

PENGUKURAN FLUKS NEUTRON TERMAL PADA POSISI SAMPEL DARI FASILITAS RADIOGRAFI NEUTRON

Suyatno, Setiawan dan Sutiarto

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

PENGUKURAN FLUKS NEUTRON TERMAL PADA POSISI SAMPEL DARI FASILITAS RADIOGRAFI NEUTRON. Kolimator radiografi neutron yang terpasang pada tabung berkas S-2 reaktor G.A. Siwabessy telah dimodifikasi dengan menambahkan cincin B_4C pada pangkal tengah dan ujungnya. Pengukuran fluks termal paska modifikasi tersebut perlu dilakukan untuk melihat ada perubahan fluks neutron termal pada posisi sampel dari peralatan radiografi neutron tersebut. Telah dilakukan pengukuran fluks neutron termal pada posisi sampel dari fasilitas radiografi neutron di BATAN-Serpong menggunakan metode foil emas pada daya reaktor 15 MW. Hasil pengukuran diperoleh fluks neutron tidak homogen dan harganya berkisar dari $7,94 \times 10^5$ neutron $cm^{-2}s^{-1}$ hingga $7,11 \times 10^7$ neutron $cm^{-2}s^{-1}$ dengan rasio Cd 8,31.

Kata kunci : Radiografi neutron, Kolimator, Fluks neutron termal

ABSTRACT

MEASUREMENT OF THERMAL NEUTRON FLUX AT THE SAMPEL POSITION OF THE NEUTRON RADIOGRAPHY FACILITY. Neutron Radiography collimator attached at the beam tube S-2 of the G.A. Siwabessy reactor has been modified by attaching a B_4C ring at the middle and back part of collimator. Measurement of thermal neutron flux after modification is required to be conducted to see the change of neutron flux. Measurement of thermal neutron flux at the sampel position of neutron radiography facility in BATAN-Serpong has been done using foil method at reactor energy of 15 MW. Result shows that neutron flux is not homogeneous but ranging from 7.94×10^5 neutron of $cm^{-2}s^{-1}$ to 7.11×10^7 neutron of $cm^{-2}s^{-1}$ with a Cd ratio of 8.31.

Key words : Neutron radiography, Collimator, Thermal neutron flux

PENDAHULUAN

Salah satu manfaat dari RSG GAS yang dapat langsung dirasakan oleh dunia industri adalah penggunaan berkas neutron yang dihasilkan untuk uji tak merusak dengan metode radiografi. Radiografi neutron adalah suatu metode pengujian bahan yang sangat efisien tanpa harus merusak bahan yang diuji (*non-destructive test*) dan memiliki kelebihan dibanding sinar-X karena neutron ketika diatenuasi dengan baik oleh bahan khususnya yang mengandung unsur-unsur ringan seperti hidrogen, boron dan karbon [1]. Sebaliknya neutron ditransmisikan dengan baik oleh bahan-bahan yang mengandung unsur berat seperti timah, nikel, besi dan unsur logam lainnya, sehingga benda uji dengan bentuk apapun dapat diperiksa atau diuji tanpa kesulitan berarti. Hal ini sangat diperlukan oleh dunia industri.

Sejak tahun 2000 RSG GAS sudah beroperasi teratur dengan daya 15 MW [2], dan sejak dilakukan modifikasi pada tabung kolimator fasilitas radiografi neutron berupa penambahan cincin dari bahan B_4C pada pangkal tengah dan ujung dari bagian dalam lubang kolimator dengan lebar cincin 20 mm dan tebal 12 mm [3],

namun belum dilakukan pengukuran fluks neutron di tempat cuplikan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran fluks neutron pada fasilitas radiografi neutron untuk mengetahui seberapa besar jumlah neutron yang diterima oleh benda uji.

TEORI

Penentuan Pengukuran Fluks

Pengukuran fluks neutron dilakukan dengan teknik analisis aktivasi neutron yaitu menggunakan foil Au yang diiradiasi dengan neutron di tempat cuplikan. Fluks neutron ditentukan dengan mengukur aktivitas yang dihasilkan setelah foil Au diiradiasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [4] :

$$A = N\phi\sigma(1 - e^{-0.693t/T}) \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- A = Aktivitas imbas setelah diiradiasi selesai (dps)
- N = Cacah butir atom nuklida yang diiradiasi

- ϕ = Fluks neutron (neutron/cm²s)
- σ = Tampang lintang *macroscopic* neutron unsur Au¹⁹⁷ (cm²)
- T = Waktu paruh Au¹⁹⁸ (sec)
- t = Waktu iradiasi (sec)

Untuk mencari harga N dapat ditentukan dengan rumus:

$$N = \frac{N_A \cdot W_Q}{BA} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- N = Cacah atom isotop yang diperhatikan
- N_A = Tetapan Avogadro
- W = Berat unsur dari isotop (g)
- BA = Massa atom relatif unsur Au¹⁹⁷ (g)
- Q = Kelimpahan isotop

Sebelum menghitung nilai fluks neutron, maka dilakukan penghitungan aktivitas dari foil Emas (Au) setelah dilakukan pencacahan dengan persamaan di bawah ini :

$$A = \frac{C}{\epsilon \times I_{\gamma} Au^{-198}} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- A = Aktivitas
- C = Data cacahan (cps)
- I_γ Au⁻¹⁹⁸ = 0,9550 (%)
- ε = Efisiensi detektor

Penentuan Pengukuran Rasio Cd

Rasio Cd merupakan faktor besaran yang menyatakan kekuatan dari spektrum energi berkas neutron untuk menembus sebuah obyek, semakin besar nilai rasio Cd maka kemampuan neutron untuk menembus bahan akan semakin kuat dikarenakan jumlah neutron termalnya semakin besar [5]. Nilai rasio Cd merupakan perbandingan terbalik antara nilai aktivasi total terhadap aktivasi neutron termal dengan persamaan sebagai berikut [6] :

$$A = \frac{C}{\epsilon \times I_{\gamma} Au^{-198}} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

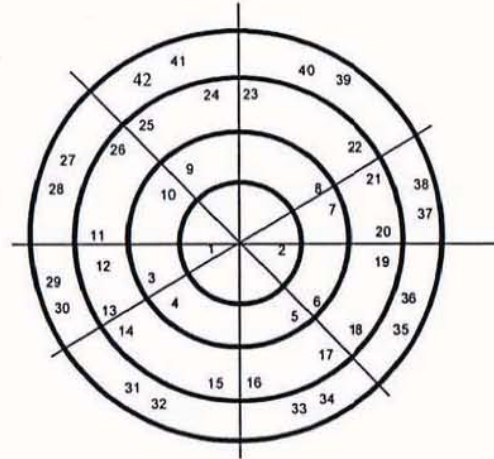
- A_{total} = Jumlah aktifitas neutron termal dan epitermal
- A_{th} = Jumlah aktivitas neutron termal
- A_{epi} = Jumlah aktivitas neutron epitermal

METODE PERCOBAAN

Penyiapan Foil Emas (Au)

Foil Au yang digunakan sebanyak 42 buah, seluruh foil Au tersebut ditimbang satu persatu dengan menggunakan timbangan elektronik tipe A dan tipe D, kemudian didistribusikan pada pelat

aluminium seperti Gambar 1. Pada posisi nomor foil ganjil ditutup dengan lempeng *cadmium* untuk mengukur fluks epitermal, sedangkan posisi nomor genap untuk mengukur fluks neutron termal. Dengan membandingkan keduanya didapat nilai, rasio Cd (*cadmium ratio*).



Gambar 1. Susunan foil Au pada pemegang cuplikan

Iradiasi Dengan Neutron

Pelat Aluminium yang telah ada foil Au diletakkan pada dudukan cuplikan, kemudian diiradiasi selama 8 jam pada daya 15 MW.

Pencacahan Dengan Detektor HPGe

Seluruh foil Au dicacah aktivitasnya dengan detektor *High Purity Germanium (HPGe)*, masing-masing selama 10 menit (600 detik) per foil. Sebelumnya detektor dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan sumber - γ standar Ra²²⁶, Eu¹⁵², Co⁶⁰, Cd¹⁰⁹, Cs¹³⁷ dan Ba¹³³. Hasil pencacahan masing-masing foil Au dapat diketahui dengan menggunakan program *Genie 2000*. Aktivitas unsur diperoleh dengan mencacah foil Au menggunakan detektor *HPGe* dengan penganalisis salur ganda (*MCA*) dilengkapi dengan program *Genie 2000*. Dengan mengetahui aktivitas radiasi γ yang dihasilkan dari peluruhan Au¹⁹⁸, maka dapat diketahui fluks neutron total. Sedangkan fluks neutron epitermal dapat ditentukan dengan menutup foil Au dengan Cadmium (Cd) selama foil tersebut diiradiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran fluks neutron ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 didapat bahwa intensitas fluks neutron total dan fluks epitermal tidak merata antara 1,22 x 10⁶ neutron cm⁻²s⁻¹ sampai dengan 7,22 x 10⁷ neutron cm⁻²s⁻¹ untuk fluks total. Sedangkan untuk fluks epitermal antar 4,25 x 10⁵ neutron cm⁻²s⁻¹

sampai dengan $9,91 \times 10^5$ neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, sehingga rata-rata nilai intensitas fluks epitermal adalah $1,42 \times 10^6$ neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Tabel 1. Fluks neutron total dan epitermal

No	FLUX $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	No	FLUX $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	No	FLUX $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
1	$1,33 \times 10^6$	15	$1,08 \times 10^6$	29	$9,10 \times 10^6$
2	$7,96 \times 10^6$	16	$7,22 \times 10^7$	30	$6,36 \times 10^6$
3	$1,18 \times 10^6$	17	$1,53 \times 10^6$	31	$8,83 \times 10^5$
4	$7,14 \times 10^6$	18	$8,02 \times 10^6$	32	$6,96 \times 10^6$
5	$1,30 \times 10^6$	19	$1,75 \times 10^6$	33	$4,25 \times 10^5$
6	$7,72 \times 10^6$	20	$8,40 \times 10^6$	34	$1,22 \times 10^6$
7	$1,61 \times 10^6$	21	$1,93 \times 10^6$	35	$1,28 \times 10^6$
8	$8,68 \times 10^6$	22	$9,61 \times 10^6$	36	$7,31 \times 10^6$
9	$1,28 \times 10^6$	23	$2,44 \times 10^6$	37	$1,50 \times 10^6$
10	$7,00 \times 10^6$	24	$9,09 \times 10^6$	38	$8,58 \times 10^6$
11	$1,18 \times 10^6$	25	$1,61 \times 10^6$	39	$2,54 \times 10^6$
12	$7,43 \times 10^6$	26	$7,36 \times 10^6$	40	$9,06 \times 10^6$
13	$1,05 \times 10^6$	27	$1,24 \times 10^6$	41	$1,71 \times 10^6$
14	$7,10 \times 10^6$	28	$6,38 \times 10^6$	42	$8,43 \times 10^6$

Pengukuran Fluks Termal

Dalam radiografi neutron intensitas fluks yang digunakan adalah fluks neutron termal, maka untuk mengetahui jumlah fluks neutron termalnya tersebut diperoleh dengan cara nilai fluks neutron total dikurangkan dengan nilai fluks neutron epitermal. Nilai fluks neutron termal dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi fluks termal pada sampel

No foil	Fluks Thermal $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	No foil	Fluks Thermal $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	No foil	Fluks Thermal $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
1 dan 2	$6,63 \times 10^6$	15 dan 16	$7,11 \times 10^7$	29 dan 30	$5,45 \times 10^6$
3 dan 4	$5,96 \times 10^6$	17 dan 18	$6,49 \times 10^6$	31 dan 32	$6,08 \times 10^6$
5 dan 6	$6,42 \times 10^6$	19 dan 20	$6,65 \times 10^6$	33 dan 34	$7,94 \times 10^5$
7 dan 8	$7,07 \times 10^6$	21 dan 22	$7,68 \times 10^6$	35 dan 36	$6,03 \times 10^6$
9 dan 10	$5,72 \times 10^6$	23 dan 24	$6,65 \times 10^6$	37 dan 38	$7,08 \times 10^6$
11 dan 12	$6,25 \times 10^6$	25 dan 26	$5,75 \times 10^6$	39 dan 40	$6,52 \times 10^6$
13 dan 14	$6,04 \times 10^6$	27 dan 28	$5,14 \times 10^6$	41 dan 42	$6,72 \times 10^6$

Dari Tabel 2 didapat bahwa besarnya nilai intensitas fluks termal pun tidak merata, dimana intensitas yang terendah pada posisi foil nomor 33 dan nomor 34 dengan nilai $7,94 \times 10^5$ neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ dan untuk intensitas fluks termal yang tertinggi pada posisi foil nomor 15 dan nomor 16 dengan nilai $7,11 \times 10^7$ neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Sehingga intensitas rata-rata fluks termal adalah $9,16 \times 10^6$ neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Pengukuran Rasio Cd

Rasio Cd merupakan faktor dominan yang mengendalikan penetrasi obyek, semakin besar rasio Cd maka penetrasi terhadap obyek akan semakin kuat dikarenakan jumlah neutron termalnya semakin besar. Untuk menghitung rasio Cd dengan membandingkan antara nilai aktivasi total terhadap aktivasi termal neutron. Nilai rasio Cd dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi rasio Cd pada sampel

No foil	Rasio Cd	No foil	Rasio Cd	No foil	Rasio Cd
1 dan 2	6,00	15 dan 16	66,6	29 dan 30	6,98
3 dan 4	6,06	17 dan 18	5,23	31 dan 32	7,88
5 dan 6	5,94	19 dan 20	4,80	33 dan 34	2,86
7 dan 8	5,38	21 dan 22	4,97	35 dan 36	5,72
9 dan 10	5,45	23 dan 24	3,72	37 dan 38	5,70
11 dan 12	6,27	25 dan 26	4,55	39 dan 40	3,57
13 dan 14	6,72	27 dan 28	5,13	41 dan 42	4,91

Dari Tabel 3 didapat bahwa besarnya rasio nilai Cd pun tidak merata, dimana nilai yang terendah pada posisi foil nomor 33 dan nomor 34 dengan nilai 2,86 dan untuk nilai rasio Cd yang tertinggi pada posisi foil nomor 15 dan nomor 16 dengan nilai 66,6. Sehingga nilai rasio Cd rata-rata adalah 8,31.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran fluks pada fasilitas radiografi neutron setelah modifikasi kolimator adalah ketidakrataan berkas fluks neutron pada sampel dan besarnya nilai intensitas fluks termal pun tidak merata, dimana intensitas yang terendah pada posisi foil nomor 33 dan nomor 34 dengan nilai $7,94 \times 10^5$ neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ dan untuk intensitas fluks termal yang tertinggi pada posisi foil nomor 15 dan nomor 16 dengan nilai $7,11 \times 10^7$ neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Sehingga rata-rata fluks termal adalah $9,16 \times 10^6$ neutron $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ dan rasio Cd rata-rata 8,31.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Drs. Gunawan, M.Sc selaku Kepala Bidang Spektrometri Neutron yang telah mendukung dalam penelitian ini. Penulis juga tidak lupa mengucapkan kepada Sdr. Istanto staf BKAN dan seluruh staf dan teknisi Balai Spektrometri Neutron yang telah membantu kelancaran penulisan ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. J.C. DOMANUS, *Practical Neutron Radiography*, (1992)1-8

- [2]. ABARRUL IKRAM, *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar X ke 5*, P3IB –BATAN, (2003) 27
- [3]. A.INSANI, SUNARDI, SETIAWAN, SUYATNO, WAHYU HAGONO, JUNAEDI, *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar-X ke 5*, P3IB - BATAN, (2003) 110.
- [4]. WISNU SUSETYO, *Spektrometri Gamma*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, (1988) 165.
- [5]. JHON P. BARTON, PETER VON DER HARDT, 1983, *Neutron Radiography I, Proceeding at the First World Conference San Diego, California, USA*, D. Reidel publishing Co, Holland., December 7-10, (1981)
- [6]. B. HAROLD, *Neutron Radiography-Method, Capability and Applications*, 3rdEd., Industrial Quality, inc., Gaithersbrug, MD., 9-45