

Pengukuran Fluks Neutron dan Penentuan Cadmium Ratio pada Difraktometer Neutron Empat Lingkaran / Difraktometer Tekstur (DN2)

Juliyani, Tri Hardi P, Setiawan, Suyatno
Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314

ABSTRAK

Pengukuran Fluks Neutron dan Penentuan Cadmium Ratio pada Difraktometer Neutron Empat Lingkaran/ Difraktometer Tekstur (DN2). Telah dilakukan pengukuran fluks neutron dan penentuan cadmium ratio pada peralatan difraktometer tekstur (DN2). Difraktometer DN2 terutama digunakan untuk penelitian tekstur bahan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur fluks neutron di posisi monokromator dan posisi cuplikan. Pengukuran fluks neutron dilakukan pada daya reaktor 15MW dengan menggunakan beberapa foil emas (Au). Fluks neutron thermal rata-rata yang diperoleh dari hasil pengukuran di posisi monokromator sebesar $(1,609 \pm 0,096) \times 10^9$ n/cm².detik. Fluks neutron thermal rata-rata yang diperoleh dari hasil pengukuran di posisi cuplikan sebesar $(3,811 \pm 1,415) \times 10^5$ n/cm².detik dan diperoleh dari refleksi *bent* monokromator Si (311). Dari pengukuran fluks neutron diperoleh *Cadmium ratio* (Cd rasio) rata-rata di posisi monokromator dan posisi cuplikan, masing-masing sebesar $(6,104 \pm 0,567)$ dan $(1,309 \pm 0,606)$.

Kata Kunci : fluks neutron, cadmium ratio, difraktometer tekstur

ABSTRACT

Neutron flux measurement and cadmium ratio determination have been carried out at texture diffractometer (FCD/TD). The FCD/TD is mainly used for texture research. The aim of this research is to measure neutron flux and to determine cadmium ratio at the monochromator position and the sample position. Neutron flux measurement was carried out at power reactor of 15 MW using some gold (Au) foil samples. Average neutron flux obtained from measurement at the monochromator position equals to $(1,609 \pm 0,096) \times 10^9$ n/cm².second. Average neutron flux obtained from measurement at the sample position equals to $(3,811 \pm 1,415) \times 10^5$ n/cm².second and it is obtained from reflection of bent monochromator of Si (311). From neutron flux measurement, average cadmium ratio at the monochromator and the sample position equals to $(6,104 \pm 0,567)$ dan $(1,309 \pm 0,606)$, respectively.

Keywords : neutron flux, cadmium ratio, texture diffractometer

1 Pendahuluan

Sejak beroperasinya Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS) di Serpong yang memproduksi neutron termal terbukalah kesempatan untuk mengembangkan teknik hamburan neutron untuk penelitian ilmu bahan dan penggunaannya dalam industri. RSG-GAS adalah reaktor jenis *Material Testing Reactor* (MTR), terasnya terdiri dari 40 elemen bakar dan 10 batang kendali menghasilkan fluks neutron di teras $2,5 \times 10^{14}$ n/cm².detik, pada daya maksimum 30 MW termal. Difraktometer Neutron Empat

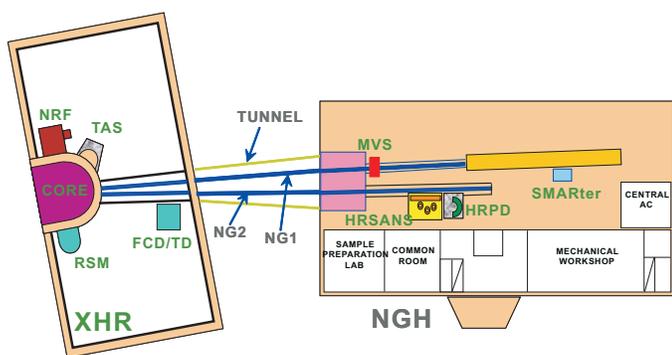
pat Lingkaran/ Difraktometer Tekstur yang juga dikenal sebagai FCD/TD adalah peralatan yang digunakan untuk menentukan struktur kristal tunggal dan tekstur bahan dengan teliti. Dimana analisa tekstur dengan neutron memberikan informasi rata-rata *bulk* lebih lengkap dari pada menggunakan sinar-X, karena daya tembus neutron sangat tinggi.

Mulai tahun 2000 RSG-GAS beroperasi sudah lebih teratur dengan daya 15 MW, dan sejak saat itu peralatan difraktometer neutron FCD/TD belum dilakukan pen-

gukuran fluks pada monokromator dan pada tempat cuplikan. Mengingat manfaat dari peralatan tersebut untuk penelitian bahan, maka sangatlah penting mengetahui fluks neutron di posisi monokromator dan di posisi cuplikan sehingga lamanya waktu pengukuran dapat diperkirakan dengan mudah. Tujuan penelitian ini adalah mengukur fluks neutron di monokromator dan meja sampel/tempat cuplikan difraktometer neutron FCD/TD dengan daya reaktor 15 MW.

2 Teori

Analisa tekstur dengan neutron memberikan informasi rata-rata bulk lebih lengkap dari pada menggunakan sinar-X karena daya neutron sangat tinggi. Ada 6 tabung berkas yang dapat menyalurkan neutron dari teras reaktor, 2 buah diantaranya tangensial (S2 dan S6) dan lainnya radial. Gambar 1 memperlihatkan instalasi dan tata letak peralatan hamburan neutron di dalam balai percobaan reaktor (BPR) dan balai percobaan hamburan neutron (BPHN) [1].



Gambar 1: Tata letak peralatan hamburan neutron [1].

Peralatan dengan teknik difraksi neutron yang dimiliki oleh Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PT-BIN) digolongkan kedalam 3 buah difraktometer neutron, yakni difraktometer neutron untuk mengukur tegangan sisa (DNI-M), difraktometer neutron empat lingkaran/difraktometer tekstur (DN2), dan difraktometer neutron serbuk resolusi tinggi (DN3) atau disebut HRPD.

Difraktometer ini menggunakan teknik difraksi neutron yang bertumpu pada prinsip hukum Bragg. Penggunaan praktis prinsip ini antara lain untuk analisis struktur (menentukan fasa-fasa dalam paduan logam atau mineral), penentuan tekstur bahan, mengukur regangan dalam bahan sehingga dapat ditentukan tegangan internal ataupun yang tersisa dalam bahan. FCD/TD adalah peralatan difraktometer yang digunakan terutama untuk menen-

tukan tekstur bahan dengan teliti, peralatan ini dilengkapi dengan goniometer empat lingkaran. Alat ini dapat juga menentukan tekstur bahan. P

ada umumnya, bahan bakar suatu reaktor atom adalah uranium. Dalam uranium terdapat 2 isotop utama ^{235}U dan ^{238}U . Inti ^{235}U apabila menyerap neutron akan mengalami pembelahan menjadi 2 inti baru sambil melepas 2 atau 3 neutron. Dengan demikian jelas bahwa reaktor atom dapat berfungsi sebagai sumber neutron. Neutron yang dihasilkan langsung dari pembelahan uranium mempunyai tenaga yang sangat tinggi, disebut neutron cepat. Ditinjau dari tenaga yang dimilikinya, neutron dapat digolongkan menjadi [2] neutron cepat yang mempunyai tenaga diatas 0,1 MeV, neutron epitermal mempunyai tenaga antara 0,2 eV - 0,1 MeV dan neutron termal mempunyai tenaga di bawah 0,2 eV. Tenaga neutron yang dihasilkan dari pembelahan ^{235}U berkisar antara $> 0,1$ sampai dengan 20 Mev. Spektrum tenaga neutron tersebut dinamakan spektrum tenaga neutron pembelahan. Besaran yang menyatakan cacah neutron yang melalui satu luasan sebesar 1 cm^2 tiap detik disebut fluks neutron. Pada umumnya reaktor riset mempunyai fluks neutron $10^{11} - 10^{13}\text{ neutron cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Dalam suatu cuplikan, nuklida yang satu dengan yang lain mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam hal menangkap neutron. Ukuran kemampuan penangkapan neutron ini dinyatakan dalam suatu besaran yang disebut tampang serapan neutron (*neutron absorption cross section*) dan biasa diberi lambang σ . Untuk tenaga neutron yang berbeda, suatu nuklida juga mempunyai tampang serapan yang berbeda pula. Satuan tampang serapan neutron adalah *barn* yaitu sama dengan 10^{-24} cm^2 . Analisis pengaktifan neutron menggunakan reaktor atom sebagai sumber neutron tidak dapat dipakai untuk menganalisis unsur-unsur dengan berat atom ringan seperti nitrogen, oksigen dan sebagainya. Teknik analisis pengaktifan neutron dapat dipakai untuk menganalisis kadar unsur-unsur dalam cuplikan tanpa merusak cuplikan tersebut. Penanganan cuplikan perlu dilakukan dengan sangat hati-hati karena, sentuhan tangan misalnya, dapat memberikan cukup “kotoran” yang dapat mengganggu interpretasi spectrum cuplikan. Setelah cuplikan ditimbang dan disiapkan dengan baik, maka cuplikan dapat diiradiasi menggunakan sumber neutron yang sesuai. Atom-atom dalam cuplikan akan menangkap neutron dan berubah menjadi radioaktif yang disebut radioaktivitas imbas (*induced radioactivity*). Setelah iradiasi dilakukan selama t detik, maka besarnya radioaktivitas imbas nuklida tertentu dalam cuplikan dapat dihitung secara teoritis dari

persamaan [2]:

$$A = N\phi\sigma \left(1 - e^{-0,693t/T}\right) \quad (1)$$

di mana ϕ adalah fluks neutron ($n \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), σ adalahampang serapan neutron (cm^2), t adalah waktu iradiasi (detik), dan T adalah waktu paro nuklida radioaktif hasil iradiasi.

Dari persamaan (1) dapat diketahui bahwa untuk suatu cuplikan/radionuklida tertentu yang diiradiasi dengan fluks neutron konstan, besarnya radioaktivitas hanya ditentukan oleh waktu iradiasi. Ternyata bahwa untuk waktu iradiasi $t > T$, besarnya radioaktivitas imbas tidak berubah banyak atau dapat dikatakan bahwa radioaktivitas imbas telah mencapai kejenuhan. Tentu saja besarnya radioaktivitas imbas jenuh dapat dinaikkan jika fluks neutron dinaikkan. Harga N dalam persamaan (1) dapat dihitung jika berat unsur dalam cuplikan diketahui [2]

$$N = \frac{6,023 \times 10^{23} W Q}{BA} \quad (2)$$

dimana N adalah cacah atom isotop yang diperhatikan dalam cuplikan, W adalah berat unsur dari isotop yang diperhatikan (gram), Q adalah kelimpahan isotop, dan BA adalah berat atom isotop tersebut.

Setelah waktu iradiasi cukup atau setelah waktu iradiasi $\sim 5 T$, iradiasi dihentikan dan cuplikan dikeluarkan dari tempat iradiasi. Radionuklida hasil pengaktifan yang berumur pendek harus segera dicacah. Pencacahan dilakukan dengan menggunakan perangkat spectrometer γ yang telah terkalibrasi dengan baik. Setelah pencacahan dihentikan dicatat nomor salur puncak dan juga luas puncak dari nuklida-nuklida yang diinginkan [2]

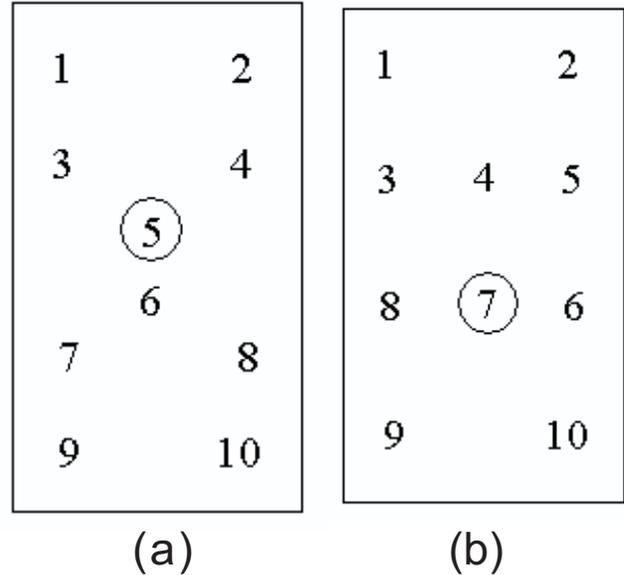
Cadmium rasio merupakan faktor besaran yang menyatakan kekuatan dari spektrum energi berkas neutron untuk menembus sebuah obyek. Semakin besar nilai *Cadmium* rasio maka kemampuan neutron untuk menembus bahan akan semakin kuat, karena jumlah neutron termal semakin besar [3]. Nilai *Cadmium* rasio merupakan perbandingan antara aktivitas total terhadap aktivasi neutron, cadmium ratio didefinisikan oleh [4]:

$$R = \frac{A_{sp}^-}{A_{sp}^+/F_{cd}} \quad (3)$$

dimana A_{sp}^- , A_{sp}^+ adalah aktivitas spesifik yang diperoleh setelah terbuka dan Cd tertutup foil iradiasi, masing-masing, F_{cd} adalah cadmium penyaring faktor transmisi epithermal neutron, yang merupakan koreksi untuk penyerapan laju epithermal *fluence* di kadmium penutup. Secara umum faktor F_{cd} ini kebanyakan ≤ 1 untuk elemen.

2.1 Tata Kerja

Pengukuran fluks neutron peralatan FCD/TD di posisi monokromator dan posisi cuplikan dilakukan pada daya reaktor 15MW. Tahapan kerja yang dilakukan, sebagai berikut [5] :



Gambar 2: (a) Posisi di monokromator, (b) posisi di tempat cuplikan

1. Penyiapan foil Au :

- (a) Foil Au yang digunakan sebanyak 10 buah untuk masing-masing posisi, seluruh foil Au tersebut ditimbang satu persatu dengan menggunakan timbangan elektronik merk ER-180A, kemudian didistribusikan pada pelat Aluminium seperti gambar 1.
- (b) Pada posisi di monokromator (Gambar 2a) nomor foil 5 dan pada posisi di tempat cuplikan (Gambar 2b) nomor foil 7 ditutup Cadmium untuk mengukur fluks epithermal, sedangkan nomor lainnya untuk mengukur fluks neutron.
- (c) Dengan membandingkan foil Au yang ditutup dan yang tidak ditutup kadmium didapat nilai kadmium ratio.

2. Iradiasi dengan neutron [5]:

- (a) Pelat Aluminium (A) yang telah dipasang foil Au nya diletakkan pada posisi monokromator, kemudian diiradiasi selama ± 17 jam pada daya 15 MW.

- (b) Sedangkan pelat Aluminium (B) diletakkan pada posisi tempat cuplikan, kemudian diiradiasi selama $\pm 16,75$ jam pada daya 15 MW.

3. Pencacahan dengan detektor HPGe [5]:

- (a) Seluruh foil Au dicacah aktivitasnya dengan detektor HPGe (*High Purity Ge*), masing-masing selama ± 600 detik per-foil. Sebelumnya detektor dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan sumber γ standar Ra^{226} , Eu^{152} , Co^{60} , Cd^{109} , Cs^{137} dan Ba^{133} .
- (b) Aktivitas unsur diperoleh dengan mencacah foil Au menggunakan detektor HPGe (*High Purity Germanium*) dengan penganalisis salur ganda/ MCA (*Multi Channel Analyser*) dilengkapi dengan program *Genie 2000*.
- (c) Dengan mengetahui aktivitas radiasi γ yang dihasilkan dari peluruhan Au^{198} , maka dapat diketahui fluks neutron total. Sedangkan fluks neutron epitermal dapat ditentukan dengan menutup foil Au dengan Cadmium (Cd) selama foil tersebut diiradiasi.

Menghitung aktifitas dari foil Au, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{C}{\epsilon \cdot I_{\gamma}} \quad (4)$$

dimana A adalah aktivitas (Bq), C adalah data cacahan (cps), I_{γ} adalah kelimpahan isotop Au^{198} di alam (0,9550), ϵ adalah efisiensi detektor ($1,389 \times 10^{-3}$).

3 Hasil dan Pembahasan

Fluks neutron yang dihasilkan dari reaktor terdiri dari fluks neutron epitermal dan termal, namun yang dimanfaatkan untuk fasilitas difraktometer neutron hanya neutron termal. Sampel standar yang digunakan untuk mengukur fluks neutron termal adalah foil Au, karena mempunyaiampang lintang yang besar terhadap neutron dan waktu paro 2,7 hari. Untuk menghitung fluks neutron termal, sebagian foil Au ditutup dengan Cd yang mempunyai atenuasi besar terhadap neutron dan sebagian lagi dibiarkan terbuka. Sebelum menghitung fluks neutron, terlebih dahulu dihitung aktivitas masing-masing foil Au. Dimana semakin besar aktivitas foil Au, maka fluks neutron akan semakin besar juga, demikian sebaliknya. Pengukuran fluks neutron dilakukan dengan teknik analisis pengaktifan neutron, yaitu dengan menggunakan foil Au

yang diiradiasi dengan neutron di tempat cuplikan. Fluks neutron ditentukan dengan mengukur aktivitas yang dihasilkan setelah foil Au diiradiasi. Aktivitas radiasi diperoleh melalui pencacahan foil Au yang dihasilkan dari peluruhan Au^{298} .

Perhitungan :

Tampang lintang Au = $9,865 \times 10^{-23} \text{cm}^2$.

Tetapan Avogadro = $6,023 \times 10^{23}$.

Fluks neutron thermal di posisi monokromator rata-rata = $(1,609 \pm 0,096) \times 10^9 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{detik}$ (Tabel 1).

Fluks neutron thermal di posisi cuplikan rata-rata = $(3,811 \pm 1,415) \times 10^5 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{detik}$ (Tabel 2) dan diperoleh dari refleksi bent monokromator Si (311).

Dengan mengetahui fluks neutron di posisi monokromator dan posisi cuplikan tersebut, maka lamanya waktu pengukuran dapat diperkirakan dengan mudah. Cadmium ratio (Cd rasio) rata-rata di posisi monokromator dan posisi cuplikan, masing-masing = $(6,104 \pm 0,567)$ dan $(1,309 \pm 0,606)$.

Hasil pengukuran fluks neutron peralatan FCD/TD di posisi monokromator dan di posisi cuplikan terlihat pada tabel 1 dan 2. Cadmium ratio di posisi monokromator dan posisi cuplikan dapat dilihat pada Tabel 3. Nomor foil 5 di monokromator dan foil nomor 7 di tempat cuplikan ditutup dengan Cd akan menghasilkan neutron epitermal, karena neutron termal sudah diserap oleh Cd. Nomor foil tersebut tidak diperhitungkan untuk menghitung fluks neutron thermal rata-rata di posisi monokromator dan posisi cuplikan.

4 Kesimpulan

Fluks neutron thermal rata-rata yang diperoleh dari hasil pengukuran di posisi monokromator sebesar $(1,609 \pm 0,096) \times 10^9 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{detik}$. Fluks neutron termal rata-rata yang diperoleh dari hasil pengukuran di posisi cuplikan sebesar $(3,811 \pm 1,415) \times 10^5 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{detik}$ dan diperoleh dari refleksi bent monokromator Si (311). Dari pengukuran fluks neutron diperoleh Cadmium ratio (Cd rasio) rata-rata di posisi monokromator dan posisi cuplikan, masing-masing sebesar $(6,104 \pm 0,567)$ dan $(1,309 \pm 0,606)$.

5 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf, teknisi, serta Kepala Bidang Spektroskopi Neutron PTBIN-BATAN yang telah membantu dan mendukung kelancaran dalam penyiapan penelitian dan Penulisan makalah ini.

Tabel 1: Hasil pengukuran fluks neutron peralatan FCD/TD di posisi monokromator

No.	Berat emas/ Berat atom ($\times 10^{-4}$ mol)	Hitung Iradiasi ($\times 10^4$ detik)	Hitung Dingin ($\times 10^3$ detik)	Aktivitas Au ($\times 10^6$ Bq)	Fluks neutron ($\times 10^9$ n /cm ² .detik)
1	1,274	6,120	3,780	2,117	1,703
2	1,259	6,120	4,560	2,037	1,663
3	1,294	6,120	5,340	1,957	1,557
4	1,122	6,120	6,180	1,702	1,566
5	0,954	6,120	6,900	0,305	0,331
6	1,102	6,120	7,620	1,661	1,563
7	1,239	6,120	8,280	1,947	1,633
8	1,371	6,120	8,940	2,057	1,562
9	1,315	6,120	9,600	2,245	1,781
10	1,218	6,120	10,320	1,699	1,457

Tabel 2: Hasil pengukuran fluks neutron peralatan FCD/TD di posisi tempat cuplikan

No.	Berat emas/ Berat atom ($\times 10^{-4}$ mol)	Hitung Iradiasi ($\times 10^4$ detik)	Hitung Dingin ($\times 10^3$ detik)	Aktivitas Au ($\times 10^2$ Bq)	Fluks netron ($\times 10^5$ n /cm ² .detik)
1	1,365	6,030	1,800	3,456	2,614
2	1,345	6,030	2,623	5,624	4,329
3	0,995	6,030	3,300	3,707	3,866
4	1,320	6,030	3,960	3,020	2,379
5	1,244	6,030	4,659	7,638	6,398
6	1,401	6,030	5,328	7,621	5,678
7	13,350	6,030	6,012	3,874	0,304
8	1,315	6,030	6,683	3,366	2,683
9	1,107	6,030	7,346	3,281	3,113
10	1,244	6,030	8,016	3,827	3,238

Tabel 3: Hasil perhitungan Cd ratio di posisi monokromator dan posisi cuplikan

Posisi monokromator		Posisi cuplikan	
nomor foil	Cadmium Ratio	nomor foil	Cadmium Ratio
3 dan 5	6,406	3 dan 7	0,957
4 dan 5	5,571	4 dan 7	0,780
6 dan 5	5,437	5 dan 7	1,972
7 dan 5	6,373	6 dan 7	1,967
8 dan 5	6,733	8 dan 7	0,869

Daftar Pustaka

- [1] ABARUL IKRAM, Hamburan neutron di BATAN-Serpong, Prosiding seminar Nasional Hamburan Neutron dan sinar X ke 5, P3IB-BATAN, ISSN 1410-7686, Juli 2003.
- [2] WISNU SUSETYO, Spektrometri gamma dan penerapannya dalam analisis pengaktifan neutron, Pusat Penelitian Bahan Murni dan Instrumentasi, BATAN, Gajah Mada Press, 1988.
- [3] JOHN P. BARTON, PETER V.D HARDT, neutron radiography I, proceeding at the first world Conference, San Diego, California -USA, 1983.
- [4] HALUK Y., MUSTAFA K., Experimental determination of the -shape factor in isotopic neutron source-spectrum by dual monitor method, Elsevier, annals of nuclear energy 31 (2004) 681-695.
- [5] ANONIM, Pengukuran fluks neutron di fasilitas radiografi neutron, Instalasi Spektrometri neutron, PPSM-Batan, nomor dok. NDT08, revisi 1, 1999.