



Simulasi distribusi fluks pada reaktor nuklir 2d menggunakan python

Ayi Nurazizah^{1*}, Nurul Subkhi²

¹Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.

²Laboratorium Fisika Nuklir, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.

*e-mail: ayinurazizah003@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk perhitungan distribusi fluks neutron reaksi fisi dua dimensi dan nilai faktor multiplikasi menggunakan aplikasi Python yang bertujuan untuk mengetahui distribusi fluks neutron pada reaksi fisi dua dimensi dan sebagai acuan pengetahuan perhitungan dalam menentukan distribusi fluks neutron pada reaksi fisi dua dimensi juga perhitungan nilai faktor multiplikasi pada reaksi fisi dua dimensi. Reaksi fisi adalah reaksi yang terjadi pada sebuah inti atom yang membelah menjadi dua atau lebih inti atom baru yang lebih ringan. Ketika terjadinya reaksi fisi maka akan memancarkan energi dan juga partikel, seperti neutron. Fluks neutron adalah jumlah atau kuantitas neutron yang berinteraksi dengan inti dalam suatu titik di dalam teras dalam satuan waktu. Sedangkan faktor multiplikasi neutronik adalah suatu faktor yang merepresentasikan besarnya jumlah neutron saat ini dalam reaktor per jumlah neutron sebelumnya dalam reaktor. Simulasi untuk pengambilan data pada aplikasi python dilakukan sebanyak limapuluh kali iterasi untuk mendapatkan nilai fluks neutron dan faktor multiplikasi pada reaksi fisi dua dimensi. Hasil fluks dianalisis untuk melihat distribusi fluks yang terjadi dalam reaksi fisi dua dimensi sedangkan hasil faktor multiplikasi dianalisis untuk melihat apakah reaksi fisi dalam keadaan kritis, subkritis, atau superkritis. Nilai faktor multiplikasi yang di dapat untuk simulasi dengan dimensi 25cm x 50cm dengan diskritisasi 25 titik 0.865537816074 dengan diskritisasi 625 titik 0.849152511657 dengan diskritisasi 25 titik pada excel 0.991065 dan simulasi dengan dimensi reaktor SG-GAS 625 titik 1.34170035735, sedangkan untuk distribusi fluks yang didapat ditunjukkan oleh grafik 3D yang berbentuk mangkuk terbalik.

Kata Kunci: Distribusi fluks neutron, faktor multiplikasi neutronik, kritis, subkritis, superkritis.

1. Pendahuluan

Reaktor nuklir terjadi berdasarkan proses reaksi pembelahan inti (fisi) secara berantai dan tak terkendali. Hal ini berhubungan dengan perlunya analisis interaksi neutron dengan nuklida dan proses yang terjadi untuk mempertahankan reaksi berantai dengan cara yang stabil dan aman. Reaksi berantai tersebut berasal dari peristiwa tumbukan antara neutron dengan nuklida di dalam reaksi nuklir menyebabkan terjadinya berbagai reaksi. Dimana *macroscopic cross section* reaksi atau penampang lintang makroskopik diperlukan untuk mengetahui kuantitas dari masing-masing reaksi. Penampang lintang makroskopik menjadi sangat penting untuk menentukan distribusi neutron dalam teras reaktor. Perhitungan neutron pada teras berbahan bakar besarnya distribusi neutron bergantung pada penampang lintang

removal dan hamburan.

Percobaan simulasi ini merupakan bagian dari menggambarkan distribusi neutron dalam teras melalui perhitungan neutronik. Persamaan transport neutron merupakan persamaan perhitungan neutronik yang menggambarkan tumbukan neutron dengan bahan bakar reaktor nuklir, persamaan tersebut sangat penting dan menjadi masalah yang sangat sulit untuk menyelesaikannya dalam analisis reaktor nuklir. Akibatnya menentukan distribusi neutron dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan difusi. Persamaan tersebut cukup sederhana memungkinkan dilakukannya perhitungan neutronik dan mempelajari konsep yang muncul dalam analisis reaktor. Karakteristik di semua neutron dalam reaktor memiliki kecepatan atau energi tunggal, dan melakukan transport dari titik ke titik sebagai proses difusi,

namun tidak dapat diharapkan untuk mendapatkan hasil yang akurat. Akan tetapi persamaan difusi masih menjadi metode analisis dalam desain teras reaktor untuk sementara ini. Mengetahui faktor multiplikasi juga merupakan hak penting dalam analisis lanjut untuk distribusi fluks pada reaktor, karena dengan nilai faktor multiplikasi ini kita bisa melihat keadaan reaktor sementara yang di dapat apakah aman untuk digunakan beroperasi atau tidak. Maka dari itu dilakukan penelitian untuk simulasi sederhana reaktor nuklir dua dimensi menggunakan python.

2. Metode

Simulasi neutronik reaktor nuklir dua dimensi ini menggunakan persamaan difusi. Maka langkah pertama yang harus dilakukan melihat bentuk persamaan difusi secara umum yaitu :

$$S(r, t) = -D\nabla^2\phi(r, t) + \Sigma_a(r)\phi(r, t)$$

Dari persamaan ini, karena penelitian ini dilakukan dua dimensi searah sumbu x dan sumbu y maka fungsi yang bergantung terhadap ruang yaitu $S(r)$ dan $\phi(r)$ ruang ini akan bergantung pada dua sumbu saja yaitu sumbu x dan sumbu y begitu pula dengan nilai nabla yang hanya bergantung

pada ruang sumbu x dan sumbu y. Sehingga dengan melihat ketentuan untuk diferensial fourier yaitu:

$$\frac{d^2f(x,y)}{dx^2} = \frac{f(x+1,y) + f(x-1,y) - 2f(x,y)}{\Delta x^2}$$

Maka persamaan diatas akan berubah menjadi:

$$S(x,y) = \alpha[\phi(x+1,y) + \phi(x-1,y)] + \gamma[\phi(x,y+1) + \phi(x,y-1)] + \beta\phi(x,y)$$

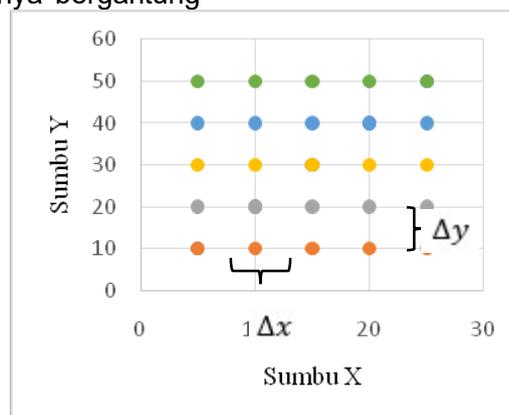
Dengan:

$$\alpha = -\frac{D}{\Delta x^2} \quad (1)$$

$$\gamma = -\frac{D}{\Delta y^2} \text{ dan}$$

$$\beta = \left[\sigma_a + 2D \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]$$

Karena reaktor yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan reaktor dua dimensi maka bentuk terasnya itu akan berupa seperti plat sehingga tahapan selanjutnya adalah mendiskritisasi plat tersebut searah sumbu x dan sumbu y. Dengan perbedaan jarak untuk setiap titik sumbu x itu Δx dan perbedaan jarak untuk setiap titik searah sumbu y itu Δy . Diskritisasi yang dibuat itu saya buat sumbu x dalam lima buah titik dengan $\Delta x = 5$ dan lima buah titik pada sumbu y dengan $\Delta y = 10$. Sehingga dapat dilihat pada Gambar.1



Gambar 1

tahapan selanjutnya yaitu memasukan semua diskritisasi yang telah dibuat ke dalam persamaan (1), sehingga akan di dapatkan 25 persamaan untuk setiap titik.

Dari 25 persamaan ini dapat dibuat menjadi persamaan dalam bentuk matriks $M\phi = S$, dapat dilihat pada Gambar.2:

$$\begin{pmatrix}
 \beta & \alpha & 0 & 0 & 0 & \gamma & 0 & 0 & 0 \\
 \alpha & \beta & \alpha & 0 & 0 & 0 & \gamma & 0 & 0 \\
 0 & \alpha & \beta & \alpha & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\
 0 & 0 & \alpha & \beta & \alpha & 0 & 0 & 0 & \gamma \\
 \gamma & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \gamma & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \gamma & 0 & 0 & \alpha & \beta & \alpha \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma & 0 & 0 & \alpha & \beta
 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{12} \\ \phi_{13} \\ \phi_{14} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \phi_{45} \\ \phi_{55} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \\ S_{14} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ S_{54} \\ S_{55} \end{pmatrix}$$

Gambar 2

sehingga dari bentuk matriks diatas kita bisa mendapatkan nilai fluks dengan meng-inverskan matriks M dan di dapat persamaan:

$$\phi = M^{-1}S \tag{2}$$

Sedangkan untuk mencari nilai faktor multiplikasi (K efektif) di dapatkan dengan jumlah neutron generasi saat ini dibagi dengan jumlah neutron generasi

sebelumnya, dapat ditulis juga dalam bentuk persamaan seperti berikut:

$$k_{ef} = \frac{S_t}{S_{t-1}} \tag{3}$$

Tahapan selanjutnya yaitu membuat code pada aplikasi python dengan memasukan parameter awal. Parameter awal dapat dilihat pada Tabel.1:

Tabel 1

Densitas U-235 (ρ)	1,909E-4 cm/b
Koefisien Difusi (D)	9,2
Luas teras	25cm x 50cm Dengan: sumbu-x (5,10,15,20,25) $\Delta x = 5\text{cm}$; dan sumbu-y: (10,20,30,40,50) $\Delta y = 10\text{cm}$
Fluks awal	500
K efektif awal	1,525
Penampang lintang makroskopik penyerapan (Σ_a)	0.21588
Penampang lintang makroskopik fisi (Σ_f)	0.13916
Kecepatan neutron (v)	2.43

Tahapan selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan aplikasi python dengan memasukan parameter pada Tabel.1 dan menggunakan persamaan (2) dan (3). Perhitngan dilakukan dengan pengulangan iterasi sebanyak limapuluh kali dan kemudian akan di dapatkan nilai faktor multiflikasi pada iterasi ke limapuluh dan bentuk output grafik tiga dimensi untuk distribusi fluks pada teras.

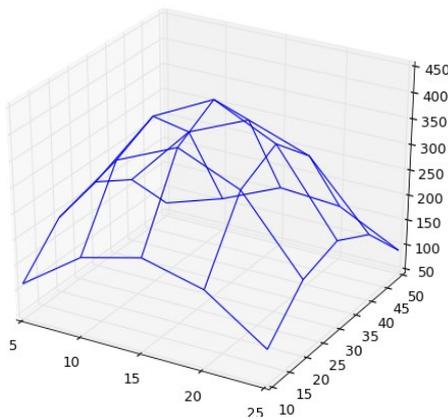
3. Hasil dan Pembahasan

Selanjutnya dilakukan kembali percobaan dengan diskritisasi 625 titik pada ukuran teras reaktor yang sama yaitu 25cm x 50cm. Dilakukan kembali simulasi sederhana dengan dimensi reaktor SG-G.A.S yaitu 81cm x 77,1cm dengan diskritisasi sebanyak 625 titik. Dilakukan juga simulasi pada excel dengan dimensi teras reaktor 25cm x 50cm dengan diskritisasi 25 titik.

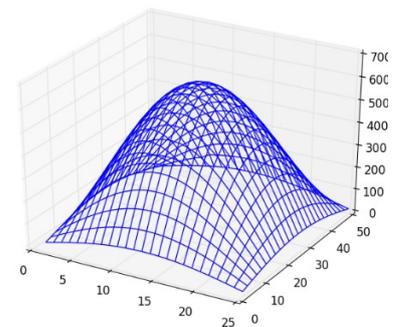
Pada simulasi ini dilakukan untuk mencari nilai fluks pada reaktor dua dimensi dengan menggunakan persamaan difusi, kemudian nilai fluks yang didapat akan digunakan untuk mencari nilai faktor multiplikasi neutron pada teras tersebut dan kemudian akan mengubah nilai jumlah neutron hasil fisi pada reaktor(S) sehingga simulasi ini dilakukan berulang dengan keterkaitan fluks yang di dapat oleh simulasi pertama akan masuk pada simulasi selanjutnya untuk mendapatkan nilai fluks yang baru. Dari simulasi pertama dimensi teras reaktor 25cm x 50cm dengan diskritisasi 25 titik di dapatkan nilai fluks pada iterasi terakhir itu 0.865537816074, sedangkan untuk simulasi yang sama namun dilakukan dengan menggunakan aplikasi excel di dapat nilai faktor multiplikasi 0.991065. Kedua nilai faktor multiplikasi ini berbeda karena banyak iterasi yang dilakukan juga berbeda, pada excel iterasi yang dilakukan sampai 19 ietrasi sedangkan pada python iterasi yang dilakukan sebanyak 50 kali ini memandakan

bahwa keadan teras reaktor yang disimulasikan berada pada kondisi subkritis dimana semakin lama kelamaan nilai faktor multiplikasi akan semakin kecil. Keadaan subkritis ini juga dapat dilihat dari nilai faktor multiplikasi tebak awal 1,525 dan kemudian pada hasil akhir menjadi lebih kecil. Selanjutnya untuk simulasi dengan diskritisasi 625 titik didapat faktor multiplikasi 0.849152511657 nilai ini tidak jauh beda dengan simulasi yang menggunakan diskritisasi 25 titik sama-sama menjelaskan bahwa reaktor yang disimulasikan dalam keadaan subkritis. Pada simulasi yang terakhir yaitu simulasi teras reaktor dimensi reaktor SG-GAS yaitu 81cm x 77,1cm dengan diskritisasi 625 di dapatkan nilai faktor multiplikasi neutron 1.34170035735, dimana menandakan bahwa reaktor yang disimulasikan berada pada keadaan superkritis yaitu reaktor lama kelamaan akan semakin besar nilai faktor ultiplikasinya dan jumlah neutron yang dihasilkan semakin banyak.

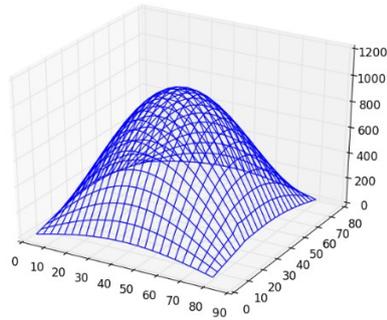
Dari simulasi ini juga di dapatkan grafik dalam bentuk tiga dimensi yang ditunjukkan oleh Gambar di bawah:



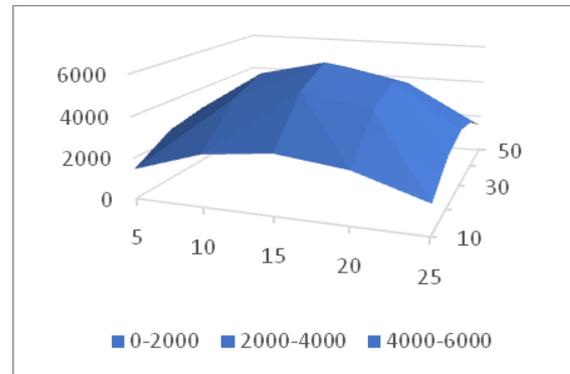
Gambar 3. Distribusi fluks neutron untuk ukuran teras reaktor 25cm x 50cm dengan diskritisasi 25 titik menggunakan aplikasi python



Gambar 4. Distribusi Fluks untuk diskritisasi 625 titik dengan ukuran teras reaktor 25cm x 50cm



Gambar 5. Distribusi Fluks simulasi reaktor SG-GAS ukuran teras reaktor 81cm x 77,1cm dengan diskritisasi 625 titik.



Gambar 6. Distribusi fluks neutron untuk ukuran teras reaktor 25cm x 50cm dengan diskritisasi 25 titik menggunakan excel

Dari semua gambar diatas dapat dilihat bahwa distribusi fluks pada teras reaktor sangat banyak atau besar di bagian tengah. Sehingga dapat dikatakan bahwa reaksi fisi yang terjadi pada bagian pinggir hanya terjadi dalam satu kemungkinan bisa jadi sebelah kanan, sebelah kiri, depan ataupun belakang yang di tumbuk oleh neutron. Karena hanya 1 bagian saja maka nilai fluksnya akan kecil. Sedangkan semakin tengah kemungkinan neutron yang menumbuk pada bahan bakar akan semakin banyak sehingga kemungkinan bahan bakar yang di tengah di tumbuk oleh neutron pada semua keadaan sehingga didapat nilai fluks yang semakin besar karena reaksi fisi yang terjadi merupakan reaksi fisi berantai. Perbedaan bentuk gambar.3 dan gambar.4 dapat dilihat bahwa dengan diskritisasi yang lebih banyak maka hasil grafik yang di dapaktan akan lebih

halus bentuknya(smootles). Sedangkan pada simulasi excel terbatas karena pada diskritisasi 25 titik saja akan dihasilkan matriks M 25x25 maka apabila semakin banyak diskritisasi pembuatan matriks secara manual akan lebih sulit digunakan oleh excel sedangkan pada python diskritisasi yang banyak dapat dilakukan.

4. Simpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa simulasi yang dilakukan untuk reaktor nuklir dua dimensi ini berada pada kondisi subkritis, sedangkan untuk simulasi reaktor dengan dimensi seperti reaktor SG-GAS berada pada kondisi superkritis. Distribusi fluks dan panas yang terjadi pada suatu teras reaktor nuklir itu akan bernilai besar di bagian tengah teras reaktor. Penggunaan simulasi pada aplikasi python dapat dilakukan dengan diskritisasi yang banyak.

Daftar Pustaka

Bakir, G., dan Yapici, H. 2017. Analysis of Fuel Rejuvenation Times in a Fusion Breeder. *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 32(3), 193-203.
 Dilaga, M.N., Yulianti, Y., dan Riyanto, A. 2019. Desain Teras Reaktor High Temperatur Gas-Cooled Reactor (HTGR) Model Mesh Triangular Dua *Engineering and Technology*, 49, 267-276.

Dimensi Berbahan Bakar Thorium Berpendingin Gas CO₂. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 7(1).
 Duderstadt, J. J. 1976. *Nuclear reactor analysis*. Wiley.
 Kastanya, D. 2017. A Simulated-Annealing-Based Tool to Generate Random Patterned-Channel-Age in CANDU Fuel Management Analyses. *Nuclear*

- Hansen, W., & Wolf, T. 2009. Complete refurbishment of the AKR training reactor of the Technical University Dresden. *Modernization and Refurbishment*, 61.
- Harjanti, S., Yulianti, Y., dan Karo Karo, P. 2017. Desain Inti (Core) Reaktor SCWR (Super Critical Water-cooled Reactor) Tiga Dimensi (X-Y-Z) Menggunakan Bahan Bakar Thorium Hasil Daur Ulang. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 5(2).
- Islami, I.N., Tismawati, H., & Subkhi, M.N. 2019. Studi Distribusi Neutronik Fluks Pada Reaktor Nuklir Sederhana. *Wahana Fisika*, 4(1), 35 – 46.
- Putri, E.Y., Shafii, M.A., Irka, F.H., dan Su'ud, Z. 2018. Analisis Kekritisitas Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) Berdasarkan Variasi Daya Keluaran. *Jurnal Fisika Unand*. 7(1).
- Sahin, S., Yildiz, K., Sahin, H. M., Acir, A., Sahin, N., dan Altinok, T. 2006. Minor actinide burning in a CANDU thorium reactor. *Kerntechnik*, 71(5-6), 247-257.
- Sardi, W., Fitriyani, D., dan Irka, F.H. 2018. Analisis Neutronik pada Gas Cooled Fast Reactor (GCFR) dengan Variasi Umur Teras dan Daya Reaktor. *Jurnal Fisika Unand*. 7(2).
- Shafii, M. A. 2015. Perhitungan Penampang Lintang Mikroskopik dalam Sel Bahan Bakar Nuklir. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(1), 23-27.
- Shafii, M. A. 2013. Solution methods of neutron transport equation in nuclear reactors. *Jurnal Ilmu Dasar*, 14(2), 59-65.
- Sunarto, R. U. 2013. *Desain Reaktor Air Superkritis (Supercritical Water Reactor) dengan Bahan Bakar Thorium*.
- Suhaemi, T. 2017. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Korea Selatan: Pembelajaran Bagi Indonesia. *Jurnal UHAMKA*. 2(2502-8782), M-28 - M-36.
- Tahara, Y., & Sekimoto, H. 2002. Transport equivalent diffusion constants for reflector region in PWRs. *Journal of nuclear science and technology*, 39(7), 716-728.
- Vidal-Ferrándiz, A., Carlos, S., & Verdú, G. 2017. Estudio del flujo neutrónico en un reactor cilíndrico. *Modelling in Science Education and Learning*, 10(2), 5-20.