

PENGARUH KENAIKAN ARUS DEUTRON DAN WAKTU IRADIASI TERHADAP FLUKS NEUTRON DARI GENERATOR NEUTRON PADA ANALISIS AKTIVASI FOIL MnCu

Elin Nuraini, E.Supriatni

Puslitbang Teknologi Maju - Batan

ABSTRAK

PENGARUH KENAIKAN ARUS DEUTRON DAN WAKTU IRADIASI TERHADAP FLUKS NEUTRON DARI GENERATOR NEUTRON PADA ANALISIS AKTIVASI FOIL MnCu. Telah dilakukan pengukuran fluks neutron cepat yang dihasilkan oleh generator berdasarkan reaksi D-T dengan variasi arus deuteron dan waktu iradiasi. Pengukuran dilakukan dengan metode analisa aktivasi menggunakan foil MnCu sebagai cuplikan standar. Variasi arus deuteron adalah 400, 500, 600, 700, dan 750 μA . Sedangkan variasi waktu iradiasi adalah 10, 20, 30, dan 40 menit untuk masing-masing variasi arus. Pencacahan dilakukan dengan menggunakan detektor NaI(Tl) yang dirangkai dengan komputer dengan program accuspec sebagai MCA. Hasil yang diperoleh bahwa arus deuteron meningkat dengan meningkatnya fluks neutron terdeteksi yaitu $(3,1 \text{ s/d } 3,8) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$, $(4,5 \text{ s/d } 10,1) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$, $(7,8 \text{ s/d } 26,0) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$, $(10,5 \text{ s/d } 21,2) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$, dan $(20,0 \text{ s/d } 46,0) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$ untuk arus 400 μA , 500 μA , 600 μA , 700 μA , dan 750 μA . Sedangkan dari empat macam variasi waktu diperoleh fluks neutron yang fluktuatif.

Kata kunci : Fluks neutron, Aktivasi

ABSTRACT

INFLUENCE OF INCREASING DEUTRON BEAM CURRENT AND IRRADIATION TIME ON THE NEUTRON FLUX OF NEUTRON GENERATOR ON ACTIVATION ANALYSIS MnCu FOIL. The fast neutron flux which is produced in neutron generator based on D-T reaction has been measured as a function of deuteron beam current and irradiation time. The measurement was done by fast neutron activation analysis method using MnCu foil as standard sample. The deuteron beam current variation were 400, 500, 600, 700, and 750 μA . The irradiation time variation were 10, 20, 30, and 40 minutes. Gamma rays that emitted as an irradiation product was analyzed by gamma accuspec spectrometer using NaI(Tl) detector. It was shown that neutron flux increase with the increasing of deuteron beam current which were $(3,1 \text{ s/d } 3,8) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$, $(4,5 \text{ s/d } 10,1) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$, $(7,8 \text{ s/d } 26,0) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$, $(10,5 \text{ s/d } 21,2) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$, dan $(20,0 \text{ s/d } 46,0) \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{dt}^{-1}$ for 400 μA current, for 500 μA current, for 600 μA current, for 700 μA current, and for 750 μA current. While from time variation, it was found that the fluxes were fluctuated.

Key Word : Neutron flux, Activation.

PENDAHULUAN

Reaksi nuklir pada dasarnya adalah interaksi antara dua partikel, yaitu partikel penumbuk berkecepatan tinggi yang disebut proyektil dan partikel berkecepatan rendah atau bahkan diam sama sekali yang disebut target. Reaksi nuklir yang dikehendaki dapat diperoleh dengan suatu peralatan yang memungkinkan terjadinya reaksi nuklir, yang dikenal dengan akselerator atau pemercepat partikel. Pada penelitian ini akselerator yang digunakan adalah akselerator generator neutron yang satu diantara pemanfaatannya adalah untuk analisa

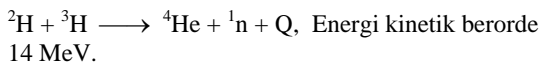
aktivasi neutron cepat. Metode analisa aktivasi neutron merupakan teknik yang paling peka untuk pengujian/penentuan unsur-unsur dari bahan dibanding teknik lainnya seperti AAS dan NAA^[1]. Metode analisa aktivasi neutron merupakan metode penentuan unsur-unsur yang sekaligus dapat menentukan kadarnya secara bersamaan tanpa pemisahan kimia, tanpa merusak dan dapat dilakukan dalam waktu yang relatif cepat. Kadar unsur dalam cuplikan, kualitatif maupun kuantitatif ditentukan berdasarkan aktivitas radioisotop yang dihasilkan dalam proses aktivasi. Syarat yang harus dipenuhi pada metode ini antara lain : (a) tampang

lintang penangkapan neutron cukup tinggi agar jumlah transmudasi cukup banyak dalam waktu aktivasi yang relatif pendek dengan fluks neutron yang cukup, (b) penyinaran harus menghasilkan zat radioaktif yang mempunyai umur paro yang cukup panjang agar dapat dilakukan pencacahan, tetapi cukup pendek untuk memberikan aktivitas yang cukup tinggi. Metode analisa aktivasi neutron selain digunakan untuk menentukan kadar unsur dalam suatu cuplikan, juga dapat dimanfaatkan untuk mengukur fluks neutron. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh kenaikan arus deuteron dan waktu irradiasi terhadap fluks neutron dengan metode analisa aktivasi neutron cepat dari generator neutron merk SAMES tipe J25-150 kV.

TEORI

Reaksi Inti Penghasil Neutron

Neutron hasil penembakan suatu sasaran dengan isotop hidrogen ²H dicetuskan oleh J.R.Oppenheimer dan M.Phillips, sehingga proses ini dinamakan reaksi Oppenheimer-Phillips. Reaksi yang digunakan pada generator neutron adalah ³H (d,n) ⁴He atau reaksi D,T. Persamaan reaksinya dapat ditulis :



Analisa Aktivasi Neutron

Metode analisa aktivasi neutron pada dasarnya adalah metode analisa dengan menggunakan reaksi inti. Cuplikan yang akan dianalisa diaktivasi, yaitu ditembaki neutron dari sumber neutron. Reaksi terjadi antara neutron dengan inti dari atom unsur-unsur dalam cuplikan, sehingga cuplikan menjadi

radioaktif dan memancarkan sinar γ. Energi sinar γ bersifat karakteristik untuk masing-masing unsur pemancarnya, sehingga dengan spektrometri γ dapat dianalisa unsur pemancarnya baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan berdasarkan energi sinar-γ yang dipancarkan. Sedangkan analisis kuantitatif dilakukan dengan mencacah intensitas sinar-γ. Inti radioaktif hasil aktivasi dalam cuplikan dapat diidentifikasi berdasarkan jenis radiasi, energi radiasi, intensitas radiasi dan waktu paro. Dua peristiwa terjadi sekaligus selama proses aktivasi, yaitu pembentukan radionuklida dan peluruhan radioaktif. Laju bersih pembentukan radionuklida merupakan selisih antara laju produksi total dengan laju peluruhannya. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut^[2] :

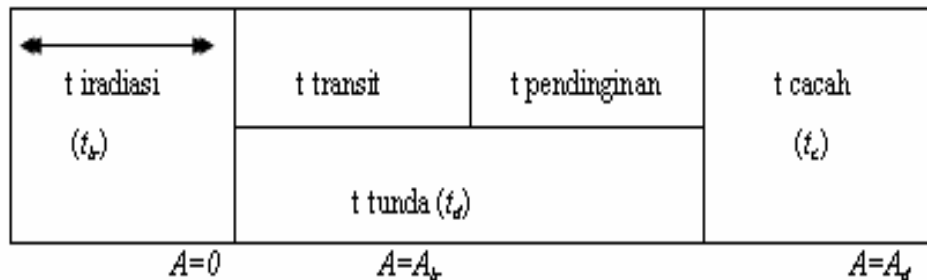
$$\frac{dn}{dt} = \left(\frac{dn}{dt}\right)_{produksi} - \left(\frac{dn}{dt}\right)_{peluruhan}$$

$$= \Phi \sigma N_T - \lambda_n \tag{1}$$

dengan

- n = jumlah nuklida yang terbentuk
- φ = fluks neutron (neutron per cm² detik)
- σ = tampang lintang reaksi (cm²)
- N_T = jumlah nuklida sasaran
- λ = tetapan peluruhan radionuklida yang terbentuk.

Untuk memperoleh informasi maksimum pada analisis unsur maka harus diberikan waktu tunda sebelum dilakukan pencacahan. Waktu tunda ini lazim disebut sebagai waktu pendinginan (*cooling time*). Pada Gambar 1 diberikan diagram waktu aktivasi neutron :



Gambar 1. Diagram waktu pada analisis peng-aktifan neutron.

Aktivitas radionuklida pada saat t_d setelah berakhirnya aktivasi adalah :

$$A_d = A_{ir} e^{-\lambda t_d}$$

$$= \Phi \sigma N_T (1 - e^{-\lambda t_{ir}}) e^{-\lambda t_d} \quad (2)$$

$$N_T = \frac{m N_A}{B_A} a$$

dengan,

N_T = jumlah nuklida sasaran

M = massa unsur yang dideteksi (gram)

N_A = bilangan Avogadro, = $6,023 \times 10^{23}$ atom/gram

B_A = berat atom

A = Kelimpahan isotop

Jika sampel teraktivasi selama waktu tak terhingga, besarnya radioaktivitas tidak berubah, sehingga dapat dikatakan bahwa radioaktivitas telah mencapai kejenuhan. Aktivasi akan mencapai keadaan jenuh jika sampel diaktivasi selama kurang lebih lima kali waktu paruhnya. Jumlah cacah kejadian peluruhan selama waktu pencacahan t_c adalah :

$$C = \int_{t=0}^{t_c} k A_d e^{-\lambda t} dt$$

$$= k \frac{\Phi \sigma N_T}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_{ir}}) e^{-\lambda t_d} (1 - e^{-\lambda t_c}) \quad (3)$$

dengan $k = \varepsilon Y$ adalah tetapan yang mengandung faktor efisiensi detektor (ε) dan prosentase peluruhan gamma yang disebut gamma yield (Y).

Sehingga persamaan (3) dapat ditulis :

$$C = \frac{m N_A}{B_A} a \frac{\Phi \sigma Y \varepsilon}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_{ir}}) e^{-\lambda t_d} (1 - e^{-\lambda t_c}) \quad (4)$$

Persamaan (4) tersebut adalah persamaan dasar dari aktivasi neutron.

Perhitungan Produksi Neutron

Banyaknya neutron yang dihasilkan tiap detik dalam reaksi inti sebanding dengan fluks partikel penumbuk dan banyaknya inti target. Secara matematik dapat ditulis :

$$F = N \phi \sigma \quad (5)$$

$$\phi = 6,25 \times \frac{I \times 10^{18}}{Z} \quad (6)$$

dengan, I = arus berkas (Ampere) dan Z adalah muatan partikel (Coulomb). Sebagai contoh muatan dari sebuah deuteron tunggal sama dengan $1,6 \times 10^{-19}$ C. Oleh karena itu 1 Ampere arus deuteron ekuivalen dengan $6,25 \times 10^{18}$ deuteron/detik.

Metode Relatif

Penentuan nilai konsentrasi atau kadar m (massa) dalam cuplikan dapat dilakukan dengan metode mutlak atau dengan metode relatif. Dalam penelitian ini, untuk menghitung kadar cuplikan digunakan metode relatif atau komparatif, untuk itu diperlukan cuplikan standar yang mengandung unsur yang akan ditentukan, dimana jumlah dan komposisi telah diketahui dengan pasti. Cuplikan standar tersebut disiapkan dengan perlakuan yang sama seperti cuplikan yang diselidiki dan diiradiasi bersama-sama, sehingga mengalami paparan neutron yang sama besarnya. Dengan jalan membandingkan laju cacah cuplikan dan standar, maka dapat dihitung kadar unsur di dalam cuplikan. Untuk menghitung kadar cuplikan yang diselidiki, dihitung dengan rumus^[2] :

$$W = \frac{CPS_{cuplikan}}{CPS_{s\ tan\ dar}} \times W_{s\ tan\ dar} \quad (5)$$

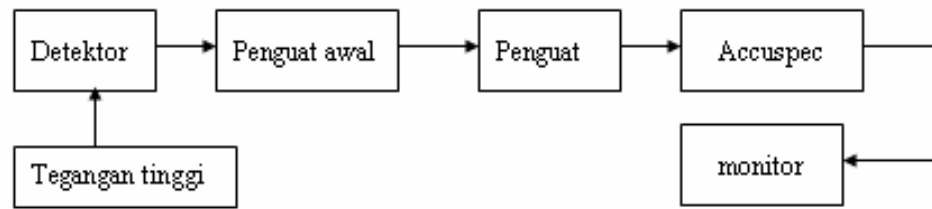
dengan ,

W = berat unsur yang diselidiki

$W_{standar}$ = berat unsur standar

Spektroskopi γ

Pengamatan terhadap radiasi sinar γ dari isotop hasil aktivasi yang didasarkan pada reaksi (n, γ) dilakukan dengan analisa spektroskopi hasil pencacahan. Piranti pencacahan ditunjukkan pada Gambar 2. Radiasi sinar γ yang dipancarkan sumber, dalam hal ini bahan yang sudah diaktivasi mengenai detektor dan menghasilkan *kelipan*, kemudian mengenai fotokatoda pada *photomultiplier tube* (PMT). Elektron-elektron dari fotokatoda akibat kelipan tersebut dilipatkan, kemudian keluar sebagai pulsa muatan yang kemudian diubah menjadi pulsa tegangan oleh penguat awal (pulsa tersebut selanjutnya dikuatkan oleh main amplifier dan dicacah dengan analisator salur ganda atau MCA (*Multi Channel Analyzer*) yang dihubungkan dengan komputer. Hasil pencacahan berupa spektrum energi γ (sumbu-X) dan intensitas (cacah/detik) (sumbu Y) ditampilkan pada layar monitor.



Gambar 2. Sistem spektrometri gamma.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini :

a. Foil MnCu

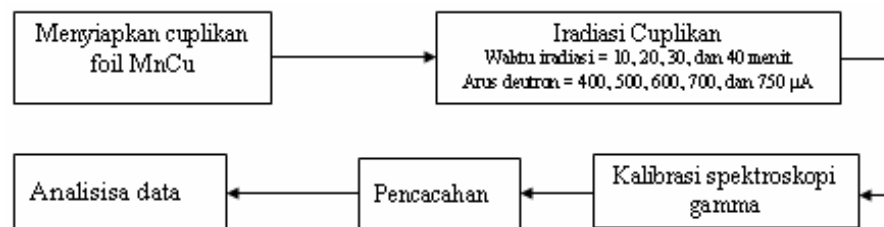
b. Generator neutron merk SAMES tipe J25-150 kV

c. Sistem pencacah dengan detektor NaI(Tl)

d. Stopwatch

e. Surveymeter

Skema Penelitian



Gambar 3. Skema penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Energi

Sebelum dilakukan pencacahan, maka harus dilakukan terlebih dahulu kalibrasi energi pada alat cacah (*AccuSpec*). Kalibrasi energi ini dilakukan dengan tujuan agar dalam pencacahan cuplikan diperoleh hubungan antara nomor salur (kanal) yang bersesuaian dengan energi cuplikan. Untuk kalibrasi energi digunakan sumber standar Cs-137 dan Co-60 yang memancarkan sinar gamma dengan energi 662 keV (Cs), 1173 keV (Co) dan 1332 keV (Co).

Perhitungan Fluks Neutron

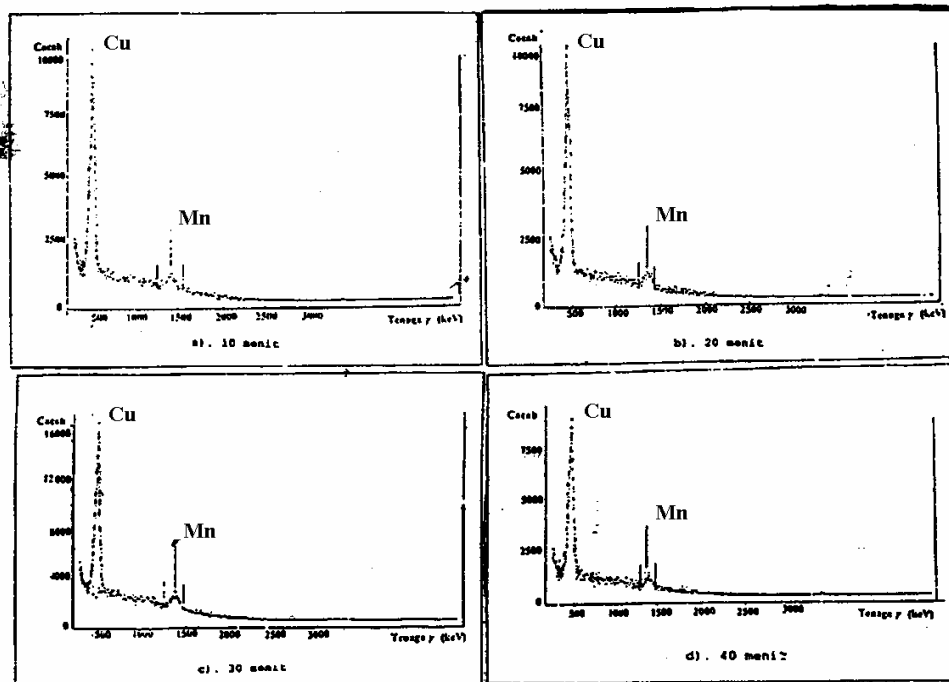
Perhitungan fluks neutron pada penelitian ini menggunakan persamaan (4) dan hasilnya dapat ditampilkan pada Tabel 1.

Dari data terlihat bahwa energi γ yang terdeteksi antara (490 s/d 509) keV yang menunjukkan hasil cacah isotop Cu-62. Energi γ yang dipancarkan oleh isotop hasil aktivasi Cu-63 adalah 511 keV. Ketidaktepatan pengukuran tenaga γ ini disebabkan oleh rendahnya daya resolusi detektor NaI(Tl) dengan FWHM sebesar 50 keV. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah foil MnCu dengan kemurnian 99,72 %. Ketidakmurnian sebesar 0,28 % disebabkan oleh adanya impuritas unsur lain yaitu Ni (0,25 %), Fe (0,02 %), Cr (0,001 %), Si (0,005 %), dan Ca (< 0,002 %). Kadar unsur ini sangat kecil sehingga tidak akan mengganggu analisa hasil pencacahan. Hal ini tampak dari spektrum energi γ hasil pencacahan (Gambar 4), dimana hanya terdapat dua puncak energi γ yang berasal dari isotop hasil aktivasi unsur penyusun foil MnCu yaitu Cu dan Mn, serta tidak tampak adanya puncak energi dari unsur-unsur pengotor tersebut. Menurut Natsir fluks neutron

berbanding lurus dengan arus deuteron^[4]. Hasil yang diperoleh Natsir dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Data hasil eksperimen.

Arus Deutron (μA)	Waktu Irradiasi (menit)	Tenaga γ Terdeteksi (keV)	Cacah Total	Fluks Neutron (× 10 ⁶ cm ⁻² .dt ⁻¹)
400	10	496,46	4040 ± 6,0	3,6 ± 0,2
	20	493,40	2330 ± 5,0	3,3 ± 0,2
	30	493,55	4540 ± 7,0	3,8 ± 0,2
	40	490,96	3330 ± 6,0	3,1 ± 0,2
500	10	480,36	9050 ± 1,0	7,7 ± 0,4
	20	481,76	8120 ± 9,0	7,3 ± 0,4
	30	483,92	11030 ± 1,0	10,1 ± 0,6
	40	484,40	3400 ± 6,0	4,5 ± 0,3
600	10	506,38	12200 ± 1,0	12,5 ± 0,7
	20	503,04	11860 ± 1,0	10,6 ± 0,6
	30	506,77	16400 ± 1,0	26,0 ± 2,0
	40	505,76	9100 ± 1,0	7,8 ± 0,5
700	10	491,06	18220 ± 1,0	21,2 ± 0,9
	20	492,66	17560 ± 1,0	13,1 ± 0,6
	30	494,21	30300 ± 2,0	19,6 ± 0,9
	40	492,30	17300 ± 1,0	10,5 ± 0,5
750	10	503,36	24470 ± 2,0	37,0 ± 2,0
	20	507,42	24640 ± 2,0	25,0 ± 1,0
	30	508,76	52240 ± 2,0	46,0 ± 3,0
	40	506,52	23950 ± 2,0	20,0 ± 1,0



Gambar 4. Spektrum energi γ hasil cacah dari sampel MnCu yang diiradiasi dengan arus deuteron 600 μA dengan variasi waktu iradiasi : a) 10 menit, b) 20 menit, c) 30 menit, d) 40 menit.

Tabel 2. Hasil percobaan Natsir.

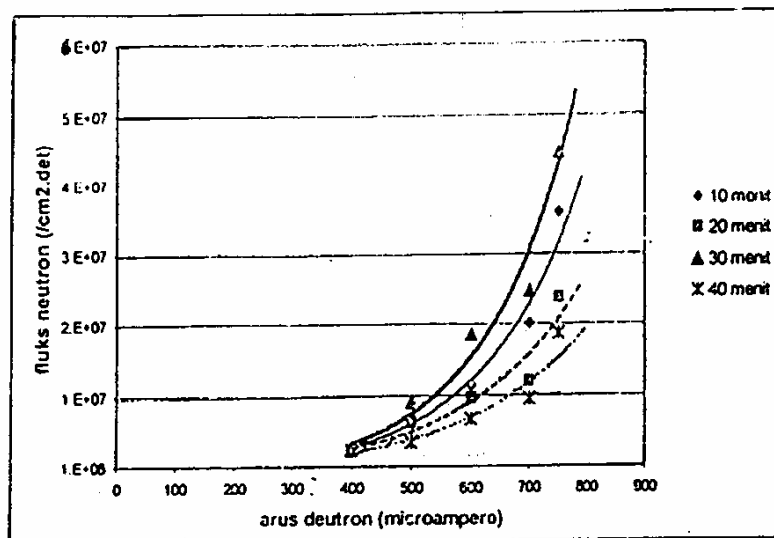
Arus deuteron (μA)	Fluks neutron ($\text{cm}^{-2}.\text{det}^{-1}$)
500	$1,9 \times 10^6$
600	$2,5 \times 10^6$
700	$3,5 \times 10^6$

Sumber : Natsir, 1992

Grafik hubungan antara fluks neutron dengan arus deuteron pada percobaan ini (Gambar 5) menunjukkan kecenderungan meningkatnya fluks neutron dengan semakin besarnya arus deuteron. Arus deuteron semakin besar berarti semakin banyak ion deuteron menumbuk target tritium, sehingga semakin besar pula kebolehhadiah terbentuknya neutron. Teori menyebutkan pula bahwa target tritium tidak bisa digunakan secara terus-menerus, karena akan meyebabkan fluks neutron akan menurun dan kurang efektif untuk aktivasi. Target yang digunakan pada penelitian ini sudah cukup lama digunakan dengan frekuensi penggunaan yang cukup sering sehingga diperkirakan berkas deuteron tidak bisa menumbuk tritium secara efektif karena jumlah tritium dalam target sudah jauh berkurang dari kondisi awalnya. Menurut Nargolwalla rata-rata untuk setiap 10^5 atom tritium yang hilang dalam

reaksi D-T hanya satu neutron yang dihasilkan^[2]. Hal ini berpengaruh pada penurunan fluks neutron dari satu pengoperasian ke pengoperasian berikutnya seperti yang terjadi pada eksperimen ini. Besarnya fluks yang dihasilkan pada pengoperasian generator neutron dari waktu ke waktu tidak sama meskipun dengan arus deuteron yang sama. Fluks neutron pada semua arus deuteron dengan waktu iradiasi 10 menit tampak lebih besar daripada fluks neutron pada iradiasi 20 menit dan 40 menit. Hal ini karena harga fluks neutron dihitung berdasarkan cacah radiasi yang terdeteksi. Cacah radiasi menunjukkan aktivasi radioisotop yang terbentuk. Selama proses aktivasi terjadi pembentukan isotop sekaligus peluruhan. Sebagian Cu-63 yang telah teraktivasi menjadi Cu-62 dengan waktu paruh 9,78 menit pada waktu iradiasi 10 menit dan radioisotop yang terbentuk belum habis meluruh.

Pada aktivasi 20 menit sebagian radioisotop yang terbentuk habis meluruh. Sedangkan aktivasi dengan waktu iradiasi 30 menit menghasilkan fluks neutron tertinggi bahkan lebih tinggi daripada waktu iradiasi 40 menit. Hal ini karena dengan waktu cacah 30 menit radioisotop yang terbentuk telah mencapai kondisi jenuh (*saturation*) karena waktu paro dari Cu 9,7 menit, artinya seluruh nuklida sasaran telah teraktivasi. Hal ini menjelaskan pula mengapa pada waktu iradiasi 40 menit fluks neutron justru lebih rendah, dimana pada 10 menit terakhir waktu aktivasi tidak lagi terbentuk radioisotop, jadi hanya terjadi peluruhan dimana laju pembentukannya nol.



Gambar 5. Grafik fluks neutron vs arus deuteron dengan variasi waktu iradiasi.

KESIMPULAN

Aktivasi dengan variasi waktu iradiasi 10 menit, 20 menit, 30 menit, dan 40 menit menghasilkan fluks neutron yang fluktuatif. Hasil pengoperasian generator neutron dengan variasi arus 400 μA , 500 μA , 600 μA , 700 μA , dan 750 μA menunjukkan kecenderungan meningkatnya fluks neutron yaitu antara $(3,1 \text{ s/d } 3,8) \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{dt}^{-1}$, $(4,5 \text{ s/d } 10,1) \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{dt}^{-1}$, $(7,8 \text{ s/d } 26,0) \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{dt}^{-1}$, $(10,5 \text{ s/d } 21,2) \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{dt}^{-1}$, dan $(20,0 \text{ s/d } 46,0) \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{dt}^{-1}$ untuk arus 400 μA , 500 μA , 600 μA , 700 μA , dan 750 μA .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] GOEIJ, HOUTMAN, *Neutron Analysis Activation Used in Environment Pollution Problems*, Interuniversitair Reactor Institute Delft, 1971.
- [2] NARGOLWALLA, *Activation Analysis With Neutron Generator*, New York : John Willey & Sons, 1973.
- [3] ERDTMANN, GERHARD, *Neutron Activation Tables*, Kernchemie in Einzeldarstellungen Volume 6. New York : Weinheim, 1976.
- [4] NATSIR, *Batas Deteksi Metode Aktivasi Neutron Cepat Untuk Beberapa Unsur Dengan*

Facilitas Generator Neutron, Skripsi, FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1992.

TANYA JAWAB

A. Bintarti

– Diteliti pengaruh kenaikan arus deuteron dan waktu iradiasi. Apakah penelitian ini hanya sekedar untuk mengetahui pengaruh kenaikan arus dan waktu iradiasi pada analisis aktivasi dengan foil MnCu? Jika tidak sekedar mengetahui pengaruh saja lantas pada kondisi mana yang memberikan analisis yang optimum?

Elin N.

– Pada penelitian ini memang benar hanya meneliti pengaruh arus deuteron dan waktu iradiasi terhadap fluks neutron. Hasil optimum dicapai pada kondisi waktu iradiasi 30 menit, waktu cacah 30 menit, dan arus deuteron 750 μA diperoleh fluks neutron sebesar $46 \pm 3 \times 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{dt}^{-1}$. Hal ini disebabkan karena pada waktu cacah 30 menit radio isotop yang terbentuk mencapai kondisi jenuh artinya seluruh nuklida sasaran telah teraktivasi