

PERHITUNGAN LAJU TRANSMUTASI AKTINIDA MINOR PADA REAKTOR TRIGA YANG DIKOPEL DENGAN AKSELERATOR

Maman Mulyaman, Silakhuddin dan Suharno

P2SRM – BATAN

ABSTRAK

PERHITUNGAN LAJU TRANSMUTASI AKTINIDA MINOR PADA REAKTOR TRIGA YANG DIKOPEL DENGAN AKSELERATOR. Penanganan limbah radioaktif merupakan problema yang sangat serius mengingat dengan semakin meningkatnya limbah radioaktif dari tahun ke tahun yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Salah satu cara untuk menangani masalah limbah radioaktif adalah dengan cara mentransmutasinya dalam suatu reaktor yang dikendalikan oleh akselerator. Dalam makalah ini dibahas tentang penanganan limbah radioaktif dari unsur ^{237}Np dan ^{239}Pu dengan cara transmudasi pada teras reaktor TRIGA yang dikopel dengan akselerator. Hasil perhitungan dengan menggunakan program komputer MCNPX dan ORIGEN2.1 memperlihatkan besar laju transmudasi untuk unsur ^{237}Np dan ^{239}Pu adalah $1,36 \times 10^5$ g dan $6,23 \times 10^4$ g dalam jangka waktu 600 hari.

ABSTRACT

CALCULATION OF MINOR ACTINIDE TRANSMUTATION RATE IN A TRIGA REACTOR COUPLED WITH AN ACCELERATOR. The handling of radioactive waste is a very serious problem to attend to since the amount of waste produced by nuclear power plants is always increasing through the years. One of the methods to solve the radioactive waste problem is through the transmutation process using a reactor that is controlled by an accelerator. This paper discusses the transmutation of the elements ^{237}Np and ^{239}Pu , utilizing a TRIGA reactor that is coupled with an accelerator. The results of the calculation using computer codes MCNPX and ORIGEN 2.1 showed that the amount of transmuted ^{237}Np and ^{239}Pu within 600 days were 1.36×10^5 g and 6.23×10^4 g, respectively

PENDAHULUAN

Dewasa ini penanganan limbah radioaktif merupakan problema yang sangat serius mengingat semakin meningkatnya limbah radioaktif dari tahun ke tahun yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Penanganan limbah radioaktif yang dilakukan sampai sekarang adalah dengan cara menimbunnya di suatu tempat tertentu dengan kedalaman tertentu. Namun hal ini belum menyelesaikan permasalahan secara menyeluruh, karena limbah radioaktif bisa berinteraksi dengan beton atau air tanah, yang pada akhirnya juga akan membahayakan bagi lingkungan disekitarnya.

Untuk mengatasi problema tersebut di atas, selain dengan menimbun di suatu tempat tertentu yang aman, juga dilakukan dengan cara mentransmutasi limbah radioaktif berwaktu paruh panjang menjadi limbah radioaktif berwaktu paruh pendek dan limbah radioaktif yang tidak stabil menjadi limbah radioaktif yang stabil. Transmutasi limbah radioaktif dapat

dilakukan pada suatu teras reaktor dalam kondisi subkritis ($k_{\text{eff}} < 1$). Untuk mempertahankan reaktor berada dalam kondisi subkritis, reaktor tidak bisa dikendalikan oleh batang kendali tetapi harus dikendalikan oleh akselerator. Sistem transmudasi limbah radioaktif ini dikenal dengan nama Accelerator Driven System (ADS).

Pada makalah ini akan dibahas penghitungan laju transmudasi aktinida minor (MA) berupa paduan ^{237}Np , ^{239}Pu , dan $^{92}\text{Zr}^{1)}$ dengan menggunakan reaktor TRIGA yang dikopel dengan akselerator (ADS). Program komputer yang digunakan dalam perhitungan ini adalah MCNPX²⁾ dan ORIGEN2.1³⁾.

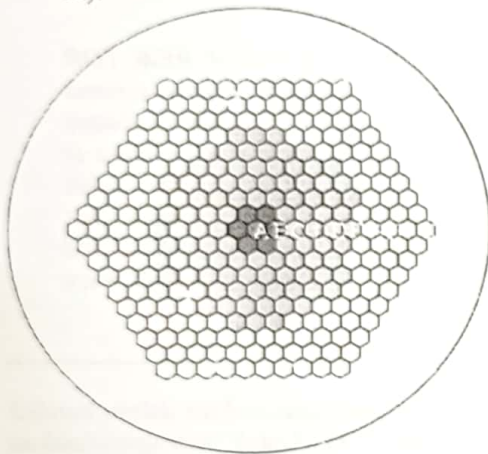
DESKRIPSI SISTEM

Akselerator berfungsi mengalirkan proton dengan energi > 500 MeV melalui *beam window* secara terus menerus ke pusat teras TRIGA. Proton yang dialirkan oleh akselerator tersebut menumbuk target yang dibuat dari tungsten sehingga terjadi reaksi spallasi dan menghasilkan neutron sumber. Neutron hasil reaksi spallasi

merupakan neutron yang akan digunakan untuk mentransmutasi limbah radioaktif.

a. Teras reaktor ⁴⁾

Teras reaktor TRIGA yang dimodelkan dalam geometri tiga dimensi diperlihatkan pada Gambar 1a dan 1b sedangkan deskripsinya diperlihatkan pada Tabel 1. Teras reaktor mempunyai konfigurasi berbentuk heksagonal dengan diameter 67,9 cm yang tersusun dari kisi-kisi sebanyak 271 kisi yang juga berbentuk heksagonal dengan diameter 4,2 cm. Kisi-kisi tersebut diisi oleh bahan bakar atau yang lainnya seperti target dan pendingin. Bahan bakar disusun pada ring C, D, E, F dan G yang masing-masing diisi bahan bakar sebanyak 12, 18, 24, 30 dan 16 batang (diperlihatkan pada gambar 1a).



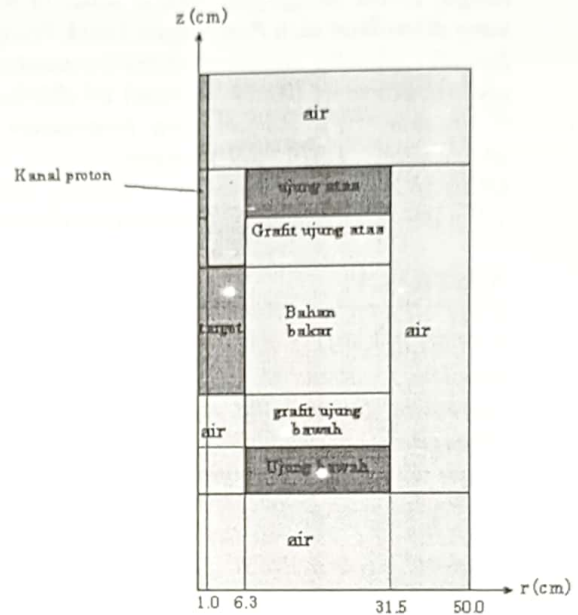
- target
- bahan bakar
- air

Gambar 1a. Pemodelan teras TRIGA yang dikopel dengan akselerator (tampak atas)

b. Bahan Bakar

Bahan bakar pada reaktor tranmutasi limbah radioaktif merupakan limbah radioaktif yang akan ditransmutasi, baik berupa limbah radioaktif yang mempunyai waktu paruh panjang maupun limbah radioaktif yang tidak stabil. Pada makalah ini bahan bakar yang digunakan adalah merupakan paduan antara Zirkonium, Plutonium, dan Neptunium, dengan besar perbandingan kandungan bahan sebagai berikut : ²³⁷Np = 58%, ²³⁹Pu = 22%, dan ⁹²Zr = 20%.

Geometri elemen bakar berupa silinder dengan kelongsong terbuat dari bahan stainless steel (SUS-304). Panjang total elemen bakar adalah 71,8 cm dengan diameter 3,75 cm. Panjang bahan bakar aktifnya adalah 38.1 cm dengan diameter dalam 0,46 cm dan diameter luar 3,56 cm, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Pada pusat bahan bakar dengan diameter 0,46 cm diisi batang Zirkonium. Deskripsi dari bahan bakar diperlihatkan pada Tabel 1.



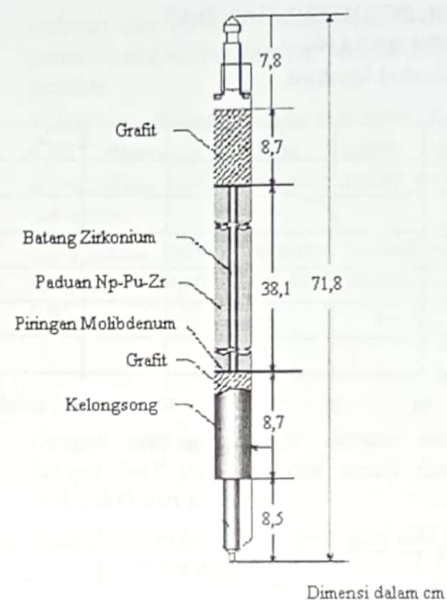
Gambar 1b. Pemodelan teras reaktor (tampak samping)

c. Target

Fungsi dari target adalah sebagai penghasil neutron sumber melalui reaksi spallasi, yaitu reaksi yang diakibatkan oleh tumbukan antara proton berkecepatan tinggi dengan target sehingga menghasilkan neutron. Target biasanya dibuat dari unsur berat, karena semakin berat unsur tersebut semakin banyak menghasilkan neutron. Dalam perhitungan ini digunakan target yang dibuat dari Tungsten dengan geometri berbentuk haksagonal berdiameter 4,2 cm atau sama dengan kisi dari teras TRIGA. Untuk menghindari terjadinya penumpukan panas pada target, maka pada target dibuatkan kanal dari atas ke bawah yang berfungsi untuk mengalirkan pendingin. Perbandingan antara unsur berat dan air yang terkandung pada target adalah 80% : 20%. Deskripsi target juga dapat dilihat pada Tabel 1.

d. Program Komputer

Program komputer yang digunakan pada perhitungan laju transmudasi aktinida minor pada reaktor TRIGA yang dikopel dengan akselerator adalah MCNPX dan ORIGEN2.1. Program komputer MCNPX digunakan untuk menghitung jumlah neutron yang dihasilkan oleh reaksi spallasi antara proton dengan target, jumlah dan posisi bahan bakar yang diperlukan agar reaktor mencapai faktor multiplikasi 0,95, dan fluks neutron. Program komputer ORIGEN2.1 digunakan untuk menghitung kemampuan reaktor melakukan transmudasi ^{237}Np dan ^{239}Pu burn-up setelah reaktor beroperasi 150, 300, 450, dan 600 hari.



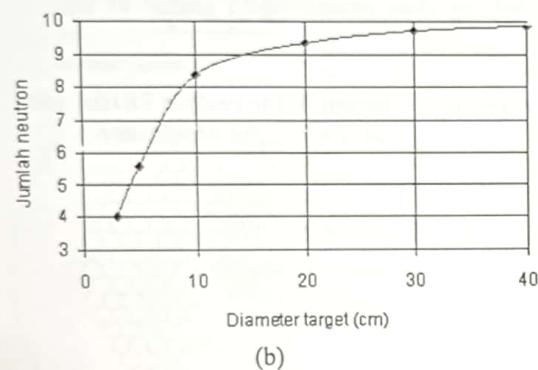
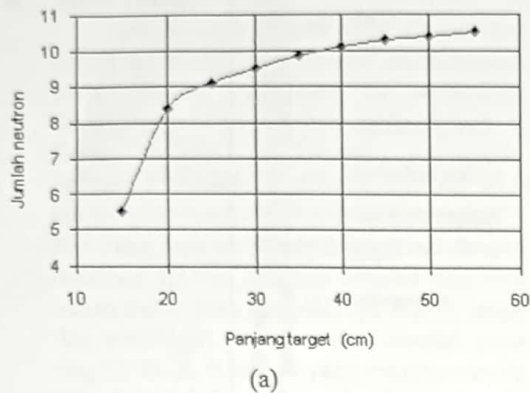
Gambar 2. Bahan bakar reaktor TRIGA yang dikopel dengan akselerator.

Tabel 1. Deskripsi teras TRIGA yang dikopel dengan akselerator.

Komponen	Dimensi	Material
Elemen bahan bakar		
Diameter luar (cm)	3,75	
Panjang (cm)	71,8	
Material bahan bakar		Paduan Np-Pu-Zr, dengan:
Diameter dalam (cm)	0,46	$^{237}\text{Np} = 58\%$
Diameter luar (cm)	3,56	$^{239}\text{Pu} = 22\%$
Panjang (cm)	38,1	$^{92}\text{Zr} = 20\%$
Batang zirconium		Zr
Diameter (cm)	0,46	
Panjang (cm)	38,1	
Celah (<i>gap</i>)		He
Diameter dalam (cm)	3,56	
Diameter luar (cm)	3,65	
Kelongsong (<i>cladding</i>)		SUS-304
Diameter dalam (cm)	3,65	
Diameter luar (cm)	3,75	
Grafit bagian atas dan bawah		grafit
Panjang (cm)	8,7	
Target		Tungsten dan H ₂ O
Diameter heksagonal (cm)	4,6	
panjang (cm)	38,1	
kandungan air dalam target (%)	20	
Diameter pipa berkas proton (cm)	2	
Energi proton (MeV)	500	
Daya reaktor (MW)	0,3	

HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

a. Reaksi Spallasi



Gambar 3 (a). Jumlah neutron sebagai fungsi dari panjang target
(b). Jumlah neutron sebagai fungsi dari diameter target.

Hasil perhitungan dengan menggunakan program komputer MCNPX memperlihatkan jumlah neutron yang dihasilkan oleh reaksi spallasi antara proton dengan energi 500 MeV dengan target tungsten. Gambar 3a dan Gambar 3b memperlihatkan kenaikan diameter dan panjang target menyebabkan kenaikan jumlah neutron yang dihasilkan oleh reaksi spallasi. Jumlah neutron sekitar 10 neutron per proton dicapai pada diameter dan panjang target sekitar 12 cm dan 38 cm.

b. Jumlah Bahan Bakar

Berdasarkan hasil perhitungan dengan MCNPX, untuk mencapai faktor multiplikasi sekitar 0,95, jumlah bahan bakar yang diperlukan sebanyak 100 batang bahan bakar dengan posisi pada teras seperti diperlihatkan pada Gambar 1a. Jumlah material bahan bakar yang dikandung oleh

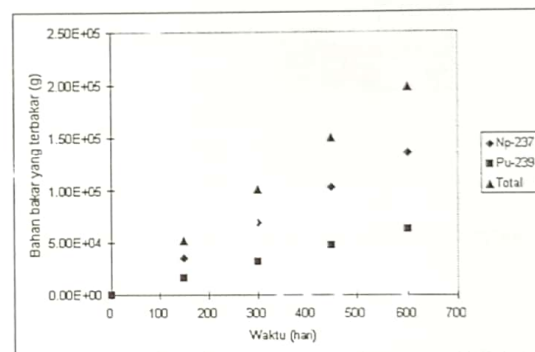
100 batang bahan bakar adalah $^{237}\text{Np} = 211701,80 \text{ g}$, $^{239}\text{Pu} = 800300,68 \text{ g}$, dan $^{92}\text{Zr} = 73000,62 \text{ g}$. Untuk mempertahankan faktor multiplikasi 0,95, pada teras reaktor harus dialirkan proton dengan energi 500 MeV.

c. Beam Power

Dari perhitungan MCNPX didapatkan hasil sebagai berikut: Untuk satu kali penembakan proton dengan energi 500 MeV diperoleh reaksi fisi sebanyak 55,2 kali dengan daya reaktor 300 kW. Dari data tersebut di atas maka diperoleh besarnya beam power adalah $1,36 \times 10^{-2} \text{ MWb}$ dan arus yang dibutuhkan adalah $27,2 \mu\text{A}$.

d. Transmutasi

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan program komputer ORIGEN2.1 kemampuan reaktor menstransmutasi ^{237}Np dan ^{239}Pu diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kemampuan reaktor mentransmutasi ^{237}Np dan ^{239}Pu terhadap lamanya reaktor beroperasi.

Dari Gambar 4 diperoleh bahwa reaktor TRIGA dengan daya 300 kW apabila dikopel dengan akselerator dengan energi proton 500 MeV dan beam power $1,36 \times 10^{-2} \text{ MWb}$, mampu menstransmutasi ^{237}Np sebesar $1,36 \times 10^5 \text{ g}$ dan ^{239}Pu sebesar $6,23 \times 10^4 \text{ g}$.

KESIMPULAN

Dari hasil penghitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa reaktor TRIGA yang dikopel dengan ADS dengan partikel penembaknya proton berenergi 500 MeV, mampu mentransmutasi ^{237}Np sebesar $1,36 \times 10^5 \text{ g}$ dan ^{239}Pu sebesar $6,23 \times 10^4 \text{ g}$ dalam waktu 600 hari.

DAFTAR PUSTAKA

1. H.Rief, "ACCELERATOR DRIVEN SYSTEM-SOME SAFETY AND FUEL CYCLE CONSIDERATION", NATO Advanced Research Workshop on Advanced Nuclear System, Russia, 1996
2. Laurie S. Waters, "MCNPX USER'S MANUAL", Version 2.3.0, LA-UR-02-2607, 2002
3. A.G. Croff, "USER MANUAL FOR THE ORIGEN2.1 COMPUTER CODE", Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 1980.
4. M. Ravnik, "DESCRIPTION OF TRIGA REACTOR", Journal of Nuclear Technology, Volume 105, 1994.

TANYA JAWAB

Putu Sukma Buana

- *Apa bedanya MCNPX dibanding MCNP4 atau MCNP5?*
- *Apakah dihitung hingga kritis?*
- *Bagaimana dengan posisi atau konfigurasi bahan bakarnya? Apakah diubah-ubah sehingga didapatkan optimasi?*

Maman Mulyaman

- Kalau MCNP4 atau MCNP5 hanya menggunakan 3 partikel, yaitu neutron,

elektron dan photon. Sedangkan MCNPX partikel yang bisa digunakan sampai 36 jenis partikel.

- Tidak, tapi dihitung sampai sub kritis, $K_{eff} \sim 0,95$ alasannya karena reaktor yang dikendalikan oleh akselerator adalah reaktor sub kritis.
- Konfigurasi bahan bakarnya diubah-ubah, sampai mendapat faktor multiplikasi $K_{eff} \sim 0,95$.

Nusin Samosir

- *Dengan alat akselerator dengan energi berapa MeV yang dipakai untuk jangka waktu 600 hari tersebut?*
- *Apakah masih bisa dipercepat dari 600 hari dengan energi yang lebih tinggi?*

Maman Mulyaman

- Akselerator yang digunakan adalah akselerator proton dengan energi 500 MeV.
- Bisa, yaitu dengan cara menaikkan energi proton. Karena dengan menaikkan energi proton, jumlah neutron yang dihasilkan oleh reaksi spallasi antara proton dengan target meningkat. Sehingga hal ini akan meningkatkan laju transmudasi.