

ANALISIS KESELAMATAN IRADIASI TARGET Nd_2O_3 DI REAKTOR RSG-GAS

Sutrisno, Ariyawan Sunardi, Sunarko

Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN, Serpong
soe-tris@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS KESELAMATAN REAKTIVITAS TARGET Nd_2O_3 DI REAKTOR RSG-GAS.

Radioisotop Neodimium-149 merupakan salah satu radioisotop yang dipergunakan di bidang kesehatan. Untuk menghasilkan radioisotop tersebut dapat dilakukan dengan cara mengiradiasi target Nd_2O_3 di teras reaktor RSG G.A Siwabessy. Untuk kepentingan pengguna dan keselamatan operasi dilakukan beberapa perhitungan antara lain perpindahan panas dari target ke lingkungan, besarnya reaktivitas target yang dihasilkan dan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal. Perhitungan perpindahan panas menggunakan paket program GENGTC, perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal dengan manual untuk besarnya reaktivitas target menggunakan paket program BATAN 2-DIFF. Dari hasil perhitungan untuk iradiasi target Nd_2O_3 dengan berat 1 gram, besarnya suhu di pusat target adalah $562,09\text{ }^\circ\text{C}$ (titik leleh $\text{Nd}_2\text{O}_3=2272\text{ }^\circ\text{C}$), tarikan tangensial (f_t)= $28,38\text{ Pa}$ dan tarikan aksial ($f_a=14,19\text{ Pa}$) pada harga $f_{\text{allowable}}=69,948\text{ Pa}$, serta perhitungan reaktivitas (ρ) Nd_2O_3 1 Gram adalah $+0,00065\%$ (reaktivitas yang disyaratkan maksimum $\pm 0,5\%$) sehingga target Nd_2O_3 dengan berat 1 gram aman untuk diiradiasi di reaktor RSG-GAS.

Kata kunci: Reaktivitas, iradiasi, Neodimium, program GENTC, program BATAN-2DIFF

ABSTRACT

SAFETY ANALYSIS REACTIVITY OF Nd_2O_3 TARGET AT RSG-GA SIWABESSY. Radioisotope Neodimium-149 is one of the radioisotopes used in health sector. It is produced by irradiating of Nd_2O_3 target the reactor core of RSG- GAS. Both reactivity 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 reactivity and heat transfer were calculated by BATAN-2DIFF and GENTC respectively. The reactivity of 1gram Nd_2O_3 is $+0,00065\%$ (maximum required reactivity $\pm 0,5\%$), while temperature in the center of the target was $562,09\text{ }^\circ\text{C}$ (melting point $2272\text{ }^\circ\text{C}$), $f_t=28,38\text{ Pa}$ and $f_a=14,19\text{ Pa}$ (where $f_{\text{allowable}}=69,948\text{ Pa}$) so that the target 1 gram Nd_2O_3 safe for irradiated in RSG-GAS reactor.

Keywords: Reactivity, irradiation, Neodimium, GENTC code, BATAN-2DIFF code.

PENDAHULUAN

Reaktor serba Guna (RSG-GAS) merupakan reaktor tipe kolam yang digunakan untuk penelitian, pelayanan iradiasi, kegiatan pendidikan dan pelatihan. Fasilitas reaktor RSG-GAS dibangun berdasarkan konsep reaktor kolam terbuka dengan menggunakan air sebagai pendingin dan moderator serta menggunakan berilium sebagai reflektor. Dalam menjalankan fungsi pelayanan iradiasi, reaktor RSG-GAS menerima sampel yang akan diiradiasi baik di fasilitas iradiasi dalam teras maupun di luar teras. Sampel yang dimasukkan ke dalam fasilitas iradiasi bisa menimbulkan gangguan reaktivitas, baik reaktivitas positif

maupun reaktivitas negative. Salah satu sampel yang diiradiasi di dalam teras reaktor RSG-GAS adalah batu Nd_2O_3 .

Radioisotop Neodimium-149 ($\text{Nd}-149$)¹⁾ merupakan radioisotop pemancar- β dan gamma (γ) dengan umur paro 1,7 jam. Radioisotop $\text{Nd}-149$ dapat diperoleh dari hasil iradiasi Neodimium oksida (Nd_2O_3) di teras reaktor melalui reaksi inti $^{148}\text{Nd}(n,\gamma)^{149}\text{Nd}$. Neodimium oksida mempunyai bentuk fisik berupa serbuk (halus) dengan massa jenis sebesar $7,24\text{ gr/mL}$, kelimpahan isotop $\text{Nd}-149$ di alam sebanyak $5,76\%$ dan tampang lintang sebesar $2,5$ barn. Anak luruh radioisotop

Neodimium-149, yakni Promethium-149 digunakan untuk terapi di bidang kesehatan.

Untuk kepentingan pengguna dan keselamatan operasi²⁾, adanya iradiasi target Nd_2O_3 di RSG-GAS perlu dilakukan perhitungan perpindahan panas target ke pendingin primer kolam reaktor, besarnya reaktivitas target yang dihasilkan dan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal. Perhitungan perpindahan panas menggunakan program GENGTC dan perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal dengan manual sedangkan perhitungan besarnya reaktivitas dari target Nd_2O_3 dilakukan dengan menggunakan paket program BATAN-2DIFF.

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*)^[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 (1):

$$h_c = N_u \cdot k / D_e \tag{1}$$

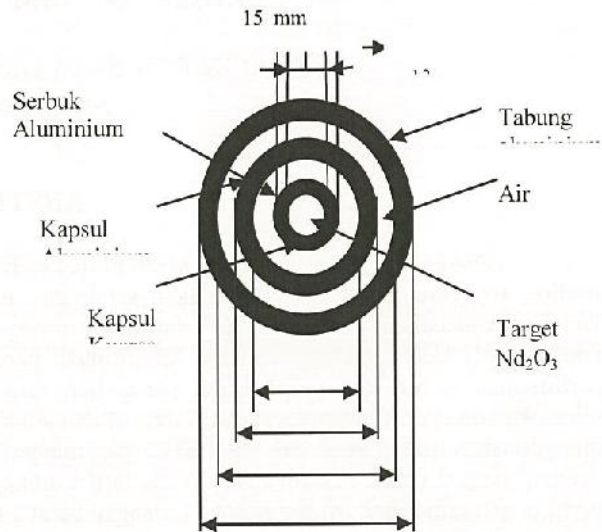
dengan :

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 Nusselt dipergunakan Persamaan (2)

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \tag{2}$$

dengan:

Pr : bilangan Prandtl

Re : bilangan Reynold

Besarnya bilangan Reynold dapat dihitung dengan Persamaan (3)

$$Re = v \cdot De / \mu \tag{3}$$

dengan:

v :kecepatan fluida pendingin (m/det)

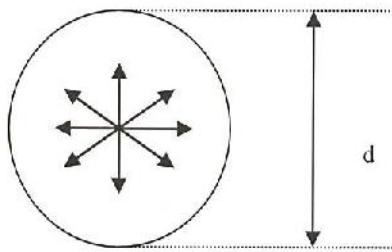
De : diameter ekivalen (m)

μ : kekentalan fluida (m²/det)

Perhitungan tegangan termal akibat kenaikan tekanan internal

Kapsul kuarsa selain berisi target Nd_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 dibandingkan dengan tekanan tersebut akan timbul tegangan termal pada dinding kuarsa dalam arah tangensial dan arah aksial.

Tarikan Tangensial (ft)



Gambar 2. Tarikan Tangensial

Besarnya tarikan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4)

$$f_t = \frac{p \cdot d}{2t} \tag{4}$$

dengan:

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

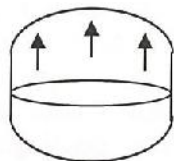
Tekanan internal pada kapsul kuarsa dapat dihitung dengan mengasumsikan gas He sebagai gas ideal sehingga berlaku Persamaan (5)

$$P V = n R T \tag{5}$$

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)

Tarikan aksial



Gambar 3. Tarikan Aksial

Besarnya tarikan aksial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$f_a = f_t / 2 \tag{6}$$

dengan f_a = tarikan aksial (Pa)

Model Perhitungan dengan Batan-2DIFF

Program perhitungan komputer (*code*) Batan-2DIFF^[4] adalah suatu program komputer yang dipergunakan untuk

menyelesaikan persamaan difusi neutron banyak kelompok tenaga dalam geometri 2-D.

Akurasi perhitungan parameter teras reaktor RSG-GAS dengan Batan-2DIFF sangat ditentukan oleh: tampang lintang material penyusun teras, pemodelan teras yang detil, dan keakuratan perhitungan fraksi bakar tiap elemen bakar yang ada di teras. Dalam pemodelan, ukuran teras ke arah-X dan ke arah-Y dirinci sebagai mesh. Jumlah mesh ke arah-X sebanyak 100 dan ke arah-Y sebanyak 125. Pada Gambar 2 disajikan pembagian mesh pada tiap *region* dari teras reaktor RSG-GAS.

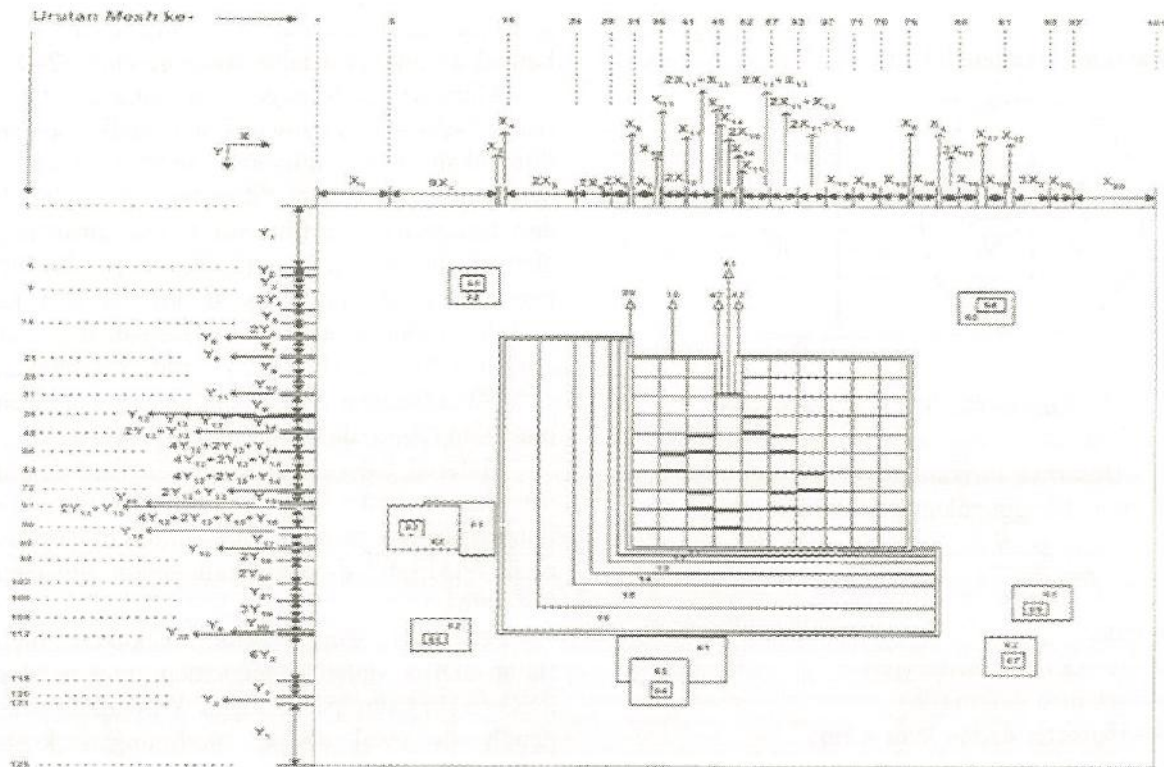
Material teras reaktor didefinisikan dalam *file* data tertentu begitu pula nilai tampang lintang neutron yang terlebih dahulu digenerasi oleh WIMSD^[5] didefinisikan dalam *file* data tersendiri.

Pekerjaan yang harus dilakukan oleh Batan-2DIFF dalam manajemen teras reaktor RSG-GAS, yaitu: perhitungan kritikalitas teras penuh di awal siklus, perhitungan kritis pertama di awal siklus, perhitungan margin padam di awal siklus, dan perhitungan fraksi bakar dan inventori di akhir siklus. Untuk memberikan hasil terhadap perhitungan fraksi bakar diperlukan kartu masukan (*input card*): *BURNUP. Kartu BURNUP digunakan untuk menghitung inventori suatu teras jika dibakar dalam waktu dan jumlah siklus tertentu.

Format BUTIME harus diubah dengan jumlah waktu dalam satu teras operasi (*time interval for one cycle, s*) dalam satuan detik.

Contoh penyusunan material teras dalam Batan-2Diff, seperti yang ditunjukkan dalam data MATERIAL ZONE (*lampiran*), formatnya nomor 1-70 untuk material tidak dapat belah dan nomor 71-118 diperuntukkan untuk elemen bakar *standard* (EB) dan kendali (EK).

Untuk memperoleh harga reaktivitas yang diinginkan, hasil perhitungan sel pada paket program WIMSD-5B berupa harga tampang lintang makroskopik menggunakan paket program BATAN-2DIFF dengan format *citation*. Kemudian pada program BATAN-2DIFF kolom D-9 diganti dengan target Nd₂O₃ dengan indek material 123. Dan BOC650+Nd₂O₃.CIT sebagai masukkan *cit*. Harga reaktivitas Nd₂O₃ adalah hasil dari perhitungan reaktivitas dengan target Nd₂O₃ dikurangi dengan hasil perhitungan tanpa Nd₂O₃.



Gambar 4. Pembagian mesh pada region teras RSG-GAS

METODE

Analisis ini dimulai dengan studi literatur tentang target Nd_2O_3 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 BATAN-2DIFF untuk menghitung besarnya reaktivitas, serta perhitungan secara manual untuk menentukan tegangan thermal akibat kenaikan tekanan internal.

Hasil perhitungan beberapa parameter tersebut di atas digunakan untuk menganalisis apakah iradiasi target Nd_2O_3 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 (diambil dari kecepatan fluida pada celah bahan bakar) 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, $h_c = 328,9 \text{ Watt/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Data lain yang dipergunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut: (dengan asumsi daya reaktor 15 MW dengan fluks neutron $1 \cdot 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{detik}$).

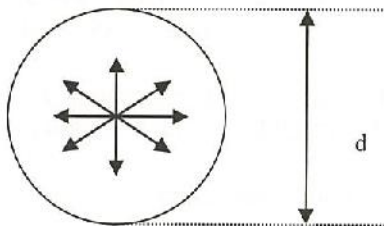
- Dimensi kapsul : lihat Gambar 1
- Suhu fluida pendingin : 49 °C
- Panas gamma Al : 3,91 w/gr
- Panas gamma Kuarsa : 2,91 w/gr
- Koefisien konduksi panas Al: 202,46 Watt/m K
- Massa jenis Al : 2,70 gr/cm³

- Koefisien konduksi panas Nd_2O_3
: 802,83 Watt/m K
 - Massa jenis Nd_2O_3 : 7,24 gr/cm³
- Dengan data masukan seperti di atas maka diperoleh hasil sebagai berikut :
- Suhu pada pusat target (Nd_2O_3) : 562,09 °C
 - Suhu kuarsa (*Inner Capsule*) : 548,47 °C
 - Suhu kuarsa (*Outer capsule*) : 514,26 °C
 - Suhu kapsul Al (*Inner Capsule*) : 50,37 °C
 - Suhu kapsul Al (*Outer Capsule*) : 50,01 °C

Dari hasil perhitungan suhu tersebut di atas terlihat bahwa integritas tabung kuarsa dan tabung Al masih terjaga pada suhu tersebut, karena kuarsa^[6] mempunyai titik leleh 1425 °C dan titik leleh Al \approx 660 °C, sedangkan target Neodinium juga belum meleleh (titik leleh Nd - 149 \approx 2272 °C).

Perhitungan tekanan temal akibat kenaikan tekanan internal

Tarikan Tangensial (ft)



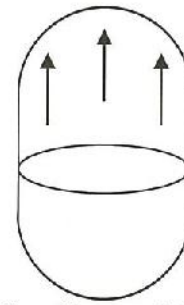
Gambar 5. Tarikan Tangensial

Besarnya tarikan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4). Tekanan internal pada kapsul kuarsa dapat dihitung dengan mengasumsikan gas He sebagai gas ideal sehingga berlaku Persamaan (5). 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 = (0,00663/22,4) mol = 0,0003 mol. Dengan menggunakan persamaan (6) pada suhu 562,09 °C, besar tekanan di dalam kapsul kuarsa sebesar 4,37 Pa.

Dengan memasukkan data tersebut di atas maka dengan menggunakan Persamaan (5) diperoleh harga tarikan tangensial (f_t) = 28,38 Pa. Nilai $f_{\text{allowable}}$ untuk kuarsa = 69,948 Pa.

$$\text{Harga } f_t < f_{\text{allowable}}$$

Tarikan aksial



Gambar 6. Tarikan Tangensial

Besarnya tarikan aksial dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (6).

Perhitungan Reaktivitas Nd_2O_3

Model masukan program WIMSD-5B ditunjukkan pada Lampiran 1. Berikut ini merupakan perhitungan perhitungan yang dilakukan oleh program WIMSD-5B: volume masing-masing mesh, tampang lintang difusi, tampang lintang serapan, fluks neutron pada 50 region/slab, tampang lintang difusi, tampang lintang serapan, fluks neutron pada sel berdasarkan 69 kelompok tenaga neutron, tampang lintang hamburan rata-rata tiap kelompok tenaga neutron dan tampang daerah yang dihomogeniasi untuk seluruh model sel dari SLAB 1 sampai SLAB 50.

Hasil perhitungan tampang lintang daerah yang dihomogenisasi dapat dilihat pada Lampiran 2, dari Lampiran 2 dapat diketahui bahwa perhitungan tampang lintang mula-mula dilakukan secara keseluruhan dari SLAB 1 sampai SLAB 50. Kemudian dengan kartu MOMOD 44 50 dilakukan pengelompokan tampang lintang menjadi 2 kelompok yaitu kelompok pertama berisi tampang lintang SLAB 1 sampai SLAB 44 dan kelompok kedua berisi tampang lintang SLAB 45 sampai SLAB 50. Pengelompokan ini dilakukan untuk mendapatkan tampang lintang material non fisil terpisah dari tampang lintang fisil.

Format tampang lintang material non fisil yang dihasilkan program WIMSD-5B tidak bisa langsung digunakan sebagai *library* program BATAN-2DIFF, oleh sebab itu harus dirubah dulu ke dalam format *CITATION* dengan bantuan program link5prsg.exe. Dalam hal ini konstanta kelompok difusi target Nd_2O_3 diberi nomor 123. Setelah konstanta kelompok

difusi target Nd_2O_3 tersusun dalam format *citation* dan terpisah dalam file $Nd_2O_3.CIT$, isi file kemudian disalin ke file pustaka BOC650+ $Nd_2O_3.CIT$. Selanjutnya diacu oleh program batan-2diff pada perhitungan kekritisitas tingkat teras reaktor untuk menghitung perubahan reaktivita akibat pemasukan target topaz dalam teras RSG-GAS. Hasil perhitungan reaktivitas tanpa Nd_2O_3 dengan program BATAN-2DIFF dapat dilihat pada Tabel 1. Dan hasil perhitungan reaktivitas dengan Nd_2O_3 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil perhitungan reaktivitas tanpa Nd_2O_3

No	Uraian	Hasil
1	K Eff (Iteration)	1.102546
2	K Eff (Neut.Bal)	1.102543
3	K Eff (Eigenvalue)	1.102546
4	Reactivity (%)	9.30084
5	Rel. Err. of K Eff	5.92146E-07

Tabel 2. Hasil perhitungan reaktivitas dengan target Nd_2O_3

No	URAIAN	HASIL
1	K Eff (Iteration)	1.1034475
2	K Eff (Neut.Bal)	1.1034444
3	K Eff (Eigenvalue)	1.1034474
4	Reactivity (%)	9,30149
	Rel. Err. of K Eff	1.73627 5

Nilai reaktivitas Nd_2O_3 adalah hasil dari perhitungan reaktivitas dengan target Nd_2O_3 dikurangi dengan hasil perhitungan tanpa Nd_2O_3 . Hasil reaktivitas Nd_2O_3 adalah = $9,30149\% - 9.30084\% = +0,00065\%$. Hasil ini masih di bawah harga reaktivitas di Laporan Analisis Keselamatan yang dipersyaratkan yaitu iradiasi satu target maksimum $\pm 0,5\%$.

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. Termal stress yang terjadi pada kapsul kuarsa sangat kecil sehingga kapsul kuarsa aman dipergunakan untuk iradiasi Nd_2O_3 .
3. Gangguan reaktivitas iradiasi target Nd_2O_3 di bawah harga LAK RSG-GAS, sehingga aman untuk diiradiasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Walker FW, et.al., *Nuclides and Isotopes, 14^{ed}*, 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, 2009.
3. Hall C. Rolland, GENGTC, A *ONE-DIMENSIONAL CEIR COMPUTER PROGRAM FOR CAPSULE TEMPERATURE CALCULATIONS IN CYLINDRICAL GEOMETRY*, 1967.
4. Suparlina L, Penggunaan Paket Program BATAN-2DIFF untuk RSG-GAS, PRSG, 2011.
5. T.M.Sembiring T.M, Penggunaan Paket Program WIMSD5B.12 untuk RSG-GAS, PRSG, 2011
6. en.wikipedia.org/wiki/quartz.

Lampiran 1.


```

**
*** FUEL ELEMENT U3O8-AL
19.75% ENRCH BERAT U235
250 g ***
***          MULTI PLATE
CELL MODEL          ***
***          KONDISI: HOT;
XE&SM EQUIL        ***
***          17 burn-up step
***
*****
*****
CELL 6
NPLATE 21
SEQUENCE 1
NGROUP 69 0 4 8 0
NMESH 158
NREGION 48 0 48 2
**NREACT 2
NMATERIAL 8,1
PREOUT
INITIATE*****
*** GEOMETRI CELL PELAT
*** pelat 1
SLAB 1,0.02700,1
SLAB 2,0.06500,2
SLAB 3,0.32000,3
*** pelat 2
SLAB 4,0.35800,2
SLAB 5,0.41200,1
SLAB 6,0.45000,2
SLAB 7,0.70500,3
*** pelat 3
SLAB 8,0.74300,2
SLAB 9,0.79700,1
SLAB 10,0.83500,2
SLAB 11,1.09000,3
*** pelat 4
SLAB 12,1.12800,2
SLAB 13,1.18200,1
SLAB 14,1.22000,2
SLAB 15,1.47500,3
*** pelat 5
SLAB 16,1.51300,2
SLAB 17,1.56700,1
SLAB 18,1.60500,2
SLAB 19,1.86000,3
*** pelat 6
SLAB 20,1.89600,2
SLAB 21,1.95200,1
SLAB 22,1.99000,2
SLAB 23,2.24500,3
*** pelat 7
SLAB 24,2.28300,2
SLAB 25,2.33700,1
SLAB 26,2.37500,2
SLAB 27,2.63000,3
*** pelat 8
SLAB 28,2.66800,2
SLAB 29,2.72200,1
SLAB 30,2.76000,2
SLAB 31,3.01500,3
*** pelat 9
SLAB 32,3.05300,2
SLAB 33,3.10700,1
SLAB 34,3.14500,2
SLAB 35,3.40000,3
*** pelat 10

```

```

SLAB 36,3.43800,2
SLAB 37,3.49200,1
SLAB 38,3.53000,2
SLAB 39,3.78500,3
*** pelat 11
SLAB 40,3.82300,2
SLAB 41,3.87700,1
SLAB 42,3.91500,2
SLAB 43,4.04250,3
*** extra region
SLAB 44,4.97618,4
*** daerah yang hendak
dihomogenisasi (Nd2O3)
SLAB 45,6.83578,5
SLAB 46,8.02451,6
SLAB 47,8.95431,7
SLAB 48,9.54868,8
SLAB 49,9.95218,9
SLAB 50,9.95236,10

*****
*****
*** KOMPOSISI MATERIAL:
*** T MEAT RATA-RATA =
69.148 oC
*** T CLAD RATA-RATA =
68.52 oC
*** T MODERATOR RAT =
48.12 oC
*** T EXTRA REG. RAT =
48.12 oC
*****
*****
MATERIAL 1 -1 293.15 1 $
2235 1.50025E-03 $
8238 6.01895E-03 $
6239 1.00000E-27 $
27 3.12531E-02 $
6016 2.00507E-02
MATERIAL 2 -1 293.15 2 $
24 1.36127E-03 $
29 1.72395E-04 $
3063 1.26989E-05 $
55 8.81320E-05 $
2056 1.15597E-04 $
52 9.31187E-05 $
48 3.37079E-05 $
27 5.77226E-02
MATERIAL 3 -1 293.15 3 $
6016 3.30737E-02 $
3001 6.61475E-02
MATERIAL 4 -1 293.15 3 $
24 5.58099E-04 $
29 3.32123E-04 $
3063 9.29143E-05 $
55 1.21162E-04 $
2056 9.51386E-05 $
52 4.10691E-05 $
48 2.34504E-05 $
27 3.99821E-02 $
6016 1.01893E-02 $
3001 2.03786E-02
MATERIAL 5 -1 293.15 3 $
27 3.7370E-01
MATERIAL 6 -1 293.15 3 $
6016 7.96300E-02 $
3001 15.9260E-02
MATERIAL 7 -1 293.15 3 $
27 1.8685E-01
MATERIAL 8 -1 293.15 3 $
6016 3.9810E-02 $
3001 7.9630E-02
MATERIAL 9 -1 293.15 3 $

```

```

27 8.1090E-02
MATERIAL 10 -1 293.15 3 $
4143 0.003719686
4145 0.002495701
6016 0.000545168
FEWGROUPS 1 2 3 4 5 6 7 8
9 10 $
11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
$
21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
$
31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
$
41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
$
51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
$
61 62 63 64 65 66 67 68 69
$ 12
TOLERANCE 0.00001
MESH 2 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4
2 4 2 4 $
2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4 2 4
4 $
2 4 2 4 5 5 3 2 5 5
POWERC 0 0
BUCKLING 1.0e-20 1.0e-20
SUPPRESS
1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,1
BEGINC
VECTOR 5 15 45 69
MOMOD 44 50
THERMAL 24
LEAKAGE 5
DIFFUSION 2
NOBUCKLING
BUCKLING 1.0e-20 1.0e-20
BEGINC

```

Lampiran 2.

HOMOGENEIZED CROSS SECTIONS FOR CELL 1 TO 50

GROUP	FLUX	RAD-DIFF	AX-DIFF	TOT-DIFF	REMOVAL	ABSORPTION	NU-FISS	FISS	TRANSP
TOTAL									
1	8.420745E+00	1.496566E+00	1.496566E+00	1.496566E+00	8.992805E-02	9.371697E-04	1.109842E-03	0.000000E+00	2.227321E-01
2	1.153185E+01	6.669273E-01	6.669273E-01	6.669273E-01	8.506449E-02	6.451003E-04	4.882907E-04	0.000000E+00	4.998046E-01
3	1.028628E+01	6.681546E-01	6.681546E-01	6.681546E-01	8.607185E-02	1.007125E-02	6.866964E-03	0.000000E+00	4.988865E-01
4	1.486357E+01	2.080117E-01	2.080117E-01	2.080117E-01	2.951168E-04	5.927737E-02	5.916798E-02	0.000000E+00	1.602474E+00

0SCATTERING MATRIX (SELFSCATTERING UNCORRECTED) + SELFSCATTERING CORRECTED BY TRANSP TOTAL

	1	2	3	4
1	1.432013E-01	8.950770E-02	4.205588E-04	6.046156E-13
2	0.000000E+00	4.978813E-01	8.505558E-02	9.018873E-06
3	0.000000E+00	0.000000E+00	4.074526E-01	8.607185E-02
4	0.000000E+00	0.000000E+00	2.951168E-04	1.878306E+00

HOMOGENEIZED CROSS SECTIONS FOR REGIONS 1 TO 44

GROUP	FLUX	RAD-DIFF	AX-DIFF	TOT-DIFF	REMOVAL	ABSORPTION	NU-FISS	FISS	TRANSP
TOTAL									
1	6.738503E+00	2.350669E+00	2.350669E+00	2.350669E+00	7.813869E-02	8.642938E-04	1.386910E-03	0.000000E+00	1.418036E-01
2	8.067386E+00	1.276189E-00	1.276189E+00	1.276189E+00	8.574824E-02	5.999858E-04	6.979827E-04	0.000000E+00	2.611944E-01
3	6.575635E+00	8.214692E-01	8.214692E-01	8.214692E-01	7.818106E-02	1.415828E-02	1.074200E-02	0.000000E+00	4.057770E-01
4	5.771234E+00	2.856112E-01	2.856112E-01	2.856112E-01	3.584284E-04	8.780510E-02	1.523847E-01	0.000000E+00	1.167088E+00

0SCATTERING MATRIX (SELFSCATTERING UNCORRECTED) - SELFSCATTERING CORRECTED BY TRANSP TOTAL

	1	2	3	4
1	6.747759E-02	7.770099E-02	4.379058E-04	7.555557E-13
2	0.000000E+00	2.040846E-01	8.573902E-02	9.260091E-06
3	0.000000E+00	0.000000E+00	3.203786E-01	7.818106E-02
4	0.000000E+00	0.000000E+00	3.584284E-04	1.305226E+00

HOMOGENEIZED CROSS SECTIONS FOR REGIONS 45 TO 50

GROUP	FLUX	RAD-DIFF	AX-DIFF	TOT-DIFF	REMOVAL	ABSORPTION	NU-FISS	FISS	TRANSP
TOTAL									
1	1.682243E+00	5.850987E-01	5.850987E-01	5.850987E-01	1.371524E-01	1.229086E-03	0.000000E+00	0.000000E+00	5.697045E-01
2	3.464471E+00	3.967264E-01	3.967264E-01	3.967264E-01	8.347269E-02	7.501529E-04	0.000000E+00	0.000000E+00	8.402096E-01
3	3.710644E+00	5.051480E-01	5.051480E-01	5.051480E-01	1.000549E-01	2.828606E-03	0.000000E+00	0.000000E+00	6.598727E-01
4	9.092339E+00	1.675635E-01	1.675635E-01	1.675635E-01	2.549308E-04	4.116982E-02	0.000000E+00	0.000000E+00	1.989296E+00

0SCATTERING MATRIX (SELFSCATTERING UNCORRECTED) + SELFSCATTERING CORRECTED BY TRANSP TOTAL

	1	2	3	4
1	1.4465249E-01	1.368014E-01	3.510735E-04	0.000000E+00
2	0.000000E+00	1.182018E+00	8.346418E-02	8.457140E-06
3	0.000000E+00	0.000000E+00	5.617024E-01	1.000549E-01
4	0.000000E+00	0.000000E+00	2.549308E-04	2.242061E+00