

Power Flattening Desain Reaktor GFR Berbasis Bahan Bakar Uranium Plutonium Nitride (U, Pu)N

Sari Novalianda

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar
Jl. Pintu Air IV No. 214, Kwala Bekala, Medan
sari_novalianda@yahoo.com

Abstrak

Pada penelitian ini desain reaktor GFR 500 MWt berbasis bahan bakar uranium plutonium nitride (U,Pu)N beroperasi selama 10 tahun tanpa pengisian ulang bahan bakar. Sel bahan bakar yang digunakan adalah uranium alam dengan penambahan Plutonium 5,5%. Proses power flattening teras reaktor dilakukan dengan mengatur arah radial tiga region fraksi volume bahan bakar yaitu 55%, 60% dan 65%. Nilai Average power density teras reaktor yang dimodifikasi adalah 28,46 Watt/cc dan power peaking factor menurun dari 2,25 menjadi 1,98.

Kata Kunci : Flattening, GFR, Teras, Bahan Bakar

I. PENDAHULUAN

Riset dan inovasi desain reaktor nuklir untuk pemanfaatan energi di masa mendatang semakin berkembang pesat. Hal ini dikarenakan energi nuklir merupakan salah satu pilihan dalam mengatasi keterbatasan energi fosil yang ada.

Perkembangan reaktor nuklir beberapa tahun terakhir ini pada reaktor generasi IV yang merupakan pengembangan dari reaktor generasi sebelumnya. Reaktor generasi IV ini memiliki banyak kelebihan diantaranya, siklus bahan bakar tertutup meminimalisir limbah dan penggunaan sumber daya alam, sistem keselamatan berlapis (*inherent safety*). Salah satu jenis reaktor generasi ke-IV adalah reaktor cepat berpendingin helium (*gas-cooled fast reactor-GFR*).

Gas-cooled Fast Reactor (GFR) adalah reaktor cepat Generasi IV yang sedang dalam tahap pengembangan dan baru akan beroperasi setelah tahun 2030. Fitur GFR berupa pendingin helium dengan siklus bahan bakar tertutup. Temperatur outlet yang tinggi dari pendingin helium memungkinkan untuk menghasilkan listrik hidrogen atau proses panas lain dengan efisiensi tinggi [5].

Aspek terpenting dalam mendesain suatu reaktor nuklir adalah aspek neutronik yaitu perilaku neutron dalam teras [8].

Proses tempat terjadinya pembakaran bahan bakar pada reaktor disebut teras reaktor. Teras merupakan tempat terjadi reaksi fisi yang terdiri dari ratusan *assembly*. Dimana *assembly* ini tersusun dari sekumpulan *fuel cell* (sel bahan bakar) yang merupakan bagian terkecil dari teras reaktor. Pengaturan letak atau posisi bahan bakar di dalam teras reaktor memegang peranan penting untuk menghasilkan perhitungan desain reaktor sesuai dengan yang diharapkan [6].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Reaktor nuklir memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan pembangkit listrik konvensional lainnya. Letak perbedaan utamanya terdapat pada sumber energi dan jenis bahan bakar yang digunakan. Pada sumber energi pembangkit listrik konvensional berasal dari proses pembakaran bahan bakar fosil, sedangkan sumber energi reaktor nuklir berasal dari reaksi fisi dengan menggunakan bahan bakar nuklir [5].

Bahan bakar nuklir terbagi atas dua yaitu bahan bakar fisil dan bahan bakar fertil. Bahan bakar fisil adalah atom/unsur yang mudah membelah sehingga mudah menangkap neutron, contohnya uranium-235 dan plutonium-239. Sedangkan bahan fertil adalah atom/unsur yang tidak dapat membelah tetapi bisa menjadi bahan fisil dengan reaksi penangkapan neutron, contohnya uranium-238, plutonium-240, dan sebagainya [1,5,6].

Penggunaan uranium sebagai bahan bakar PLTN selain menghasilkan tenaga listrik juga akan menghasilkan limbah nuklir diakhir operasinya [8]. Dari berbagai jenis limbah nuklir yang dihasilkan tersebut, terdapat limbah yang memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan bakar pada reaktor lainnya, yaitu Plutonium (Pu) [5].

Selain bahan fisil dan fertil, bahan bakar reaktor juga dapat berupa campuran dari beberapa aktinida, seperti penggunaan nitride. Nitride memiliki titik leleh tinggi sekitar 2500°C dan konduktivitas termal tinggi, sehingga diperoleh perbedaan temperatur yang relatif rendah antara titik pusat pin bahan bakar dengan bahan pendingin. Bahan bakar nitride juga sangat fleksibel untuk sejumlah kinerja reaktor cepat seperti tingkat rasio pembiakan yang cukup tinggi, pembakaran aktinida, dan juga untuk waktu operasi teras yang cukup lama [3].

Populasi neutron selama reaktor beroperasi akan berpengaruh pada komposisi bahan bakar yang berubah-ubah. Permasalahan komposisi bahan bakar

ini diselesaikan dengan menggunakan *Burnup*. *Burnup* diartikan sebagai total energi yang dilepaskan per unit massa bahan bakar sebagai hasil pembakaran bahan bakar [5]. Selama proses *burnup*, densitas setiap atom akan berubah sesuai dengan waktu *burnup*nya.

Sedangkan ditingkat teras reaktor keadaan neutron diselesaikan dengan menggunakan persamaan difusi multigroup [5]:

$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial \phi_g(\vec{r}, t)}{\partial t} - \nabla \cdot D_g(\vec{r}) \nabla \phi_g(\vec{r}, t) + \Sigma_{tg}(\vec{r}) \phi_g(\vec{r}, t) = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{sgg'}(\vec{r}) \phi_{g'}(\vec{r}, t) + \frac{\chi_g}{k_{eff}} \sum_{g'=1}^G v_{g'} \Sigma_{fg'}(\vec{r}) \phi_{g'}(\vec{r}, t) \quad (1)$$

Persamaan (1) menggambarkan perilaku neutron yang meliputi populasi, distribusi, energi, kecepatan, kerapatan dan fluks neutron rata-rata pada tiap-tiap tingkatan energi.

III. METODE PENELITIAN

Analisis perhitungan neutronik pada penelitian ini menggunakan seperangkat program *Standard Reactor Analysis Code* (SRAC) yang dikembangkan oleh *Japan Atomic Energy Agency* (JAEA) [2].

Perhitungan sel bahan bakar pada SRAC dilakukan dengan menggunakan modul PIJ yang mengadopsi metode probabilitas tumbukan (*Collision Probability Method – CPM*) yang bertujuan untuk mengetahui *performance* satu sel bahan bakar selama waktu *burnup*nya.

Perhitungan teras reaktor dilakukan dengan menggunakan kode *Multi-Dimensional Diffusion Calculation* (CITATION) yang ada di SRAC.

Salah satu cara untuk meningkatkan *performance* sel bahan adalah dengan menambahkan bahan bakar baru guna mengurangi proses pengayaan pada uranium, yaitu dengan memanfaatkan kembali limbah plutonium sebagai sisa operasi reaktor lainnya.

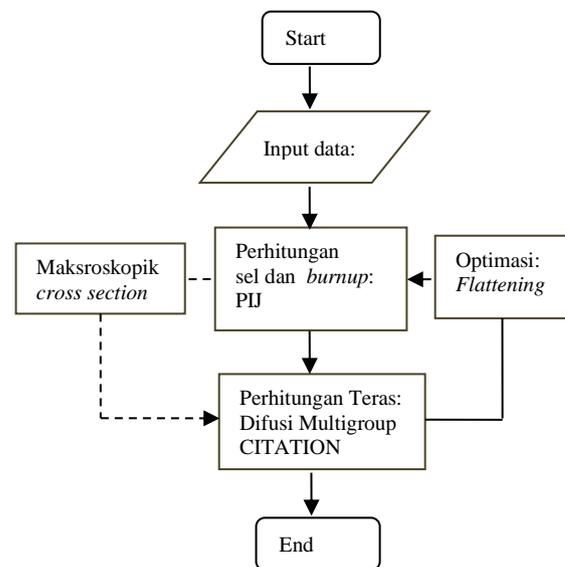
Di tingkat teras reaktor optimasi dilakukan dengan cara *power flattening* yaitu dengan mengatur distribusi daya agar merata. Caranya adalah dengan membagi teras reaktor menjadi beberapa bagian/zona dan diisi dengan sel bahan bakar yang memiliki fraksi volume bahan bakar yang berbeda ditiap bagiannya.

Parameter desain GFR yang akan dirancang dapat dilihat pada Tabel 1.

Diagram alur penelitian reaktor GRF berbasis (U, Pu)N dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Parameter Desain GFR

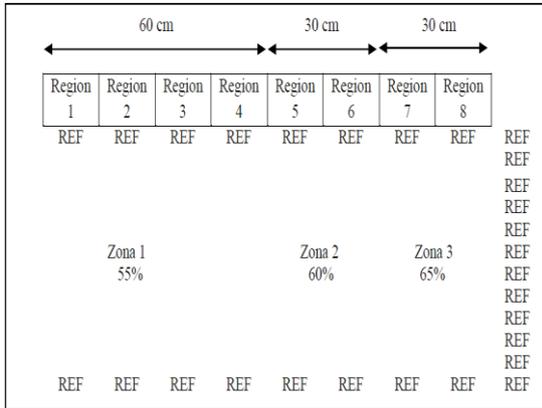
No	Parameter	Spesifikasi
1	Daya Reaktor	500 MWt
2	Average power density	75 Watt/cm ³
3	Material Bahan Bakar	Uranium Plutonium Nitride (U Pu)N
4	Material Cladding	<i>Stainless Steel</i> (SS316)
5	Material Pendingin	Helium
6	Fraksi Volume, <i>Fuel:Cladding:Coolant</i>	55%: 10%: 35% 60%: 10%: 30% 65%: 10%: 25%
7	Diameter <i>pitch</i>	1,4 cm
8	Ukuran teras aktif (diameter x tinggi)	240 cm x 350 cm
9	Lebar reflektor	100 cm
10	Periode <i>refueling</i>	10 tahun



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaturan distribusi daya tentunya tidak lepas dari pengaturan komposisi sel bahan bakar yang akan disusun di teras reaktor. Pengaturan sel bahan bakar GFR berbasis (U, Pu)N dengan menggunakan uranium alam ditambahkan Pu 5,5% terdiri dari tiga fraksi volume bahan bakar yaitu 55%, 60% dan 65%. Sel bahan bakar tersebut disusun di teras reaktor dengan menempatkan fraksi volume bahan bakar terkecil (55%) diletakkan di dekat inti teras (zona 1) karena letaknya dekat inti teras maka memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan bagian lainnya. Selanjutnya teras diisi dengan fraksi bahan bakar 60% (zona 2) dan di dekat reflektor disusun fraksi volume bahan bakar paling besar yaitu 65% (zona 3) karena letaknya jauh dari inti teras reaktor. Perbedaan letak penyusunan sel bahan bakar di teras reaktor yang ditunjukkan pada Gambar 2.

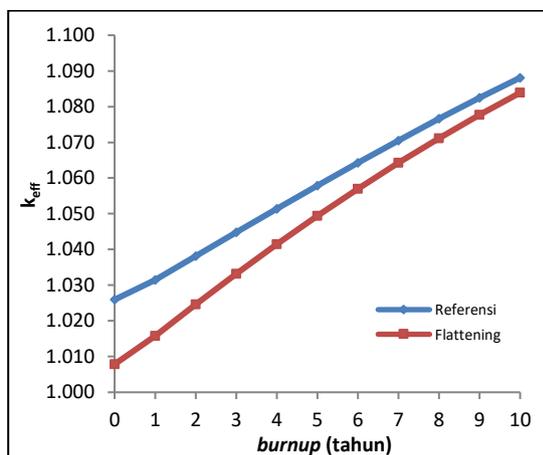


Gambar 2. Penyusunan Sel Bahan Bakar di Teras GFR berbasis (U, Pu)N.

Optimasi dilakukan pada desain reaktor berbasis (U, Pu)N dengan penambahan Pu 5,5% dengan fraksi bahan bakarnya sebesar 65 % sebagai “Teras referensi”, kemudian dilakukan proses pemerataan daya (*power flattening*) dengan mengubah fraksi sel bahan bakar menjadi 55%, 60% dan 65% disebut selanjutnya sebagai “Teras Flattening”.

Perubahan nilai k_{eff} untuk teras referensi dengan *flattening* ditunjukkan pada Gambar 3. Pada teras referensi nilai k_{eff} sebesar 1,025, kemudian setelah dilakukan *flattening* nilai k_{eff} menjadi 1,007. Penurunan nilai k_{eff} pada teras *flattening* ini dikarenakan adanya pengaturan fraksi volume bahan bakar yang berbeda di tiap zonanya.

Rapat daya (*power density*) bersatuan watt/cc menyatakan besarnya daya yang dihasilkan persatuan volume di satu *mesh*. Sedangkan rapat daya rata-rata (*average power density*) adalah besaran yang menyatakan jumlah rapat daya yang dihasilkan diseluruh *mesh* dalam teras aktif dibagi jumlah total *mesh*. Besar daya maksimum yang dihasilkan reaktor dikenal sebagai *power peaking factor* yang merupakan perbandingan antara rapat daya maksimum dengan rapat daya rata-rata [4].



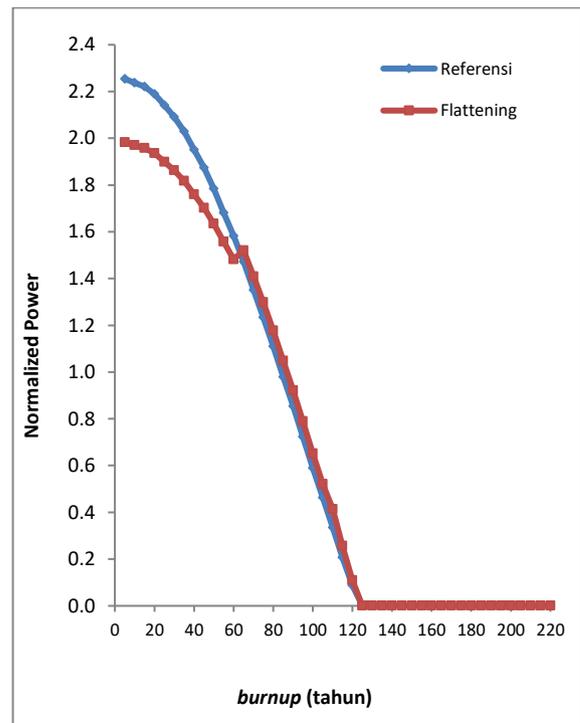
Gambar 3. Perubahan Faktor multiplikasi efektif terhadap waktu burnup pada teras referensi dan teras flattening.

Perbandingan hasil perhitungan untuk teras referensi dan *flattening* disajikan pada Tabel 2. berikut ini:

Tabel 2. Perbandingan hasil perhitungan teras referensi dan *flattening*

Kriteria	Teras Referensi	Teras Flattening
k_{eff}	1,025	1,007
Average power density (Watt/cc)	31,57	28,46
Maximum power density (Watt/cc)	499,74	450,46
Power peaking factor	1,61	1,52

Gambar 4 menunjukkan perbedaan distribusi daya arah radial untuk teras referensi dan *flattening*. Teras referensi disusun secara homogen, dimana tiap region di isi dengan volume bahan bakar yang sama yaitu 65% dengan jarak 15 cm tiap regionnya. Sedangkan untuk teras *flattening* arah radialnya dibagi atas tiga zona (Gambar 2) dengan jarak masing-masing adalah 60 cm, 30 cm dan 30 cm.



Gambar 4. Distribusi daya radial terhadap arah radial pada teras referensi dan teras flattening

Gambar 4 menunjukkan perubahan distribusi daya arah radial pada teras referensi dengan nilai 2,25 kemudian setelah dilakukan *power flattening* maka nilai *power peaking factor* turun menjadi 1,98.

IV. KESIMPULAN

Power flattening pada desain reaktor GFR 500 MWt berbasis bahan bakar (U, Pu)N beukuran kecil berumur panjang mencapai kondisi kritis dengan k_{eff} 1,007 selama 10 tahun tanpa pengisian bahan bakar. Pengurangan *power peaking factor* dilakukan dengan mengatur arah radial menjadi tiga fraksi volume bahan bakar yaitu 55%, 60% dan 65%. Nilai *Average power density* adalah 28,46 Watt/cc dan *power peaking factor* menurun dari 2,25 menjadi 1,98.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariani, Menik. Octavianus Cakra, Fiber Monado, Zaki Su'ud, and Hiroshi Sekimoto. *The Study Of Capability Natural Uranium As Fuel Cycle Input For Long Life Gas Cooled Fast Reactors With Helium As Coolant*. AIP Conference Proceedings 1719, 030038 (2016); DOI: 10.1063/1.4943733.
- [2] K.Okumura, et.al. SRAC2006: A *Comprehensive Neutronics Calculation Code System*, JAEA Data/Code 2007-004, *Reactor Physics Group*, Nuclear Science and Engineering Directorate< Japan Atomic Energy Agency (2007).
- [3] Lestari, M.A., Dian Fitriyani. *Pengaruh Bahan Bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX Terdapat Nilai Breeding Ratio pada Reaktor Pembalik Cepat*. Jurnal Fisika Unand Vol.3, No.1.Januari 2014. ISSN 2302-8491.
- [4] Monado, Fiber., Zaki Su'ud, Abdul Waris, Khairul Basar, Menik Ariani, and Hiroshi Sekimoto. *Power Flattening on Modified CANDLE sml long life Gas-cooled Fast Reactor*. AIP Conference Proceedings 1615, 472014; Doi: 10.1063/1.4895859.
- [5] Novalianda,Sari., Menik Ariani., Fiber Monado, Zaki Su'ud. *Neutronic Design Of Plutonium Uranium Fuel-Based Gas-Cooled Fast Reactor*. Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia 14 (2) (2018). DOI:10.15294/jpfi.v14i2.8259. p-ISSN 1693-1246. e-ISSN 2355-3812.
- [6] Novalianda. Sari., Dwiyanto, Menik Ariani, Zaki Su'ud. *Optimasi Desain Teras Gas-Cooled Fast Reactor (GFR) Uranium Nitride (UN) Dengan Plutonium*. Prosiding Seminar Nasional Royal (SENAR) 2018. p-ISSN 2622-998. e-2622-6510.
- [7] Troyanov, V.M. A.F Grachev, L.M .Zabud'ko, and M.V.Skupov, 2014, *Atomic Energy*, Vol.117. No.2, December, 2014.
- [8] Zaki Su'ud and Hiroshi Sekimoto. *The Prospect of Gas-cooled Fast Reactors For Long Life Reactors With Natural Uranium As Fuel Cycle Input*. Annals of Nuclear Energy 54:58–66 · April 2013