

Analisis dan Penentuan Distribusi Fluks Neutron Thermal Arah Aksial dan Radial Teras Reaktor Kartini dengan Detektor Swadaya

Sofia Mubarika¹, M. Munir¹, K. Sofjan Firdausi¹, Widarto²

¹ Jurusan Fisika FMIPA UNDIP

² P3TM BATAN

ABSTRACT---In this paper, we analyze and compute distribution of thermal neutron flux in core of Kartini's Reactor using "Swadaya" detector, both for axial (function of z) and radial (function r) direction. First, "Swadaya" detector is calibrated by activation plate method, which the output from detector is current. The result of calibration is thermal neutron flux (ϕ) dependent on current (I) that can be written as $\phi = 4,57 \times 10^{20} I - 2,74 \times 10^{11}$. Distribution for neutron thermal flux for axial direction and radial direction respectively

$$\Phi = 5,10 \times 10^{12} + 5,99 \times 10^{13} e^{-1,47Z^2} \text{ and } \Phi = 1,08 \times 10^{12} + 1,00 \times 10^{13} e^{-1,41R^2}$$

which in reactor core ϕ has largest value in center position for radial direction.

Keywords: flux neutron distribution, nucleus reactor, Swadaya detector

PENDAHULUAN

Reaktor adalah tempat terjadinya reaksi pembelahan antara bahan bakar fisi (U^{235}) dengan neutron. Dalam proses pembelahan tersebut akan timbul 2 atau 3 neutron baru untuk satu kali pembelahan inti atom U^{235} . Neutron-neutron yang dihasilkan dari proses fisi merupakan neutron cepat yang mempunyai orde beberapa MeV. Karena terjadi proses hamburan, maka energi neutron mengalami penurunan. Neutron cepat yang mengalami penurunan energi disebut neutron thermal. Dalam sistem reaktor neutron thermal mempunyai peran penting, sebab bahan bakar yang digunakan dalam teras yaitu ${}_{92}U^{235}$ hanya dapat membelah dengan neutron thermal. Maka untuk dapat melangsungkan reaksi berantai diperlukan neutron thermal. Selain itu dalam teras reaktor aktivasi sampel pada umumnya dilakukan oleh neutron thermal. Dalam penelitian ini dilakukan penentuan distribusi fluks neutron thermal dengan menggunakan metode langsung dan tidak langsung atau metode aktivasi keping yang digunakan untuk mengkalibrasi detektor [1]

Fluks neutron merupakan banyaknya neutron yang bergerak tiap satuan volume tertentu pada tiap satuan luas per detik.

$$\phi = nv \quad (1)$$

Apabila sebuah neutron bergerak mendekati suatu inti atom dan memasuki daerah medan pengaruhnya maka ada beberapa kemungkinan yang dapat terjadi. Kemungkinan pertama, neutron akan menumbuk inti dan sesudah

tumbukan neutron dibelokkan arahnya dari arah semula dengan membentuk sudut θ dan inti akan terpental, peristiwa semacam ini disebut reaksi hamburan. Kemungkinan kedua, neutron masuk ke dalam inti atom dan tidak lagi merupakan badan yang berdiri sendiri. Peristiwa ini disebut reaksi tangkapan [1]

Dengan adanya peristiwa-peristiwa di atas, neutron hasil belah dengan tenaga rata-rata sekitar 2 MeV, neutron dapat dibedakan menjadi tiga kelompok neutron yaitu kelompok neutron cepat, kelompok neutron epithermal dan kelompok neutron thermal. Neutron thermal inilah yang akan ditentukan distribusinya [2].

Bentuk distribusi fluks neutron dalam teras reaktor dapat diselesaikan menurut persamaan difusi satu kelompok neutron yaitu neutron thermal yang dapat dituliskan dalam persamaan diferensial Laplace:

$$\nabla^2 \phi + B^2 \phi = 0 \quad (2)$$

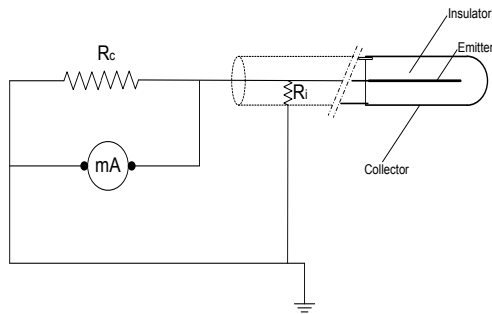
Distribusi fluks neutron dalam teras reaktor bentuk silinder dengan tinggi $H(z)$, jari-jari $R(r)$ dan dianggap reaktor bersifat simetris disekitar sumbu silinder maka fluks neutron ϕ hanya merupakan fungsi dari koordinat z dan r saja, yang diberikan oleh [3]:

$$\phi(r, z) = AJ_0 \left(\frac{2,405}{R} \right) \cos \frac{\pi z}{H} \quad (3)$$

Untuk pengukuran fluks neutron thermal dalam teras reaktor digunakan metode langsung dan metode tidak langsung

Metode Langsung

Metode langsung dengan menggunakan detektor swadaya jenis emitter Rhodium-103. Detektor swadaya terdiri dari emitter, isolator, kolektor dan kawat timah yang menggunakan prinsip dasar peluruhan radioaktif pada proses neutron activated material yang menghasilkan keluaran sinyal arus seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Sketsa yang menunjukkan lintasan dan susunan material pada suatu tipe kolektor [4].

Adapun prinsip operasi detektor swadaya adalah bila ada neutron yang mengaktivasi bahan emitter, maka bahan emitter tersebut akan memancarkan sinar β dengan energi maksimum 2,44 MeV. Jika detektor swadaya diletakkan dalam medan fluks neutron dan kawat emitter dihubungkan ke amperemeter Keithley, maka akan terukur arus listrik yang besarnya sebanding dengan jumlah sinar beta yang dipancarkan tiap detik [4].

Bahan emitter yang menghasilkan arus listrik kemudian dikonversikan menjadi besarnya fluks neutron dengan rumus sebagai berikut:

$$I(t) = \kappa \sigma_{act} Q N \left[1 - \exp\left(-\frac{0,693}{t^{1/2}} t\right) \right] \phi \quad (4)$$

$$\phi = I(t) \left[\kappa \sigma_{act} Q N \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{0,693}{t^{1/2}} t\right) \right\} \right]^{-1} \quad (5)$$

dengan $I(t)$ adalah arus detektor, K konstanta yang bergantung pada geometri dan material detektor, Q menyatakan muatan yang dikeluarkan oleh emitter tiap detik, N jumlah atom emitter, $t^{1/2}$ waktu paro emitter, ϕ fluks neutron yang mengaktivasi bahan emitter-

($\text{ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$), dan σ_{act} tampang lintang aktivasi emitter.

Metode Tidak Langsung

Pengukuran fluks neutron dengan metode tidak langsung atau metode aktivasi dilakukan untuk tujuan kalibrasi detektor swadaya yaitu dengan cara meletakkan suatu material detektor ke dalam medan fluks neutron sehingga terjadi reaksi inti antara atom dengan neutron. Berdasarkan sifat-sifat peluruhan partikel pada pembentukan inti-inti radionuklida oleh reaksi inti dengan neutron dapat untuk mendeteksi adanya medan neutron pada suatu lokasi.

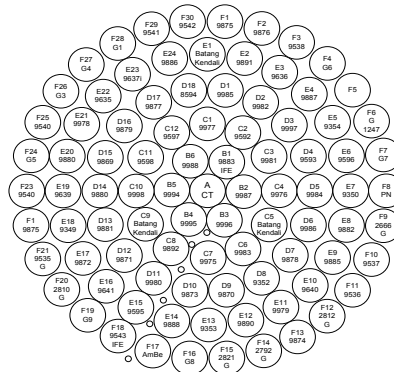
Besarnya fluks neutron pada metode tidak langsung dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4]:

$$\phi = \frac{\lambda C \rho}{\kappa \Sigma_{act} m (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_d} (1 - e^{-\lambda(t_c)})} \quad (6)$$

dengan λ adalah tetapan peluruhan, C jumlah cacah, ρ rapat massa foil yang diaktivasi, ϕ fluks neutron ($\text{ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$), Σ_{act} tampang lintang aktivasi makroskopis, κ konstanta atau efisiensi detektor, t_i lama waktu irradiasi, t_d lama waktu tunggu sebelum dicacah, t_c lama waktu pencacahan, dan m massa cuplikan.

Reaktor Kartini

Dalam penelitian ini yang akan ditentukan distribusinya yaitu pada bagian teras reaktor. Karena teras reaktor merupakan tempat berlangsungnya reaksi pembelahan bahan bakar nuklir. Gambar 2 merupakan konfigurasi bahan bakar teras Reaktor Kartini



Gambar 2 Konfigurasi Bahan Bakar Teras Reaktor Kartini

METODE PENELITIAN

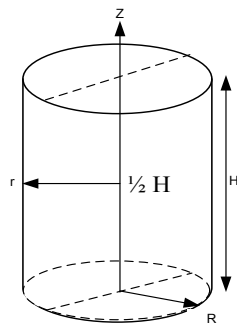
Metode Tidak Langsung

Pengukuran fluks neutron dengan menggunakan metode tidak langsung bertujuan untuk mengkalibrasi detektor swadaya yaitu dengan cara mengaktivasi foil emas pada ring F5 selama 5 menit. Foil emas ini ada yang dibungkus Cadmium dan ada yang tanpa terbungkus Cadmium. Dari foil emas yang terbungkus Cadmium ini bertujuan untuk mendapatkan fluks neutron cepat, sedangkan foil emas tanpa terbungkus bertujuan untuk mendapatkan fluks neutron total. Dalam mengaktivasi foil emas, reaktor dioperasikan pada daya 20 kW, 40 kW, 60 kW, 80 kW, dan 100 kW. Reaktor dihubungkan dengan meter arus Keithley dan detektor swadaya dimasukkan di ring F. Sehingga besarnya arus yang mengalir selama aktivasi dapat terbaca oleh meter arus Keithley.

Metode Langsung

Setelah detektor swadaya dikalibrasi dan diperoleh persamaan kalibrasinya, maka selanjutnya dilakukan pengukuran fluks neutron secara langsung pada teras reaktor dengan detektor swadaya.

Dalam pengukuran fluks neutron secara langsung, reaktor dioperasikan pada daya 100 kW dan detektor swadaya dimasukkan di ring F. Setelah reaktor mencapai kritis, besarnya arus yang timbul dicatat. Kemudian detektor swadaya diangkat setiap selisih jarak 4 cm sampai bahan bakar aktif paling atas. Percobaan yang sama dilakukan pada semua ring dalam teras reaktor dengan asumsi berbentuk silinder berhingga seperti pada gambar 3 berikut.

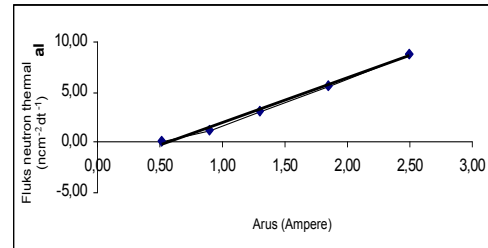


Gambar 3 Reaktor Silinder Berhingga

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Tidak Langsung

Sebelum detektor swadaya digunakan, maka perlu dikalibrasi terlebih dahulu untuk mengetahui besaran sensitivitas detektor. Karena sensitivitas detektor akan berkurang selama pemakaian. Hal ini disebabkan karena berkurangnya jumlah atom-atom bahan emitter akibat proses aktivasi.



Persamaan regresi linear kalibrasi detektor swadaya: $\phi = 4,57 \times 10^{20} I - 2,74 \times 10^{11}$

Gambar. 4 Grafik Kalibrasi Detektor Swadaya

Kalibrasi detektor swadaya dilakukan dengan dua metode. Metode langsung dilakukan dengan detektor swadaya itu sendiri yang dimasukkan pada salah satu kisi ring F dan dihubungkan dengan meter arus Keithley. Metode langsung ini bertujuan untuk memperoleh besarnya arus yang dapat dibaca melalui meter arus pada berbagai tingkat daya. Respon detektor swadaya terhadap arus yang timbul pada meter arus cenderung bersifat lambat. Hal ini disebabkan oleh jenis bahan emitter yang dipakai, karena proses terjadinya arus yang ditimbulkan oleh detektor swadaya adalah terserapnya neutron oleh bahan emitter untuk menjadi aktif dan meluruh memancarkan beta (β).

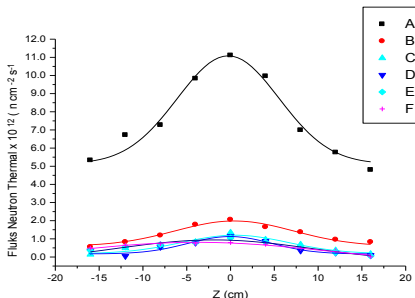
Sedangkan metode tak langsung dilakukan dengan mengaktivasi foil emas pada daya 20 kW, 40 kW, 60 kW, 80 kW, dan 100 kW. Aktivasi foil emas ini bertujuan untuk memperoleh besarnya fluks neutron. Dalam metode tak langsung, aktivitas emas dilakukan dengan dua cara, yaitu aktivitas foil emas tanpa pembungkus dan dengan pembungkus Cadmium. Pada aktivasi tanpa pembungkus Cadmium, seluruh neutron yang dihasilkan dalam teras reaktor dapat berinteraksi dengan

foil emas, maka fluks neutron yang dihasilkan adalah fluks total. Untuk aktivasi foil emas yang dibungkus Cadmium, neutron yang dapat berinteraksi dengan foil emas hanya neutron cepat, Karena neutron tidak dapat menembus Cadmium, maka fluks neutron yang diperoleh adalah fluks neutron cepat. Selisih dari fluks neutron total dengan fluks neutron cepat adalah fluks neutron termal.

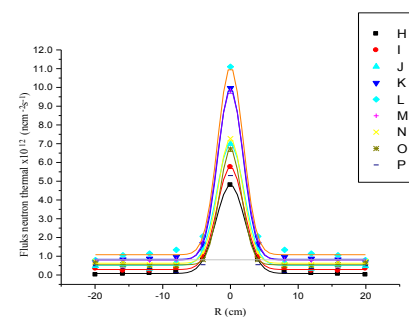
Dalam kalibrasi detektor swadaya, variabel daya berfungsi untuk mendapatkan besarnya fluks neutron dan arus listrik yang bervariasi. Di mana besarnya arus listrik dan fluks neutron berbanding lurus dengan tingkat daya yang digunakan. Sehingga dapat diperoleh persamaan regresi linear hubungan antara arus listrik dan fluks neutron yaitu:

$$\phi = 4,57 \times 10^{20} I - 2,74 \times 10^{11} \quad (7)$$

Pengukuran fluks neutron dengan metode langsung dilakukan dengan menggunakan detektor swadaya. Dari persamaan (7) dapat ditentukan harga fluks neutron termal dalam teras reaktor dengan detektor swadaya seperti terlihat pada gambar 5a dan 5b.



Gambar 5a Grafik Distribusi Fluks Neutron Thermal Arah Aksial. A, B, C,...,F adalah posisi ring dimana tiap-tiap fluks neutron diukur



Gambar 5b Grafik Distribusi Fluks Neutron Thermal Arah Radial untuk tiap-tiap ring A, B, C,..., dan F.

Pengukuran distribusi fluks neutron thermal pada teras Reaktor Kartini dilakukan pada arah aksial dan radial. Dari gambar 5 dapat diketahui bahwa distribusi fluks neutron thermal dalam teras reaktor masih sesuai dengan persamaan (3).

Pada gambar 5.a grafik distribusi fluks neutron thermal arah aksial, pada posisi A mempunyai distribusi fluks neutron paling besar, karena kebolehdjian untuk mengadakan reaksi fisi paling besar dengan persamaan $\phi = 5,10 \times 10^{16} + 5,99 \times 10^{13} e^{-1,47Z^2}$. Harga fluks neutron thermal untuk tiap-tiap posisi pada arah aksial akan mengalami kenaikan dari posisi bahan bakar aktif paling atas sampai pada posisi tengah bahan bakar aktif. Setelah melewati posisi tengah bahan bakar aktif, harga fluks neutron thermal mengalami penurunan sampai pada posisi bahan bakar aktif paling bawah. Hal ini disebabkan karena pada kedua ujung bahan bakar terdapat grafit yang berfungsi sebagai reflektor arah aksial. Karena reflektor tersebut mempunyai sifat dapat memantulkan neutron. Apabila neutron berinteraksi dengan bahan bakar aktif yang berada di kedua ujungnya dan melahirkan neutron baru, maka neutron tersebut akan dipantulkan ke daerah tengah bahan bakar aktif. Sehingga pada kedua ujung bahan bakar aktif harga fluks neutronnya kecil dan akan mengalami kenaikan sampai pada posisi tengah bahan bakar yang mempunyai harga fluks neutron thermal terbesar.

Seperti halnya pada arah aksial, dari gambar 5b grafik distribusi fluks neutron thermal arah radial pada posisi L mempunyai distribusi fluks neutron thermal paling besar dengan persamaan

$\phi = 1,08 \times 10^1 + 1,00 \times 10^{13} e^{-1,41R^2}$. Harga dari fluks neutron termal untuk arah radial yang terbesar terjadi pada posisi tengah teras yaitu pada jarak R sebesar 0 cm atau pada ring A dan harga fluks neutron termal terkecil pada jarak R sebesar -19,94 cm dan 19,94 cm atau pada ring F. Karena pada ring F, selain banyak terdapat *dummy* juga dekat dengan reflektor, di mana keduanya berisi grafit yang berfungsi untuk memantulkan neutron. Sehingga neutron akan dibalikkan ke tengah teras reaktor.

Selain kedua faktor di atas, sumber neutron AmBe juga terdapat pada ring F. Apabila unsur Amerisium berinteraksi dengan

Berillium dan menghasilkan neutron cepat. Neutron tersebut akan bergerak acak dan kemungkinan terbesar akan bergerak ke tengah teras, sebab neutron akan dipantulkan ke tengah apabila bertumbukan dengan reflektor yang berada di dekat ring F. Batang kendali yang berada di dekat ring F juga akan mempengaruhi harga fluks neutron pada ring F menjadi kecil sebab batang kendali bersifat menyerap neutron. Dalam pergerakannya menuju ke bagian tengah teras, walaupun neutron tersebut mengalami perlambatan, tetapi neutron juga akan berinteraksi dengan bahan bakar yang berada pada ring lainnya yang akan melahirkan neutron cepat lagi. Begitu seterusnya sampai pada posisi tengah teras. Karena pada posisi tengah teras atau ring A tidak terdapat bahan bakar, maka pada posisi tengah teras harga fluks neutronnya paling besar. Dari gambar 5b dapat diketahui bahwa pada posisi P nilai fluks neutronnya lebih besar daripada yang berada pada posisi H, walaupun sama-sama berada pada daerah pinggir. Hal ini disebabkan karena pada posisi P terdapat lempengan *molybdenum* yang berfungsi sebagai racun dapat bakar sehingga kemungkinan terjadinya pembakaran yang akhirnya melahirkan neutron lebih besar daripada pada posisi H.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Persamaan kalibrasi detektor swadaya: $\phi = 4,57 \times 10^{20} I - 2,74 \times 10^{11}$
2. Distribusi fluks neutron termal untuk arah aksial dan arah radial dalam teras Reaktor

Kartini sesuai dengan persamaan (2-1) dengan harga terbesar yaitu pada posisi tengah dengan persamaan:

◆ Untuk arah aksial:

$$\phi = 5,10 \times 10^{12} + 5,99 \times 10^{13} e^{-1,47z^2}$$

◆ Untuk arah radial:

$$\phi = 1,08 \times 10^{12} + 1,00 \times 10^{13} e^{-1,41R^2}$$

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Widarto, Bapak Aris Basuki, Ris dan Shoby serta seluruh staf bidang reaktor yang telah membantu dalam proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Prayoto. 1978. Pengantar Teori Reaktor. Yogyakarta: Teknik Nuklir UGM.
- 2 Glasstone, S. and Edlund, M.C. 1963. *The Elements of Nuclear Reactor Theory*. Princeton. New Jersey: DV and Nostrand Company.
- 3 Widarto. 1997. *Analisis Gangguan Reaktivitas Void Sebagai Kajian Pemasangan Fasilitas Irradiasi di Berbagai Ring Teras Reaktor Kartini*. Yogyakarta: Pusat Penelitian Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- 4 Sovka, J.A. 1969. *Response of Cobalt Neutron Fluks Detektor*. Canada: Chalk River Nuclear Laboratories.
- 5 Syarip. 2002. *Dasar Teori Reaktor*. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju Badan Tenaga Nuklir Nasional