksi inti  $^{186}W(2n,\gamma)^{188}W$ . Tungsten oksida mempunyai bentuk fisik berupa serbuk (powder) dengan massa jenis sebesar 3,36 gr / mL, titik leleh 3410 °C, titik didih 5660 °C dengan kelimpahan isotop W-186 di alam sebanyak 28,6 % dan tampang lintang sebesar 38 barn. Radioisotop W-188 digunakan di bidang kesehatan.

Untuk mengiradiasi target  $WO_3$  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 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, adanya iradiasi target Tungsten 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 KBr dilakukan dengan menggunakan paket program Origen-2, untuk perhitungan perpindahan panas menggunakan program GENGTC sedangkan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal dengan manual.

**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 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 dimana antara kapsul quartz dan kapsul Aluminium diisi dengan gas He, kemudian lapisan luar adalah Tabung Aluminium dengan ukuran diameter dalam 25,4 mm, diameter

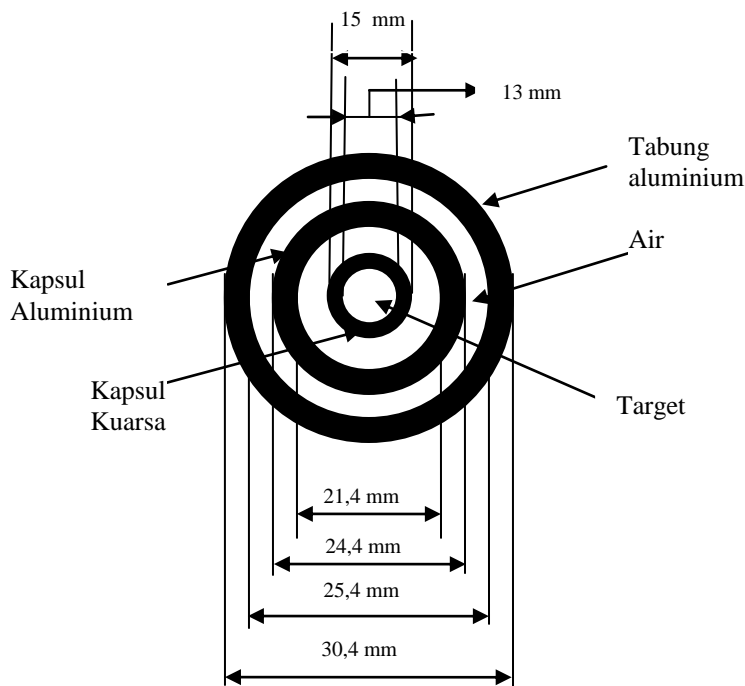
luar 30,4 mm dan tinggi 500 mm secara aksial terlihat seperti pada Gambar 1.

Profil suhu dari pusat target sampai dinding terluar dari kapsul selama iradiasi dapat dihitung dengan menggunakan paket program *GENGTC* (*Generalized Gap Temperature Calculation*). 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 :

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

di mana :

- $h_c$  = koefisien konduksi panas fluida ( W/m.<sup>o</sup>C )
- $D_e$  = diameter ekuivalen ( m )
- $k$  = konduktifitas 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 berikut:

$$Nu = 0,023 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3} \dots\dots\dots (2)$$

Di mana:

- Pr : bilangan Prandtl
- Re : bilangan Reynold

Besarnya bilangan Reynold dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Re = v \cdot De / \mu \dots\dots\dots (3)$$

Di mana:

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

**Perhitungan aktivitas**

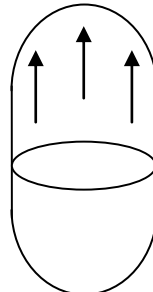
Besarnya aktivitas dari target dapat dihitung dengan menggunakan paket program Origen-2. Secara garis besar perhitungan aktivitas tersebut menggunakan rumus:

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

Di mana:

- 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 (n/cm<sup>2</sup>.detik)
- t : waktu iradiasi ( detik)

Tarikan aksial



Besarnya tarikan aksial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

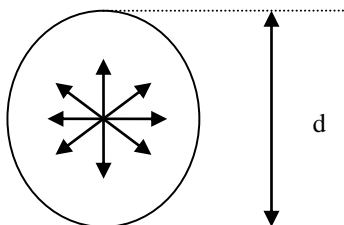
$$f_a = f_t / 2.....(7)$$

dimana:  $f_a$  = tarikan aksial (Pa)

**Perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal.**

Kapsul kuarsa selain berisi target WO<sub>3</sub> 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 (ft)



Besarnya tarikan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

dimana :

- $f_t$  = 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 :

$$P V = n R T.....(6)$$

dimana

- 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 <sup>0</sup>K)
- T = suhu gas (<sup>0</sup>K)

**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 °C, dengan menggunakan persamaan 1,2 dan 3 akan diperoleh harga koefisien konveksi pendingin,  $h_c = 9275,7$  Watt/m<sup>2</sup>.°C

Sedangkan data lain yang dipergunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

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

- Dimensi kapsul : lihat Gambar 1
- Suhu fluida pendingin : 49 °C
- Koefisien konveksi pendingin: 9275,7 Watt/m<sup>2</sup>.°C
- Panas gamma Al : 3,91 w/gr
- Panas gamma Kuarsa : 2,91 w/gr
- Koefisien konduksi panas Al : 202,46 Watt/m<sup>2</sup>.°C
- Massa jenis Al : 2,70 gr/cm<sup>3</sup>
- Koefisien konduksi panas WO<sub>3</sub> :174 Watt/m<sup>2</sup>.°C
- Massa jenis WO<sub>3</sub> : 19,3 gr/cm<sup>3</sup>

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

- Suhu pada pusat target (WO<sub>3</sub>) : 252,5090 °C
- Suhu kuarsa (*Inner Capsule*) : 235,9649 °C
- Suhu kuarsa (*Outer capsule*) : 235,7014 °C
- Suhu kapsul Al (*Inner Capsule*) : 2,1626 °C
- Suhu kapsul Al (*Outer Capsule*) : 51,7299 °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 Tungsten juga belum meleleh (titik leleh WO<sub>3</sub> ≈ 3410 °C).

**Perhitungan Aktivitas**

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

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

Di mana

- A = aktivitas (Ci)
- F = efisiensi (70%)
- N<sub>o</sub> = jumlah atom sasaran W-187 (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 Irradiasi Unsur Tungsten (W) di dalam target

	Kelimpahan	Radioisotop Hasil Irradiasi	Aktivitas saat EOI (Ci)	Aktivitas setelah 1 hari (Ci)	Aktivitas setelah 10 hari (Ci)	Aktivitas setelah 20 hari (Ci)	Aktivitas setelah 30 hari (Ci)	Aktivitas setelah 60 hari (Ci)	Waktu paro
W-180	26,3 %	W-181	4,59 x 10 <sup>-3</sup>	4,57 x 10 <sup>-3</sup>	4,34 x 10 <sup>-3</sup>	4,10 x 10 <sup>-3</sup>	3,87 x 10 <sup>-3</sup>	3,26 x 10 <sup>-3</sup>	121,2 hari
W-186	28,6 %	W-188	2,21	2,19	2,00	1,81	1,64	1,21	69,4 hari

Berat target yang akan diiradiasi adalah 5 gram dengan lama iradiasi 5 hari pada daya 15 MW pada posisi CIP dengan fluks neutron 1 x 10<sup>14</sup> n/(cm<sup>2</sup> detik). Sedangkan kapsul untuk tempat target terbuat

dari bahan Al 1050. Dari hasil perhitungan dengan paket program Origen-2 dapat dilihat pada Tabel di bawah.

Tabel 2. Aktivitas Target WO<sub>3</sub> setelah iradiasi 5 hari

Target WO <sub>3</sub>	Produk	Aktivitas saat EOI (Ci)	Aktivitas setelah 1 hari (Ci)	Aktivitas setelah 10 hari (Ci)	Aktivitas setelah 20 hari (Ci)	Aktivitas setelah 30 hari (Ci)	Aktivitas setelah 60 hari (Ci)	Waktu Paro
5 gram	Ta-182	1,017 x 10 <sup>-7</sup>	1,010 x 10 <sup>-7</sup>	9,571 x 10 <sup>-8</sup>	9,011 x 10 <sup>-8</sup>	8,484 x 10 <sup>-8</sup>	7,080 x 10 <sup>-8</sup>	114,43 hari
	Ta-182m	5,034 x 10 <sup>-9</sup>	0	0	0	0	0	283 milidetik
	Ta-183	2,127 x 10 <sup>-8</sup>	1,857 x 10 <sup>-8</sup>	5,464 x 10 <sup>-9</sup>	1,404 x 10 <sup>-9</sup>	3,606 x 10 <sup>-10</sup>	6,113 x 10 <sup>-12</sup>	5,1 hari
	W-181	1,449 x 10 <sup>-2</sup>	1,441 x 10 <sup>-2</sup>	1,369 x 10 <sup>-2</sup>	1,292 x 10 <sup>-2</sup>	1,221 x 10 <sup>-2</sup>	1,028 x 10 <sup>-2</sup>	121,2 hari
	W-183m	7,671 x 10 <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	5,2 detik
	W-185	4,910 x 10 <sup>-1</sup>	4,865 x 10 <sup>-1</sup>	4,477 x 10 <sup>-1</sup>	4,083 x 10 <sup>-1</sup>	3,723 x 10 <sup>-1</sup>	2,822 x 10 <sup>-1</sup>	75,1 hari
	W-185m	1,198 x 10 <sup>-2</sup>	0	0	0	0	0	1,67 menit
	W-187	3,139 x 10 <sup>2</sup>	1,565 x 10 <sup>2</sup>	2,978 x 10 <sup>-1</sup>	2,825 x 10 <sup>-4</sup>	2,680 x 10 <sup>-7</sup>	2,288 x 10 <sup>-16</sup>	23,72 jam
	W-188	1,776 x 10 <sup>-2</sup>	1,759 x 10 <sup>-2</sup>	1,608 x 10 <sup>-2</sup>	1,455 x 10 <sup>-2</sup>	1,316 x 10 <sup>-2</sup>	9,756 x 10 <sup>-3</sup>	69,4 hari
	Re-186	2,288 x 10 <sup>-4</sup>	1,905 x 10 <sup>-4</sup>	3,651 x 10 <sup>-5</sup>	5,826 x 10 <sup>-6</sup>	9,295 x 10 <sup>-7</sup>	3,775 x 10 <sup>-9</sup>	3,7183 hari
	Re-187	4,436 x 10 <sup>-11</sup>	5,295 x 10 <sup>-11</sup>	6,146 x 10 <sup>-11</sup>	6,148 x 10 <sup>-11</sup>	6,148 x 10 <sup>-11</sup>	6,148 x 10 <sup>-11</sup>	4,35 x 10 <sup>10</sup> tahun
Re-188	1,716 x 10 <sup>-1</sup>	7,693 x 10 <sup>-2</sup>	1,625 x 10 <sup>-2</sup>	1,470 x 10 <sup>-2</sup>	1,330 x 10 <sup>-2</sup>	9,857 x 10 <sup>-3</sup>	17,005 jam	

Tabel 2. Lanjutan

Target WO3	Produk	Aktivitas saat EOI (Ci)	Aktivitas setelah 1	Aktivitas setelah 10	Aktivitas setelah 20	Aktivitas setelah 30	Aktivitas setelah 60 hari	Waktu Paro
	Re-188m	$2,096 \times 10^{-1}$	0	0	0	0	0	18,6 menit
	Re-189	$2,406 \times 10^{-7}$	$1,213 \times 10^{-7}$	$2,561 \times 10^{-10}$	$2,732 \times 10^{-13}$	$2,871 \times 10^{-16}$	$3,457 \times 10^{-25}$	24,3 jam
	Os-190m	$6,541 \times 10^{-14}$	0	0	0	0	0	9,9 menit
	Os-191	$3,015 \times 10^{-15}$	$4,116 \times 10^{-15}$	$3,083 \times 10^{-15}$	$1,966 \times 10^{-15}$	$1,254 \times 10^{-15}$	$3,249 \times 10^{-16}$	15,4 hari
	Os-191m	$4,993 \times 10^{-14}$	$1,388 \times 10^{-14}$	$1,382 \times 10^{-19}$	$3,829 \times 10^{-25}$	$1,061 \times 10^{-30}$	0	13,10 jam

Sedang aktivitas kapsul dari Aluminium jenis Al 1050 yang dipergunakan setelah iradiasi 5 hari pada daya 15 MW adalah seperti pada Tabel 3 sebagai berikut :

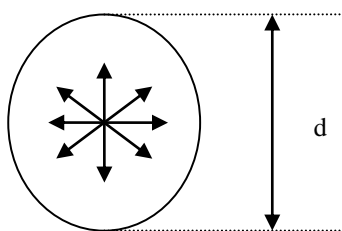
Tabel 3. Aktivitas kapsul Aluminium setelah iradiasi 5 hari

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

Radiisotop Al-28 terbentuk dengan aktivitas tinggi, namun segera meluruh dalam waktu singkat karena waktu paruhnya hanya 2,24 menit. Sehingga setelah 24 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 :

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

di mana :

$f_t$  = 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 :

$$P V = n R T$$

dimana

$P$  = 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 ( $0\text{ }^{\circ}C$  ; 1 pa), 1 mol suatu gas mempunyai volume 22,4 liter.

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

Jadi jumlah mol gas

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

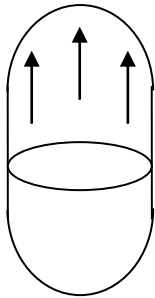
Dengan menggunakan persamaan (6) pada suhu  $252,509\text{ }^{\circ}C$ , besar tekanan di dalam kapsul kuarsa sebesar 1,96 pa.

Dengan masukan data tersebut di atas maka dengan menggunakan persamaan (5) diperoleh harga tarikan tangensial ( $f_t$ ) = 12,74 pa

Harga  $f_{allowable}$  untuk kuarsa = 69,948 pa

Harga  $f_t < f_{allowable}$

### Tarikan aksial



Besarnya tarikan aksial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :  $f_a = f_t / 2$   
dimana :  $f_a$  = tarikan aksial (pa)  
 $f_t$  = tarikan tangensial ( $\approx 12,74$  pa) dengan menggunakan persamaan (3) :  $f_a = 6,37$  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 Tungsten selama 5 hari pada daya 15 MW adalah 177,6 Ci dan setelah mengalami peluruhan selama 24 jam akan diperoleh aktivitas W-188 sebesar 175,9 Ci.
3. Thermal stress yang terjadi pada kapsul kuarsa sangat kecil sehingga kapsul kuarsa aman dipergunakan untuk iradiasi  $WO_3$ .

### DAFTAR PUSTAKA

1. Ridwan dkk, "Pengantar Teknik Nuklir", BATAN, Jakarta, 1978
2. Hall C. Rolland, "GENGTC, A ONE-DIMENSIONAL CEIR COMPUTER PROGRAM FOR CAPSULE TEMPERATURE CALCULATIONS IN CYLINDRICAL GEOMETRY", December 1967
3. Program Origen-2, Oak Ridge National Laboratory, USA.
4. Walker FW, et.al. Nuclides and Isotopes, 14<sup>ed</sup>, General Electric Company, USA, 1989
5. en.wikipedia.org/wiki/quartz.

### DISKUSI

Penanya : Yayan Tahyan

#### Pertanyaan :

- Dari berapa kali iradiasi, data hasil didapatkan ?
- Apakah pengukuran suhu di dapat dari hasil perhitungan ? atau dengan apa ?

#### Jawaban :

- Belum pernah dilakukan, analisis target ini untuk data pembuatan Laporan Analisis Keselamatan (LAK)
- Pengukuran suhu dilakukan dengan perhitungan menggunakan program GENGTC.