

ANALISIS PERHITUNGAN PEMBANGKITAN PANAS TARGET Lu_2O_3 DI TERAS REAKTOR RSG-GAS MENGGUNAKAN PROGRAM GENGTG

CALCULATIONS ANALYSIS OF Lu_2O_3 TARGET HEAT GENERATION IN THE RSG-GAS REACTOR CORE USING THE GENGTG PROGRAM

Abdul Aziz Rohman Hakim¹, Lena Rosmayani², Abdullah Nur Aziz²

¹ 1Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran, BRIN Serpong

Email: hakim@batan.go.id

² Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Diterima: 22 Agustus 2022, diperbaiki : 27 Oktober 2022, disetujui : 16 November 2022

ABSTRAK

ANALISIS PERHITUNGAN PEMBANGKITAN PANAS TARGET Lu_2O_3 DI TERAS REAKTOR RSG-GAS MENGGUNAKAN PROGRAM GENGTG. Lutesium-177 (^{177}Lu) merupakan salah satu radioisotop yang efektif untuk terapi kanker prostat. Radioisotop ^{177}Lu diproduksi dengan cara mengiradiasi target Lu_2O_3 di teras Reaktor RSG-GAS. Untuk keperluan pengendalian keselamatan iradiasi di teras Reaktor RSG-GAS, pada iradiasi target Lu_2O_3 perlu dilakukan beberapa perhitungan, salah satunya adalah perhitungan perpindahan panas target ke pendingin primer kolam reaktor. Panas gamma yang terbangkitkan pada target dan kapsul perlu dibuang ke sistem pendingin reaktor agar tidak mengakibatkan kerusakan target. Profil suhu dari pusat target sampai dinding terluar dari kapsul selama iradiasi dihitung dengan menggunakan program GENGTG (Generalized Gap Temperature Calculator) yang dijalankan dengan program komputer BASIC. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui apakah integritas target Lu_2O_3 tetap terjaga apabila diiradiasi di teras Reaktor RSG-GAS. Dari hasil perhitungan diketahui bahwa suhu pada pusat target maupun suhu pada kapsul lebih kecil dari titik lelehnya sehingga integritas target dan kapsul masih terjaga.

Kata kunci : Iradiasi, Lutesium, perpindahan panas, program GENGTG

ABSTRACT

CALCULATIONS ANALYSIS OF Lu_2O_3 TARGET HEAT GENERATION IN THE RSG-GAS REACTOR CORE USING THE GENGTG PROGRAM. Lutetium-177 (^{177}Lu) is an effective radioisotope for cancer therapy. The ^{177}Lu radioisotope was produced by irradiating the Lu_2O_3 as a target in the reactor core of the RSG - GAS. For controlling irradiation safety in the RSG-GAS reactor, the Lu_2O_3 target irradiation needs to be calculated, one of which is the target heat transfer to the primary coolant of the reactor pool. The gamma heat generated at the target and the capsules need to be discharged into the reactor cooling system, so as not to compromise the integrity of the target. The temperature profile from the target center to the outer walls of the capsule during irradiation was calculated using the GENGTG (Generalized Gap Temperature Calculator) code and run by the BASIC computer program. The aim of the research is to know the integrity of target while irradiated in the core. The results showed that the temperature at the center of the target and the temperature at the capsule are smaller than the melting point, so that the integrity of the target and the capsule is still maintained.

Keywords : provide 3-5 keywords that are appropriate and suitable for your text

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor non-daya yang digunakan untuk penelitian, melayani kegiatan iradiasi, pendidikan dan pelatihan. Instalasi reaktor RSG-GAS dibangun dengan konsep reaktor kolam terbuka yang menggunakan bahan bakar Uranium Silisida (U_3Si_2-Al) dengan densitas 2.96 g/cm^3 dan fluks rata-rata $2 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{detik}$. Selain itu reaktor ini juga menggunakan air sebagai pendingin sekaligus moderator serta menggunakan berilium sebagai reflektor^[1].

Dalam menjalankan fungsi pelayanan iradiasi, reaktor RSG-GAS menerima sampel yang akan diiradiasi baik di fasilitas iradiasi dalam teras maupun luar teras. Sampel yang dimasukkan ke dalam fasilitas iradiasi bisa menimbulkan gangguan reaktivitas dan masalah perpindahan panas. Gangguan reaktivitas berupa reaktivitas positif maupun reaktivitas negative^[2]. Salah satu sampel yang akan diiradiasi di teras RSG-GAS pada *Central Irradiation Position* (CIP) adalah Lutesium (III) Oksida (Lu_2O_3). Radiasi neutron dari reaksi nuklir di teras reaktor pada posisi CIP dan IP dapat digunakan untuk memproduksi isotop yang bersifat radioaktif, yang bermanfaat bagi keperluan medis, industri, pertanian dan eksplorasi, mengiradiasi target Uranium yang diletakkan dalam tabung *stainless steel* untuk pembangkitan produk fisi campuran (Mo-99), mengiradiasi target TeO_2 untuk memproduksi I-125 dan I-131, mengiradiasi batu topaz, memproduksi radioisotop produk aktif seperti P-32, S-35, Au-198, Ir-192, Zn-64, dan lain-lain. Untuk memasukkan dan mengeluarkan target dari CIP dan IP digunakan *handling tool* khusus sesuai dengan keperluannya.

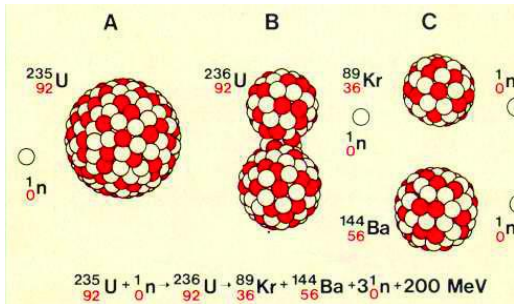
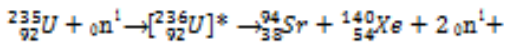
Target dimasukkan ke dalam kapsul berlapis dengan susunan paling

dalam adalah berisi target yang dimasukkan ke dalam kapsul Kuarsa, lapisan berikutnya kapsul Aluminium di mana antara kapsul Kuarsa dan kapsul Aluminium diisi dengan gas He, kemudian lapisan luar adalah tabung Aluminium. Panas gamma yang terbangkitkan pada target dan kapsul perlu dibuang ke sistem pendingin reaktor agar tidak mengakibatkan kerusakan target. Dalam rangka pengendalian keselamatan iradiasi di teras reaktor RSG-GAS, pada iradiasi target Lu_2O_3 perlu dilakukan beberapa perhitungan, salah satunya adalah perhitungan perpindahan panas target ke pendingin primer kolam reaktor. Profil suhu dari pusat target sampai dinding terluar dari kapsul selama iradiasi dapat dihitung dengan menggunakan paket program GENGTC (*Generalized Gap Temperature Calculator*). Program GENGTC menghitung perpindahan panas secara konduksi

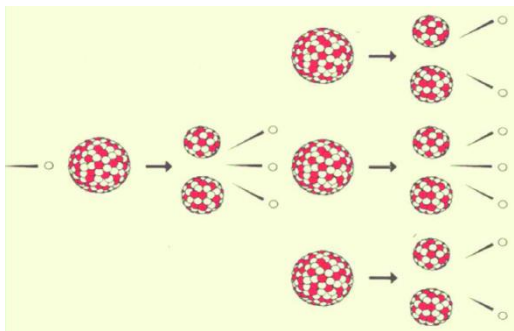
TEORI

A. Reaktor Nuklir

Reaktor nuklir merupakan tempat berlangsungnya reaksi fisi yang dihasilkan dari interaksi neutron dengan inti atom uranium. Reaksi fisi diawali dari gerakan neutron termal menumbuk inti atom $^{235}_{92}U$ yang menyebabkan inti atom menjadi tidak stabil dan kemudian membelah menjadi unsur-unsur yang memiliki nomor massa lebih kecil. Pembelahan diiringi dengan pelepasan energi dalam bentuk panas dan 2-3 neutron baru. Neutron baru yang dihasilkan merupakan neutron cepat. Energi pembelahan dari satu inti atom $^{235}_{92}U$ adalah sekitar 200 MeV. Neutron-neutron baru hasil fisi mengalami proses perlambatan dalam media moderator dan menjadi neutron termal. Sebagian inti majemuk yang dihasilkan pada reaksi fisi bersifat tidak stabil. Contoh reaksi fisi nuklir dan gambar reaksi sebagai berikut:



Gambar 1. Reaksi pembelahan inti uranium^[3]



Gambar 2. Reaksi pembelahan inti berantai^[3]

Komponen utama instalasi reaktor nuklir secara umum adalah:

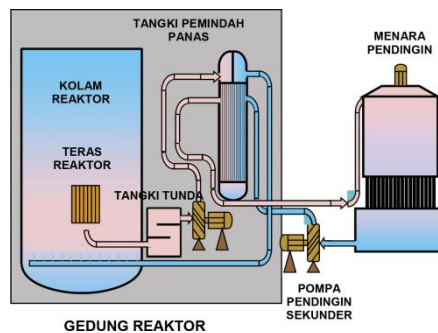
1. Bahan bakar nuklir, sebagai target untuk ditembak dengan neutron lambat (termal).
2. Moderator, berfungsi untuk memperlambat neutron cepat hasil reaksi fisi.
3. Reflektor, berfungsi untuk memantulkan kembali neutron yang akan keluar dari teras.
4. Pendingin, berupa bahan untuk mengambil energi panas di teras reaktor.

5. Elemen Kendali, berfungsi menyerap neutron untuk mengatur jumlah reaksi fisi.
6. Perisai radiasi, berfungsi untuk mengungkung radiasi.

B. Reaktor Riset

Reaktor Riset merupakan reaktor yang memanfaatkan neutron hasil belah dan membuang panasnya ke lingkungan. Reaktor riset digunakan untuk kegiatan pendidikan dan pelatihan, penelitian bahan, produksi radioisotop dan uji material. Reaktor penelitian biasanya mempunyai daya termal dari beberapa watt sampai 50 MW^[3].

Pemanfaatan reaktor riset semakin banyak dirasakan oleh masyarakat, khususnya yang terkait dengan penyediaan radioisotop dan radiofarmaka yang bermanfaat di dunia kesehatan. Di Indonesia terdapat tiga reaktor riset yang hingga kini tetap beroperasi dengan baik, yakni Reaktor Kartini di Yogyakarta, Reaktor TRIGA 2000 di Bandung dan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy di Serpong.

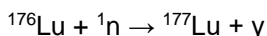


Gambar 3. Diagram Reaktor Riset^[3]

C. Lutesium-177

Rasioisotop Lutesium-177 (${}^{177}\text{Lu}$) merupakan salah satu radioisotop yang efektif untuk terapi kanker^[4]. Sifat

menguntungkan dari radioisotop Lutesium-177 (^{177}Lu) adalah memiliki waktu paruh yaitu 6,7 hari, memancarkan sinar gamma (γ) dengan energy 72 keV, 208 keV, 249 keV, 321 keV dan sebagai pemancar sinar beta (β) dengan energy 497 keV, 384 keV, 175 keV^[5]. Sifat tersebut menjadi bahan pertimbangan dalam memilih radioisotop ^{177}Lu untuk tujuan terapi^[6]. Pembuatan radioisotop ^{177}Lu dapat dilakukan dengan menggunakan sasaran $^{176}\text{Lu}_2\text{O}_3$. Kelimpahan isotope sebesar 2,6% dan penampang sebesar 2100 barn yang dimiliki $^{176}\text{Lu}_2\text{O}_3$ alam, memberikan kemungkinan diperoleh radioisotop ^{177}Lu . Produksi lutesium dengancara ini disebut dengan produksi langsung^[7]. Radioisotop ^{177}Lu ini dapat diproduksi dengan cara mengiradiasi target $^{176}\text{Lu}_2\text{O}_3$ di teras reaktor RSG-GAS. Reaksi yang terjadi ketika $^{176}\text{Lu}_2\text{O}_3$ ditembak dengan neutron adalah sebagai berikut:



Produksi lutesium juga bisa dilakukan dengan produksi tak langsung, yaitu dengan dengan mengiradiasi ^{177}Yb . Dua metode ini masing-masing memiliki kelebihan.

Iradiasi target $^{176}\text{Lu}_2\text{O}_3$ di *central irradiation position* (CIP) teras reaktor menimbulkan tambahan reaktivitas positif 0,02% dk/k. Nilai tersebut jauh lebih kecil daripada nilai reaktivitas yang diijinkan untuk target tunggal bergerak sebesar 0,5% dk/k^[8].

D. Program GENGTC (*Generalized Gap Temperature Calculator*)

Program GENGTC merupakan paket program yang berupa *source code* yang dapat menghitung profil suhu kapsul satu dimensi dari pusat target sampai dinding terluar dari kapsul

selama iradiasi. Program GENGTC yang dibuat oleh *Oak Ridge National Laboratory* ini dapat menghitung perpindahan panas secara konduksi dan radiasi dalam arah radial. Program GENGTC yang digunakan di PRSG merupakan program yang telah diketik ulang sehingga bisa dibaca oleh program BASIC versi lain dan memberikan keluaran program yang sama dengan Lampiran A dokumen ORNL-TM-1942, sehingga program GENGTC telah tervalidasi. 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^[9].

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan untuk analisis perpindahan panas target Lu_2O_3 ini antara lain laptop 32 Bit, program komputer BASIC serta program GENGTC. Analisis ini dimulai dengan studi literatur tentang target Lutesium dan Fasilitas Iradiasi CIP yang dimiliki RSG-GAS, kemudian dilanjutkan dengan penyiapan data input untuk perhitungan yang dilakukan menggunakan paket program komputer GENGTC. Data parameter input yang digunakan untuk perhitungan perpindahan panas target Lu_2O_3 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Input Perhitungan Perpindahan Panas Lu_2O_3

| | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Massa Lu_2O_3 | : 0,3 mg |
| Pengayaan | : 74% Lu-176 |
| Di ampul (kuarsa) | : 6 mm, R : 3 mm = 0,11811 inc |
| Do ampul (kuarsa) | : 8 mm, R : 4 mm = 0,15748 inc |

| | | |
|--------------------------------------------|---|------------------------------------------------|
| Tebal ampul | : | 0,8-1 mm |
| L ampul | : | 40 mm |
| R Aluminium setelah kuarsa | : | 8 mm = 0,314961 inc |
| Di Inner Kapsul | : | 23 mm, R : 11,5 mm = 0,4527559 inc = 0,453 inc |
| Do Inner Kapsul | : | 25 mm, R : 12,5 mm = 0,492126 inc |
| L Inner kapsul | : | 210 mm |
| Di Outer kapsul | : | 27 mm, R : 13,5 mm = 0,5314961 inc |
| Do Outer kapsul | : | 29 mm, R : 14,5 mm = 0,5708661 inc |
| L Outer kapsul | : | 470 mm |
| Data Fisika | | |
| Panas gamma Lu ₂ O ₃ | : | 3.31 w/gr |
| Koefisien konduksi panas | : | 16,4 W/m.K |
| Massa jenis Lu ₂ O ₃ | : | 9,42 g/cm ³ |
| Melting point | : | 2487 °C |
| Boiling point | : | 3980 °C |

Paket program GENGTC digunakan untuk menghitung perpindahan panas secara konduksi dan radiasi dalam arah radial. Kemudian hasil perhitungan tersebut dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk menganalisis apakah iradiasi target Lutesium di RSG-GAS dapat dilaksanakan dengan aman, baik bagi target, fasilitas reaktor maupun lingkungan

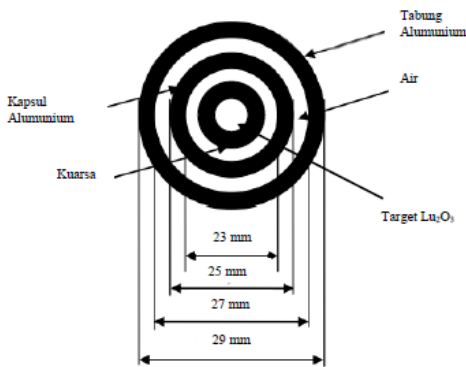
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan program GENGTC ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil Perhitungan Program GENGTC

| NODE | MAT. NO | COLD RADIUS (IN) | CALC RADIUS (IN) | TEMP. (C) |
|------|---------|------------------|------------------|-----------|
| 0 | 24 | 0,11811 | 0,11811 | 409,715 |
| 1 | 26 | 0,15748 | 0,1589262 | 381,304 |
| 2 | 20 | 0,314961 | 0,3178534 | 380,754 |
| 3 | 3 | 0,453 | 0,4538188 | 100,198 |
| 4 | 20 | 0,492 | 0,4928893 | 100,086 |
| 5 | 23 | 0,5315 | 0,532459 | 100,086 |
| 6 | 20 | 0,571 | 0,5720303 | 99,944 |

Radioisotop Lutesium-177 diperoleh dari hasil iradiasi logam Lu₂O₃ yang mempunyai massa jenis 9,42 g/cm³, titik leleh 2487°C dan titik didih 3980°C. Target Lu₂O₃ dimasukkan ke dalam kapsul berlapis dengan susunan paling dalam adalah berisi target Lu₂O₃ yang dimasukkan ke dalam kapsul Kuarsa dengan ukuran diameter dalam 6 mm, diameter luar 8 mm dan tinggi 40 mm, lapisan berikutnya kapsul Aluminium ukuran diameter dalam 23 mm, diameter luar 25 mm dan tinggi 200 mm, di mana antara kapsul Kuarsa dan kapsul Aluminium diisi dengan gas He, kemudian lapisan luar adalah tabung Aluminium dengan ukuran diameter dalam 27 mm, diameter luar 29 mm dan tinggi 470 mm secara aksial terlihat seperti pada Gambar 4.5. Lutesium diasumsikan berbentuk pejal dan perpindahan panas hanya terjadi dalam arah radial.



Gambar 7. Susunan target dan kapsul

Panas gamma yang terbangkitkan pada target dan kapsul dibuang ke sistem pendingin reaktor agar kapsul target tidak mengalami kerusakan. Pembangkitan panas pada target dan perpindahan panas dari pusat target sampai dinding terluar kapsul selama iradiasi dapat dihitung dengan menggunakan paket program GENGTC (*Generalized Gap Temperature Calculator*). Program GENGTC menghitung perpindahan panas dari pusat target sampai dinding terluar secara konduksi dan radiasi dalam arah radial. Beberapa parameter penting yang menjadi input dalam program GENGTC yaitu:

- Laju aliran pendingin yang melewati target di dalam *stringer* (pengarah target) yaitu 3,1 m/detik dengan suhu 49 °C [10].
- 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.

Dari hasil *running* program GENGTC untuk Target Lu₂O₃ di atas terdapat 4 Tabel dan satu *statement*. Tabel pertama, terdapat tiga kolom

dengan judul kolom NODE, COLD RADIUS, dan MATERIAL NO. NODE adalah kolom yang berisi nomor *node*. COLD RADIUS adalah data jari-jari yang dimasukkan. MATERIAL NO adalah nomor material tepat di sisi dalam *node* terkait. Node ke-0 mewakili material 24-Lutesium, *node* ke-1 material 26-kuarsa, *node* ke-2 material 20-Aluminium, *node* ke-3 material 3-Helium, *node* ke-4 material 20-Aluminium, *node* ke-5 material 23-air dan *node* ke-6 material 20-Aluminium.

Pada tabel kedua, terdapat tiga kolom dengan judul kolom NODE, CALC RADIUS, dan ACT RADIUS. NODE telah dijelaskan di tabel pertama. CALC RADIUS adalah jari-jari yang dihitung dari temperatur hasil perhitungan tanpa *restraint* terhadap lingkungan silinder. ACT RADIUS adalah jari-jari yang telah diatur sebesar 0,0005 inc pada kasus interferensi.

Tabel ketiga, terdapat tiga kolom dengan judul kolom NODE, TEMPERATURE F, dan TEMPERATURE C, merupakan data profil suhu dari target sampai ke dinding terluar. Tabel keempat, terdapat empat kolom dengan judul kolom NODE, POWER, Q/A dan CONDUCTIVITY, POWER adalah total dalam B./hr, termasuk fisi dan gama, dikembangkan dalam hubungan dengan jari-jari *node* untuk satu kapsul. Q/A adalah beban panas permukaan, B/hr.ft², melewati permukaan silinder dalam hubungan dengan jari-jari *node*. CONDUCTIVITY adalah konduktivitas dalam satuan B/hr. Ft² °F dari material di sisi dalam *node* terkait sebagai hasil akhir perhitungan. Dan *statement* terakhir merupakan temperatur di pusat silinder material *solid* dalam satuan °F dan °C.

Dari hasil *running* program GENGTC tersebut kita mengetahui suhu dalam arah radial sebagai berikut :

- Suhu pusat target (*Center*) : 412,7929 °C
- Suhu dinding dalam kuarsa (*node 0*) : 409,7152 °C
- Suhu dinding luar kuarsa (*node 1*) : 381,3039 °C
- Suhu dinding luar serpihan Aluminium (*node 2*) : 380,7540 °C
- Suhu dinding dalam Aluminium inner (*node 3*) : 100,1984 °C
- Suhu dinding luar Aluminium inner (*node 4*) : 100,0863 °C
- Suhu dinding dalam Aluminium Outer (*node 5*) : 100,0863 °C
- Suhu dinding luar Aluminium Outer (*node 6*) : 99,9449 °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 Lu_2O_3 juga belum meleleh (titik leleh $\text{Lu}_2\text{O}_3 \approx$ 2487 °C).

KESIMPULAN

Hasil perhitungan program GENGTC menunjukkan bahwa suhu pada pusat target maupun suhu pada kapsul lebih kecil daripada titik lelehnya sehingga dapat disimpulkan bahwa integritas target dan kapsul tetap terjaga selama diiradiasi di teras Reaktor RSG-GAS.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak PRSG BATAN Serpong yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian, dan juga kepada Jurusan Fisika Universitas Jenderal Soedirman melalui kerjasama praktik kerja lapangan bagi mahasiswanya. ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PRSG, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS" Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2020.
- [2] A. Abdul Azis Rohman Hakim and A. AM Mariatmo, "EVALUASI PELAKSANAAN IRADIASI SAMPEL DI RSG-GAS PADA TERAS 51 SAMPAI TERAS 60," Buletin" Reaktor", 2010.
- [3] I. Kuntoro, Keselamatan Reaktor Nuklir Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy. Jakarta: BATAN Press, 2018.
- [4] R. Awaluddin, "PERHITUNGAN PEMBUATAN LUTESIUM-177 UNTUK PARTIKEL NANO RADIOAKTIF MENGGUNAKAN REAKTOR GA SIWABESSY," Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka, vol. 13, 2014.
- [5] K. Kossert, O. J. Nöhle, O. Ott, and R. Dersch, "Activity determination and nuclear decay data of ^{177}Lu ," *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 70, pp. 2215-2221, 2012.
- [6] A. Dash, M. R. A. Pillai, and F. F. Knapp, "Production of ^{177}Lu for targeted radionuclide therapy: available options," *Nuclear medicine and molecular imaging*, vol. 49, pp. 85-107, 2015.
- [7] D. Setiawan, "Pembuatan Radioisotop Lutesium-177 (^{177}Lu) dari Lu_2O_3 Alam Menggunakan Reaktor Triga 2000," *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, vol. 6, pp. 1-13, 2005.
- [8] PRSG, "Laporan Analisis Keselamatan Iradiasi Lutesium Oksida (Lu_2O_3) di Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy," ed, 2021.
- [9] H. C. Roland, GENGTC, *A One Dimensional Ceir Computer Program For Capsule Temperature Calculation In Cylindrical Geometry*.

OAK RIDGE NATIONAL
LABORATORY, 1967.
[10] Sutrisno, "Analisis Irradiasi Target
Tulium di Reaktor Serba Guna G. A.

Siwabessy," in *Prosiding Seminar
Nasional Penelitian dan Pengelolaan
Perangkat Nuklir*, 2011.