

Efek Penambahan Plutonium pada Sel Bahan Bakar MOX terhadap Performa Reaktor GFR 250MWth

Muhammad Aldi Kurniawan¹, Menik Ariani^{2*}, Fiber Monado², Akmal Johan², Hadir Kaban²

¹ Program Studi S2 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya, Jl. Padang Selasa No.524, Bukit Lama, Palembang, Sumatera Selatan 30139 Indonesia

² Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM. 32 Ogan Ilir, Sumatra Selatan 30862 Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 15 Desember 2024

Direvisi: 10 Februari 2025

Diterima: 11 Maret 2025

Kata kunci:

GFR

Oksida Campuran

OpenMC

Plutonium

Keywords:

GFR

Mixed Oxide

OpenMC

Plutonium

Penulis Korespondensi:

Menik Ariani

Email: menikariani@unsri.ac.id

ABSTRAK

Reaktor tipe cepat yang beroperasi pada neutron berkecepatan tinggi, GFR (*Gas-cooled Fast Reactor*) dapat memproduksi berbagai macam campuran bahan fisil dan fertil. Kemampuan produksi tersebut sangat bermanfaat bagi kestabilan bahan bakar nuklir di dalam teras reaktor khususnya reaktor yang menggunakan siklus tertutup seperti GFR. Plutonium (Pu) dari residu hasil pembakaran reaktor seperti PWR atau LWR dapat digunakan sebagai bahan bakar campuran untuk meningkatkan nuklida fisil pada bahan bakar MOX. MOX (*Mixed Oxide*) adalah campuran antara uranium (U) dan plutonium (Pu) dalam jumlah tertentu. Komposisi plutonium (Pu) dalam MOX sangat berpengaruh terhadap tingkat pembakaran bahan bakar dalam teras di awal operasi. Tujuan penelitian yaitu melakukan variasi persentase plutonium (Pu) agar memungkinkan dilakukannya penyesuaian desain untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan bahan bakar. Simulasi dilakukan secara komputasi untuk menentukan performa dari masing-masing persentase Pu yang digunakan pada MOX. Perhitungan deplesi dilakukan selama 10 tahun menggunakan kode OpenMC dan data nuklir ENDF/B VIII.0. Hasil penelitian menunjukkan performa desain paling baik adalah pada persentase Pu 11% yang ditentukan berdasarkan keluran nilai faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) dan *excess reactivity* serta sesuai dengan yang diharapkan.

A fast-type reactor that operates on high-speed neutrons, GFR (Gas-cooled Fast Reactor) can produce various fissile materials and fertilizers. This production capability is very beneficial for the stability of nuclear fuel in the reactor core, especially reactors that use closed cycles such as GFR. Plutonium (Pu) from the residue from burning reactors such as PWR or LWR can be used as a mixed fuel to increase fissile nuclides in MOX fuel. MOX (Mixed Oxide) is a mixture of uranium (U) and plutonium (Pu) in certain amounts. The composition of plutonium (Pu) in MOX greatly influences the level of fuel combustion in the core at the start of operation. The research aims to vary the percentage of plutonium (Pu) to enable design adjustments to maximize fuel use efficiency. Simulations were conducted computationally to determine the performance of each percentage of Pu used in MOX. Depletion calculations were carried out for 10 years using the OpenMC code and ENDF/B VIII.0 nuclear data. The research results show that the best design performance is at a Pu percentage of 11% which is determined based on the range of effective multiplication factor (k_{eff}) values and excess reactivity and is in line with expectations.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi global yang aman dan berkelanjutan semakin meningkat, sehingga dibutuhkan upaya untuk memenuhi kebutuhan tersebut (Gougar, 2017). *Gas-cooled fast reactor* (GFR) merupakan salah satu teknologi nuklir masa depan yang tengah dikembangkan. Pemilihan dan pengelolaan bahan bakar yang efisien menjadi salah satu isu penting dalam desain reaktor *fast breeder* seperti GFR agar dapat mendukung siklus bahan bakar yang lebih panjang (Gougar, 2017; Putri et al., 2021). Kandungan uranium (U) dan plutonium (Pu) pada bahan bakar *Mixed Oxide* (MOX) menjadikannya kandidat potensial untuk sebagai bahan bakar reaktor GFR, karena kemampuannya memanfaatkan plutonium (Pu) (Gougar, 2017).

MOX pada GFR mampu mengoptimalkan kinerja reaktor serta memainkan peran penting dalam mengurangi ketergantungan pada uranium alam (NU). Namun, komposisi bahan bakar yang sesuai dan tepat menjadi hal penting yang perlu di analisis, khususnya presentase plutonium (Pu) dalam MOX yang berpengaruh terhadap efisiensi pembakaran bahan bakar dalam reaktor. Variasi presentase plutonium (Pu) dibutuhkan untuk melihat dampak langsung komposisi bahan bakar terhadap karakteristik neutronik reaktor, yang pada akhirnya akan berdampak pada stabilitas operasional dan keselamatan reaktor (Rafliis et al., 2020).

Komposisi Pu pada MOX dapat diterapkan sebagai salah satu metode dalam penyusunan kisi bahan bakar di teras reaktor (Ilham et al., 2021). Teras homogen dapat diterapkan variasi persentase Pu pada tahap sel bahan bakar dengan melakukan *profiling* terhadap nilai k_{inf} dari masing-masing kandidat sel bahan bakar terbut. Teras heterogen memiliki potensi lebih dilakukannya variasi Pu dalam MOX pada tras reaktor, seperti dapat diterapkan perbedaan persentase Pu pada kisi berbeda pada teras. Penelitian lainnya terkait Pu dan MOX pada teras GFR yaitu observasi limbah Pu setelah proses burn-up (Alsaleh et al., 2024).

Analisis neutronik akan dilakukan menggunakan metode simulasi berbasis Monte Carlo. OpenMC merupakan perangkat lunak simulasi Monte Carlo dalam studi neutronik yang mampu melakukan analisis tentang perilaku serta interaksi neutron dengan bahan bakar dalam reaktor. Oleh karena itu, simulasi dan analisis yang akurat terhadap pengaruh variasi komposisi Pu dalam bahan bakar MOX dilakukan menggunakan OpenMC (Ilham et al., 2021; Romano et al., 2021; You et al., 2023).

Mengamati dan menganalisis serta menemukan perbedaan dari pengaruh variasi persentase plutonium (Pu) dalam bahan bakar MOX pada teras GFR menjadi tujuan utama dari penelitian ini. Parameter kinetik yang menggambarkan performa teras GFR yaitu k_{eff} dan *excess reactivity*, secara matematis dapat dideskripsikan masing-masing seperti persamaan (1) dan (2):

$$k_{eff} = \frac{N_{n+1}}{N_n} \quad (1)$$

Dan

$$\rho_{excess} = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \times 100\% \quad (2)$$

Persamaan (1) menjelaskan rasio neutron yang diperoleh dari satu reaksi fisi, sedangkan persamaan (2) menggambarkan suatu parameter seberapa besar reaksi fisi berlebihan terhadap kondisi kritis. Kondisi kritis terjadi ketika $k_{eff} = 1$, artinya setiap neutron yang dihasilkan akan menyebabkan reaksi nuklir sama.

Pendekatan menggunakan simulasi dengan kode OpenMC diharapkan dapat diperoleh pemahaman mengenai pengaruh komposisi bahan bakar terhadap kinerja reaktor. Depleksi dilakukan menggunakan data nuklida ENDF/B VIII.0 pada OpenMC (Romano et al., 2021). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat dalam pengembangan desain reaktor GFR berbahan bakar MOX yang lebih efisien (Duderstadt, 1976).

II. SPESIFIKASI DESAIN SEL BAHAN BAKAR DAN TERAS GFR

Tipe reaktor yang didesain adalah GFR dengan spektrum neutron cepat dengan susunan bahan radial. Reaktor disimulasikan beroperasi dalam siklus tertutup yaitu tidak terdapat pengisian ulang bahan bakar (Rachmat & Irwanto, 2024).

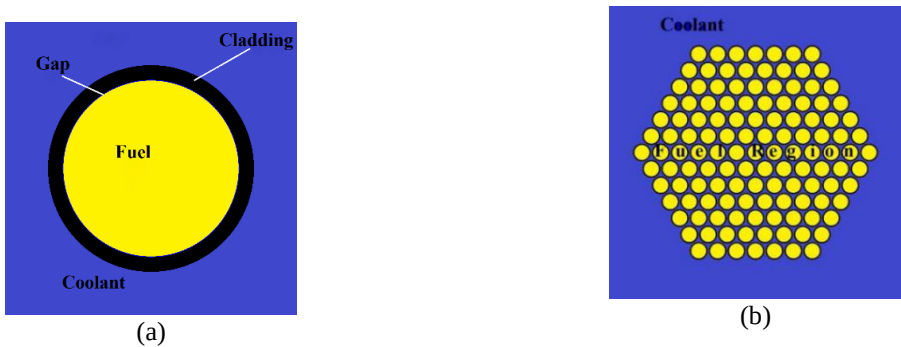
Tabel 1 Desain spesifikasi teras reaktor

Parameter	Nilai
Daya termal (MWt)	250 MWt
Bahan Bakar	MOX
Bahan Bakar Selimut	Natural Uranium
Burnup bahan bakar	10 Tahun
Siklus refueling	Tertutup
Geometri Teras	2-D Heksagonal
Material Cladding	Stainless steel 316 (SS316)
Coolant	Helium
Diamter pitch	1,28 cm
Tinggi/ Diameter Teras Aktif	180 cm / 200 cm
Lebar Reflektor	50 cm
Assembly dalam Teras (MOX)	127 assembly
Assembly dalam Teras (NU)	90 assembly

Tabel 2 Informasi geometri sel bahan bakar

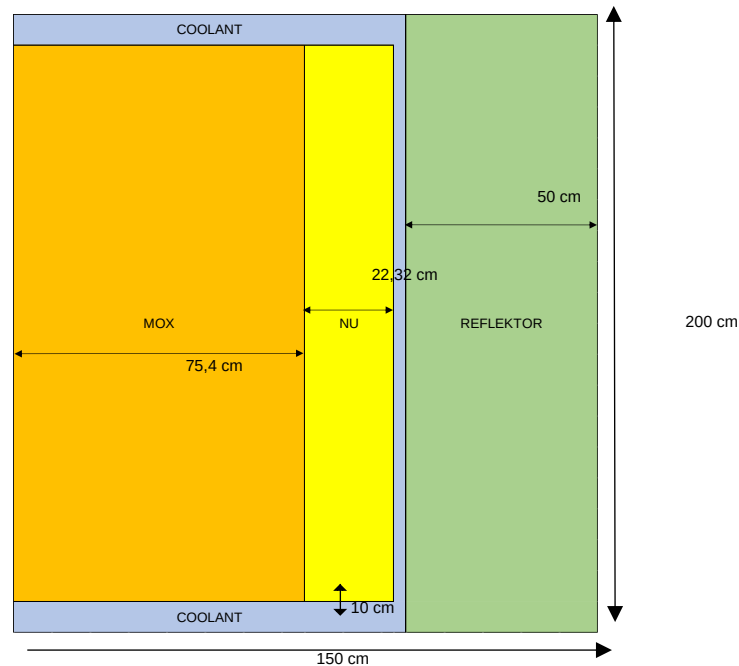
Parameter	Fuel	Clading	Cooling
Jari-jari (Cm)	0,543396	0,181449	0,552233
Fraksi volume (%)	42,25	14,108	42,93708

Tabel 1 menjelaskan spesifikasi material dan geometri *Gas-cooled Fast Reactor* (GFR) menggunakan 250 MWth dengan konfigurasi kisi heksagonal 2D. Tabel 2 memberikan informasi jari-jari sel bahan bakar dan fraksi volume *fuel*, *kelongsong*, dan pendingin yang digunakan. Inti reaktor terdiri dari dua bagian, yaitu bagian dalam (*inner core*) dan selimut (*blanket*). *Inner core* terdiri dari 127 rakitan bahan bakar MOX, sedangkan selimut terdiri dari 90 rakitan bahan bakar uranium alam. Desain inti reaktor tidak menggunakan batang kendali karena diasumsikan bahwa reaktor beroperasi dengan batang kendali dalam posisi terangkat sempurna (*fully up*) (Gonçalves et al., 2024; Kurniawan et al., 2024). Material yang digunakan untuk reflektor yaitu berilium oksida (BeO) (Detwiler, 2021; Kurniawan et al., 2024; Luthfi & Pinem, 2021). Material BeO dipilih menjadi material reflektor karena beberapa alasan teknis dan sifat materialnya seperti konduktivitas termal yang baik serta memiliki sifat reflektif yang lebih baik terhadap neutron, sedangkan SS316 dipilih sebagai material *cladding* karena memiliki daya tahan terhadap korosi dan memiliki kinerja termal yang stabil. (Detwiler, 2021; Syarifah et al., 2021).



Gambar 1 Desain (a) pin sel bahan bakar (b) konfigurasi rakitan bahan bakar dalam sumbu XY

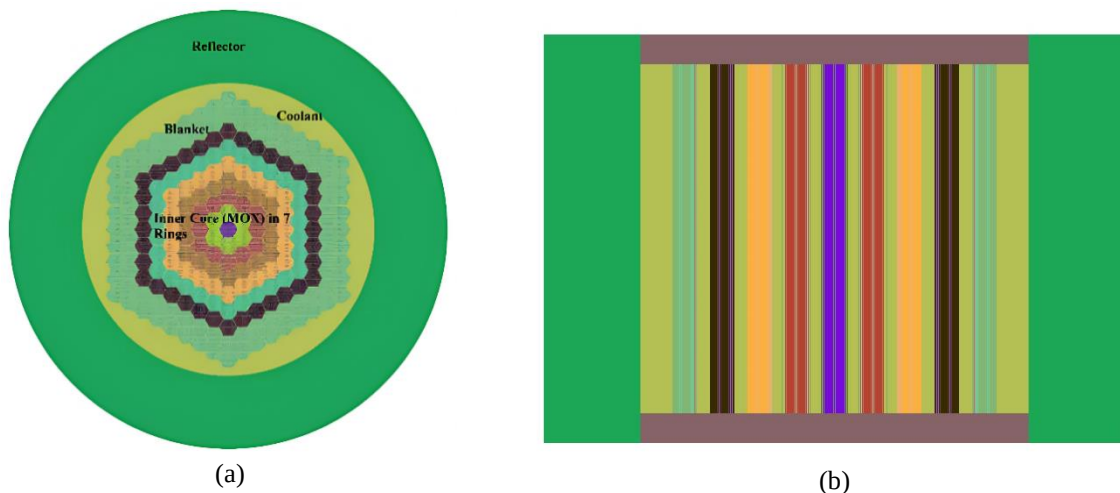
Gambar 1(a) menunjukkan model sel bahan bakar, sedangkan Gambar 1(b) memperlihatkan visualisasi rakitan bahan bakar. Kedua gambar tersebut didesain menggunakan modul Python Matplotlib yang diintegrasikan dengan OpenMC (Lababsa et al., 2024). Batang bahan bakar dan rakitan bahan bakar dirancang dengan konfigurasi kisi heksagonal yang terdiri dari tujuh ring, di mana setiap ring memuat 127 batang pin bahan bakar. Gambar 2 menampilkan desain inti reaktor dalam setengah teras, yang mencakup *fuel core*, *coolant*, dan *reflector*. Reflektor dirancang berbentuk silinder padat dengan ketebalan 50 cm, dan dibuat menggunakan kelas ZCylinder dari OpenMC.



Gambar 2 Desain Teras GFR dalam sumbu XY

III. HASIL DAN DISKUSI

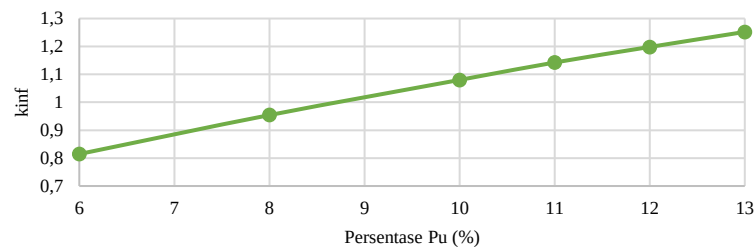
Telah dilakukan penelitian desain neutronik teras GFR menggunakan bahan bakar MOX dengan variasi persentase plutonium (Pu). Gambar 3 memvisualisasikan konfigurasi teras GFR secara utuh, terdiri dari *inner core* (MOX), *blanket*, *coolant*, dan *reflector*. Gambar 3(a) memberikan visual tampang lintang teras reaktor dalam sumbu XY, sedangkan gambar 3(b) apabila diamati dari sumbu XZ. Pembagian kisi hanya diterapkan dalam arah radial yang membagi *inner core* (MOX) dan blanket (*Natural Uranium*).



Gambar 3 Desain teras inti GFR menggunakan OpenMC dalam sumbu (a) XY (b) XZ

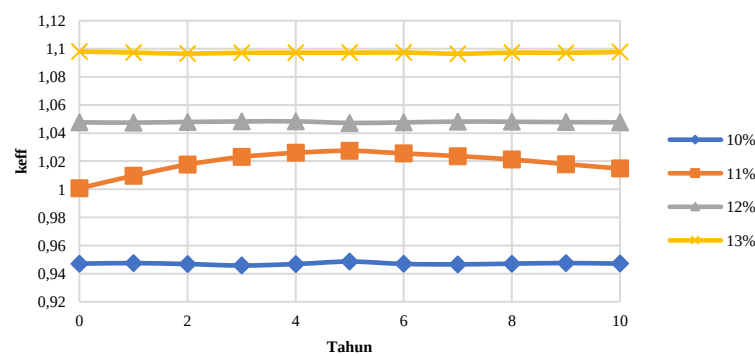
Tahap awal penelitian dilakukan pengamatan terhadap profil bahan bakar MOX dengan melakukan variasi atau perubahan persentase dari fraksi plutonium (Pu). Indikator yang diamati untuk menentukan profil bahan bakar ialah k_{inf} dari setiap persentase yang digunakan. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara persentase plutonium (Pu) dalam bahan bakar MOX dengan nilai faktor multiplikasi tak hingga (k_{inf}). Hasilnya menunjukkan bahwa nilai k_{inf} meningkat seiring dengan bertambahnya persentase Pu. Sel bahan bakar MOX dengan Pu 11%-13% menghasilkan k_{inf} yang baik yaitu $k_{inf} \approx 1$, sedangkan persentase MOX dengan Pu 10% kurang dari satu ($k_{inf} < 1$) sehingga tidak ideal untuk

digunakan karena dapat membuat reaktor menjadi subkritis selama operasional akibat kandungan fisil yang terlalu kecil.



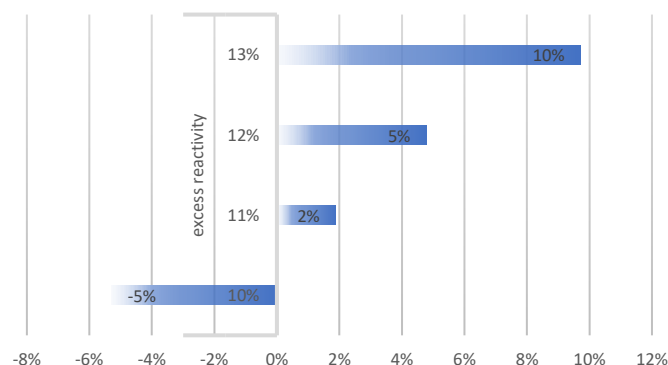
Gambar 4 k_{inf} sel bahan bakar MOX

Gambar 4 menggambarkan profil sel bahan bakar yang merujuk pada nilai k_{inf} -nya di mana ada empat desain sel bahan bakar yang dapat diterapkan dalam membangun konfigurasi teras inti secara utuh yaitu MOX dengan Pu 10%, 11%, 12%, dan 13%. Empat variasi dipilih karena berdasarkan nilai k_{inf} yang diperoleh bernilai sama atau lebih dari satu ($k_{inf} \geq 1$). Nilai ini merujuk kepada proses konversi energi dalam sel bahan bakar yang terjadi secara efisien tanpa ada kebocoran energi yang signifikan (Fujita & Sakai, 2020; Rachmat & Irwanto, 2024; Wulandari et al., 2022).



Gambar 5 Perubahan nilai k_{eff} teras dengan Pu 10%-13% selama 10 tahun

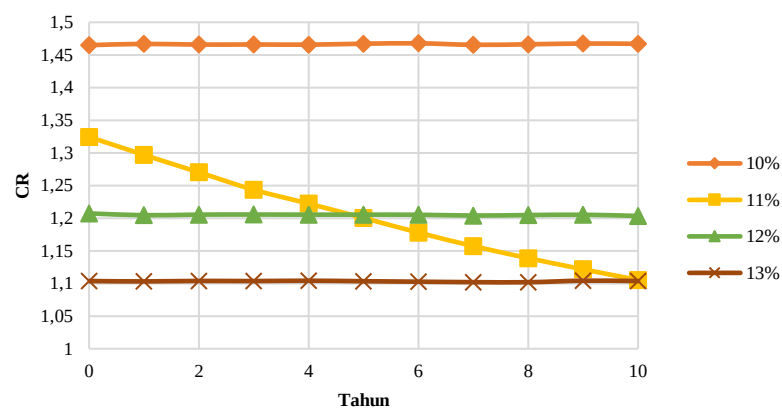
Penelitian ini menguji performa empat desain teras yang masing-masing menggunakan bahan bakar MOX dengan kandungan Pu 10%, 11%, 12% dan 13%. Performa desain ditunjukkan oleh nilai faktor multiplikasi efektif yang menjadi indikator dari suatu desain teras mencapai kondisi kritis atau tidak. Gambar 5 menunjukkan visualisasi nilai k_{eff} selama 10 tahun operasi pada setiap persentase, sedangkan gambar 6 menggambarkan perbedaan nilai rata-rata *excess reactivity* (ρ_{excess}) untuk keempat desain teras.



Gambar 6 Nilai rata-rata ρ_{excess} teras GFR dengan Pu 10%-13% selama 10 tahun

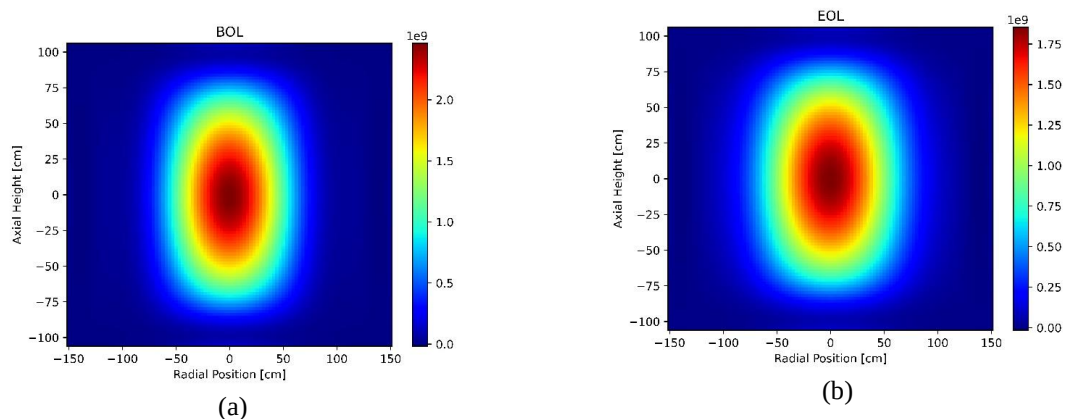
Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi ideal dari empat persentase yang digunakan adalah MOX dengan Pu 11% seperti pada gambar 5. MOX dengan nilai 11% dinilai ideal karena jika diamati k_{eff} -nya yang paling mendekati kondisi kritis dan memiliki nilai rata-rata *excess reactivity* paling stabil di antara 3 desain lainnya, rata-rata nilai k_{eff} pada MOX dengan Pu 11% adalah 1,01887 yang berada dalam kondisi kritis ($k_{eff} \approx 1$) selama 10 tahun operasi. MOX dengan Pu 10% mengalami kondisi sub-kritis sepanjang 10 tahun operasi. Kondisi sub-kritis pada MOX dengan Pu 10% dapat dilihat dari nilai k_{eff} yang tidak mencapai satu dan nilai *excess reactivity* yang bernilai negatif. Nilai negatif *excess reactivity* dapat disebabkan oleh kurangnya produksi neutron yang mengakibatkan penurunan reaksi berantai dalam teras. Nilai rata-rata *excess reactivity* pada MOX dengan Pu 10% adalah -0,0529. MOX dengan Pu 12% dan 13% juga mampu mempertahankan kondisi kritis selama 10 tahun operasi, namun memiliki k_{eff} yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan persentase Pu 11%. Nilai rata-rata *excess reactivity* pada MOX dengan Pu 12% dan 13% juga lebih tinggi dibandingkan dengan Pu 11%.

Rasio konversi merujuk pada suatu kondisi dimana reaktor mampu melakukan pemulian (*breeding*) bahan bakar atau tidak, sehingga secara tidak langsung juga berdampak pada nilai k_{eff} yang dihasilkan karena berkaitan dengan rasio neutron yang lahir akibat reaksi fisi. Nilai rata-rata rasio konversi MOX dengan Pu 11% adalah 1,20531. Reaktor dikatakan *breeding* jika nilai CR ≈ 1 . Gambar 6 menunjukkan bahwa semua desain mampu mencapai kondisi *breeding*. Hal ini menggambarkan bahwa desain reaktor bertipe *super breeder reactor*, diperjelas dengan adanya penggunaan bahan bakar selimut pada desain teras.



Gambar 7 Perubahan nilai konversi rasio

Nilai konversi rasio MOX dengan persentase Pu 10%, 12%, dan 13% pada Gambar 7 sebagai perbandingan dan status dari masing-masing desain. Seluruh nilai konversi rasio pada ketiga desain pada Gambar 7 memiliki nilai lebih dari satu, sehingga dapat dinyatakan bahwa seluruh desain memproduksi lebih banyak fisil daripada mengkonsumsinya, namun produksi fisil yang besar pada MOX dengan Pu 10% belum mampu menutup rasio serapan neutron (absorpsi) yang besar dalam teras reaktor sehingga selama 10 tahun operasi masih berada pada kondisi sub-kritis.



Gambar 8 Evolusi distribusi fluks neutron (a) BOL dan (b) EOL

Gambar 8 merupakan visualisasi dari distribusi fluks dalam arah radial dan aksial saat *Beginning of Cycle* (BOC) hingga *End of Cycle* (EOC) pada teras GFR dengan MOX yang mengandung Pu 11%. Keluaran distribusi fluks tersebut diperoleh dengan mengaplikasikan *Functional Expansion Tally* (FET) pada OpenMC (Rafliis et al., 2022). Terjadi perubahan spektrum warna yang sangat kecil (*smooth*) secara aksial, namun secara radial terjadi pelebaran yang cukup signifikan daripada arah aksial di daerah blanket pada spektrum warna hijau muda. Fluks terpusat di tengah teras, hal ini menandakan bahwa isotop fisil dengan konsentrasi yang cukup besar berada di pusat teras.

IV. KESIMPULAN

Penelitian desain teras GFR berbahan bakar MOX dengan variasi persentase Pu 10% - 13% telah berhasil dilakukan dengan baik. Model yang telah di desain menunjukkan kondisi kritis pada desain teras dengan persentase Pu 11% - 13% selama 10 tahun operasi, sedangkan MOX dengan persentase 10% mengalami kondisi sub-kritis tanpa mampu mencapai kritis selama 10 tahun. Berdasarkan nilai k_{eff} dan *excess reactivity* yang diperoleh, disimpulkan bahwa desain teras paling ideal adalah pada persentase Pu 11% dengan nilai rata-rata k_{eff} 1,01887 dan β + 0,0189.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsaleh, H., Joudieh, N., Albarhoum, M., Nahili, M., Prasetya, F., Syarifah, R. D., Karomah, I., Aji, I. K., & Trianti, N. (2024). a Comparative Analysis of Gas-Cooled Fast Reactor Using Heterogeneous Core Configurations With Three and Five Fuel Variations. *Jordan Journal of Physics*, 17(8(127)), 6–17. <https://doi.org/10.47011/17.5.4>
- Detwiler, R. S. . M. R. J. . G. T. F. . U. S. A. . & E. E. J. (2021). *Data Mining Analysis and Modeling Cell Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling*. <https://www.ntis.gov/about>
- Duderstadt, J. J. and H. L. . (1976). *Nuclear Reactor Analysis*. John Wiley & Sons Ltd.
- Fujita, T., & Sakai, T. (2020). Analysis of the beavrs benchmark using CASMO5/SIMULATE5 with JENDL-4.0 and ENDF/B-VII.1. *International Conference on Physics of Reactors: Transition to a Scalable Nuclear Future, PHYSOR 2020, 2020-March*, 219–226. <https://doi.org/10.1051/epjconf/202124702014>
- Gonçalves, D. M. E., da Silva, M. V., da Cunha, C. J. C. M. R., Palma, D. A., & de Stefani, G. L. (2024). Feasibility of Converting NuScale SMRs from UO₂ to Mixed (Pu,Th)O₂ and (U,Th)O₂ Cores: A Parametric Study of the Seed-Blanket Fuel Assembly. *Nuclear Engineering and Design*, 424. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113230>
- Gougar, H. D. (2017). *Gas-Cooled Fast Reactor Research and Development Roadmap*. <http://www.inl.gov>
- Ilham, M., Rafliis, H., & Suud, Z. (2021). Fuel Assembly Design Study for Modular Gas Cooled Fast Reactor using Monte Carlo Parallelization Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1772(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1772/1/012025>
- Kurniawan, M. A., Ariani, M., Monado, F., & Johan, A. (2024). Neutronic Calculation of Mixed Oxide Fuel for Gas-Cooled Fast Reactor using Monte Carlo code OpenMC. *Proceedings of the 3rd Sriwijaya International Conference on Basic and Applied Sciences, SICBAS 2023, November 3, 2023, Palembang, Indonesia*. <https://doi.org/10.4108/eai.3-11-2023.2347943>
- Lababsa, D., Mazrou, H., & Belgaid, M. (2024). Performance evaluation and validation of OpenMC code for criticality analysis of an MTR-type research reactor. *Annals of Nuclear Energy*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2024.110617>
- Putri, S. C., Ariani, M., Royani, I., Arsali, & Monado, F. (2021). The calculation of uranium metallic Fuel (U-10%wtZr) cell with helium coolant using SRAC 2K6. *Journal of Physics: Conference Series*, 2126(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2126/1/012001>
- Rachmat, M. A. I., & Irwanto, D. (2024). Effective Multiplication Factor Analysis of Gas-cooled Reactor using OpenMC code with ENDF/B-VII.1, ENDF/B-VIII.0 and JENDL-5.0 Nuclear Data. *Journal of Physics: Conference Series*, 2734(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2734/1/012056>

- Rafli, H., Ilham, M., Su'ud, Z., Waris, A., & Irwanto, D. (2020). Neutronic Analysis of Modular Gas-cooled Fast Reactor for 5-25% of Plutonium Fuel using Parallelization MCNP6 Code. *Journal of Physics: Conference Series*, 1493(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1493/1/012008>
- Rafli, H., Su'ud, Z., Waris, A., & Irwanto, D. (2022). Application of functional expansions Tally (FET) filter in a gas-cooled fast reactor design. *AIP Conference Proceedings*, 2525(November). <https://doi.org/10.1063/5.0127565>
- Romano, P. K., Josey, C. J., Johnson, A. E., & Liang, J. (2021). *Depletion capabilities in the OpenMC Monte Carlo particle transport code*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.107989>
- Syarifah, R. D., Su'ud, Z., Basar, K., Irwanto, D., Pattipawaej, S. C., Ilham, M., Rafli, H., Muhammad, I., Su'ud, Z., Waris, A., & Irwanto, D. (2021). Reflector materials selection for core design of modular gas-cooled fast reactor using OpenMC code. *International Journal of Energy Research*, 42(8), 12071–12085. <https://doi.org/10.1002/er.6042>
- Wulandari, C., Waris, A., Permana, S., & Pramuditya, S. (2022). Evaluating the JEFF 3.1, ENDF/B-VII.0, JENDL 3.3, and JENDL 4.0 nuclear data libraries for a small 100 MWe molten salt reactor with plutonium fuel. *Nuclear Science and Techniques*, 33(12). <https://doi.org/10.1007/s41365-022-01141-8>
- You, A., Be, M., & In, I. (2023). *Kinetic Parameters Calculation of Sodium-cooled Fast*. 040005(March 1999).