

PERHITUNGAN PEMBUATAN KADMIUM-109 UNTUK SUMBER RADIASI XRF MENGUNAKAN TARGET KADMIUM ALAM

Rohadi Awaludin

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR), BATAN
Kawasan Puspiptek, Tangerang, Banten

ABSTRAK

PERHITUNGAN PEMBUATAN KADMIUM-109 UNTUK SUMBER RADIASI XRF MENGGUNAKAN TARGET KADMIUM ALAM. Radioisotop kadmium-109 merupakan salah satu sumber radiasi yang digunakan pada X-ray fluorescence (XRF). Untuk itu telah dilakukan kajian produksi sumber radiasi kadmium-109 untuk XRF melalui aktivasi neutron dengan sasaran kadmium alam di *Central Irradiation Position* (CIP) reaktor G.A. Siwabessy. Pada perhitungan ini digunakan target kadmium alam berbentuk pelet dengan diameter 2,8 mm dan panjang 2,8 mm. Hasil kajian menunjukkan bahwa ^{109}Cd dengan radioaktivitas 17,53 MBq dapat dihasilkan pada saat *end of irradiation* (EOI) dengan waktu iradiasi selama 12 hari. Radioisotop lain yang turut dihasilkan dalam iradiasi ini berupa ^{107}Cd , $^{115\text{m}}\text{Cd}$, ^{115}Cd , $^{117\text{m}}\text{Cd}$ dan ^{117}Cd dengan radioaktivitas saat EOI masing-masing sebesar 1257 MBq, 177 MBq, 8451 MBq, 376 MBq dan 188 MBq. Setelah beberapa bulan, radioisotop pengotor yang masih menyisa adalah $^{115\text{m}}\text{Cd}$. Untuk mendapatkan radioaktivitas ^{109}Cd dengan kemurnian radionuklida 99,0% diperlukan waktu peluruhan selama 16,4 bulan. Radioaktivitas ^{109}Cd sebesar 8,38 MBq setelah peluruhan 16,4 bulan dari saat akhir iradiasi. Untuk mendapatkan kemurnian radionuklida 99,9% diperlukan waktu peluruhan selama 21,9 bulan. Radioaktivitas ^{109}Cd sebesar 6,58 MBq setelah waktu peluruhan tersebut.

Kata kunci: kadmium-109, kadmium alam, aktivasi neutron

ABSTRACT

CALCULATION OF CADMIUM-109 PRODUCTION FOR XRF RADIATION SOURCE USING NATURAL CADMIUM TARGET. Cadmium-109 is used as radiation source in the X-ray fluorescence (XRF). A study on production of the source by neutron activation at G.A. Siwabessy Reactor using natural cadmium has been carried out. A natural cadmium pelet with diameter 2,8 mm and length 2,8 mm was used in the calculation. Calculation results showed that ^{109}Cd with radioactivity 17.53 MBq was obtained at the end of irradiation (EOI) for 12 days of irradiation. Radioisotopes of ^{107}Cd , $^{115\text{m}}\text{Cd}$, ^{115}Cd , $^{117\text{m}}\text{Cd}$ dan ^{117}Cd were produced in the irradiation with radioactivity 1257 MBq, 177 MBq, 8451 MBq, 376 MBq and 188 MBq respectively. After several months, radioisotope of $^{115\text{m}}\text{Cd}$ still remained in the irradiated cadmium. For obtaining radioactivity of ^{109}Cd higher than 99.0%, the irradiated cadmium should be decayed for 16.4 months. Radioactivity of ^{109}Cd was 8.38 MBq after 16.4 months of decay. For obtaining ^{109}Cd higher than 99.9%, the irradiated cadmium should be decayed for 21.9 months from end of irradiation. Radioactivity of ^{109}Cd was 6.58 MBq after 21.9 months of decay.

Keywords: cadmium-109, natural cadmium, neutron activation.

PENDAHULUAN

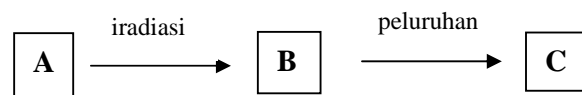
X-ray fluorescence (XRF) merupakan salah satu metode analisa unsur dengan memanfaatkan sinar-X karakteristik setelah elektron unsur tersebut tereksitasi. Salah satu metode eksitasi adalah dengan memanfaatkan radiasi dari radioisotop. Kadmium-109 (^{109}Cd) merupakan salah satu radioisotop yang digunakan untuk keperluan ini. Radioisotop ^{109}Cd memiliki waktu paro yang relatif panjang (463 hari) sehingga dapat digunakan dalam waktu relatif lama. Beberapa perangkat XRF direkomendasikan mengganti sumber radiasi ^{109}Cd setiap 3 tahun. Kadmium-109 meluruh melalui *electron capture* (EC) menjadi perak-109m ($^{109\text{m}}\text{Ag}$) yang memiliki waktu paro sangat pendek (39,6 detik). Radioisotop $^{109\text{m}}\text{Ag}$ ini segera meluruh menjadi ^{109}Ag melalui *isomeric transition* (IT) dengan melepaskan radiasi gamma berenergi 0,0880 MeV dengan intensitas 3,6% [1]. Radiasi gamma dengan energi ini cukup untuk menyebabkan eksitasi elektron berbagai unsur. Nilai radioaktivitas yang digunakan bervariasi antara 3,7 MBq – 37 GBq [2].

Kadmium-109 dapat dibuat melalui 2 metode, yaitu melalui aktivasi menggunakan partikel bermuatan dan aktivasi menggunakan neutron. Pada pembuatan melalui aktivasi partikel bermuatan, produksi dilakukan menggunakan partikel deuteron dengan sasaran perak-109 melalui reaksi $^{109}\text{Ag}(d,2n)^{109}\text{Cd}$.

Sedangkan pembuatan dengan aktivasi neutron dilakukan dengan sasaran ^{108}Cd melalui reaksi $^{108}\text{Cd}(n,\gamma)^{109}\text{Cd}$. Pada makalah ini akan disajikan hasil kajian produksi sumber radiasi ^{109}Cd untuk XRF melalui aktivasi neutron menggunakan reaktor G.A. Siwabessy PRSG BATAN dengan sasaran kadmium alam. Tujuan dari kajian ini adalah mendapatkan karakteristik sumber radiasi ^{109}Cd yang dapat dihasilkan melalui metode ini.

TEORI

Apabila sebuah isotop terkena paparan neutron termal akan terjadi penangkapan neutron oleh inti atom dan pelepasan radiasi gamma yang dikenal dengan reaksi (n, γ). Laju reaksi inti tersebut berbeda-beda bergantung pada tampang lintang reaksi nuklirnya. Apabila isotop yang terbentuk berupa radioisotop, maka ia akan meluruh menjadi isotop lain. Gambaran reaksi tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema reaksi aktivasi neutron dari isotop A menjadi radioisotop B dan peluruhannya menjadi isotop C.

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa isotop A setelah penangkapan neutron berubah menjadi radioisotop B yang selanjutnya meluruh menjadi isotop C. Isotop A dan radioisotop B merupakan unsur yang sejenis. Laju penambahan jumlah radioisotop B sama dengan laju reaksi pembentukannya dari isotop A dikurangi dengan laju peluruhan menjadi isotop C. Laju reaksi pembentukan merupakan perkalian dari jumlah atom isotop A dengan fluks neutron dan tampang lintang reaksi. Sedangkan laju peluruhan merupakan perkalian antara jumlah atom B yang telah terbentuk dan konstanta peluruhannya. Laju penambahan radioisotop B secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$dN_B/dt = N_A\phi\sigma - \lambda N_B \quad (1)$$

Di mana,

dN_B/dt : Laju pembentukan isotop B
(atom/s)

N_A : Jumlah atom sasaran (atom)

ϕ : Fluks neutron ($\text{ns}^{-1}\text{cm}^{-2}$)

σ : Tampang lintang reaksi
(barn = 10^{-24}cm^2)

λ : Konstanta peluruhan
radioisotop B (s^{-1})

Jumlah atom sasaran adalah jumlah atom unsur tersebut dikalikan kelimpahan isotop sasaran. Apabila persamaan 1 diselesaikan dan diberi batas awal bahwa ketika sebelum

iradiasi belum ada isotop B ($N_B = 0$ saat $t = 0$) maka diperoleh persamaan berikut.

$$N_B = N_A\phi\sigma(1-e^{-\lambda t})/\lambda \quad (2)$$

Pada persamaan 2, t menyatakan waktu iradiasi. Besarnya radioaktivitas B (A_B) dapat dinyatakan dengan $N_B\lambda$, sehingga besarnya radioaktivitas B dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$A_B = N_A\phi\sigma(1-e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

Persamaan 3 ini merupakan persamaan umum untuk mendapatkan radioaktivitas hasil iradiasi dengan neutron [2].

Setelah iradiasi dihentikan, reaksi penangkapan neutron berhenti dan radioisotop B meluruh dengan laju peluruhan sebesar perkalian antara konstanta peluruhan dan jumlah atom B yang tersisa. Oleh karena itu, setelah peluruhan selama waktu τ , radioaktivitas B dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$A_B = A_{B0}e^{-\lambda\tau} \quad (4)$$

Pada persamaan tersebut A_{B0} menyatakan radioaktivitas B saat akhir iradiasi (*end of irradiation, EOI*) [2].

TATA KERJA

Sumber radiasi ^{109}Cd pada XRF digunakan dalam bentuk silinder dengan diameter 3 mm dan panjang 3 mm. Sumber radiasi ^{109}Cd dibungkus dengan logam tungsten dengan ketebalan minimum 0,1 mm dengan window terbuat dari berelium. Logam kadmium di dalamnya memiliki diameter 2,8 mm dan panjang 2,8 mm. Logam kadmium memiliki berat jenis sebesar $8,648 \text{ g/cm}^3$, sehingga logam kadmium dengan ukuran tersebut memiliki berat 149 mg. Berat logam kadmium di dalam sumber radiasi ini digunakan sebagai berat sasaran dalam produksi ^{109}Cd .

Komposisi isotop unsur kadmium alam ditunjukkan pada Tabel 1. Unsur kadmium alam mengandung isotop ^{108}Cd dengan kelimpahan 0,89%. Isotop lain yang ada di dalamnya berupa ^{106}Cd , ^{110}Cd , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{113}Cd , ^{114}Cd dan ^{115}Cd dengan kelimpahan masing-masing 1,25%, 12,49%, 12,80%, 24,10%, 12,22%, 28,70%, dan 7,49%. Dari isotop-isotop tersebut, radioisotop yang dihasilkan dari paparan neutron berupa ^{107}Cd ($T_{1/2}$: 6,5 jam), $^{115\text{m}}\text{Cd}$ ($T_{1/2}$ = 44,6 hari), ^{115}Cd ($T_{1/2}$ =53,5 jam), $^{117\text{m}}\text{Cd}$ ($T_{1/2}$ = 2,49 jam) dan ^{117}Cd ($T_{1/2}$ = 3,36 jam). Reaksi-reaksi inti tersebut memiliki tampang lintang reaksi masing-masing sebesar 1,0 barn, 0,30 barn, 0,036 barn, 0,050 barn dan 0,025 barn. Sebenarnya Isotop kadmium-113 hasil iradiasi

meluruh dengan peluruhan beta dengan waktu paro 9×10^{15} tahun. Namun isotop ini sering dianggap isotop stabil karena sangat panjangnya waktu paro yang dimilikinya [2].

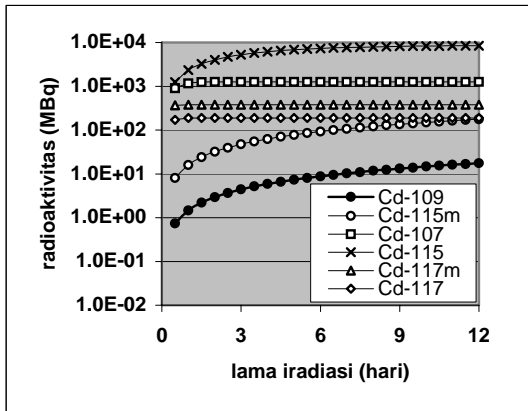
Tabel 1. Kelimpahan isotop pada kadmium alam dan reaksi penangkapan neutron yang terjadi dari sasaran isotop-isotop tersebut.

isotop	kelimpahan (%)	tampang lintang reaksi (barn)	Isotop yang terbentuk	waktu paro
^{106}Cd	1,25	1,0	^{107}Cd	6,5 jam
^{108}Cd	0,89	1,1	^{109}Cd	463 hari
^{110}Cd	12,49	-	^{111}Cd	-
^{111}Cd	12,80	-	^{112}Cd	-
^{112}Cd	24,10	-	^{113}Cd	-
^{113}Cd	12,22	-	^{114}Cd	-
^{114}Cd	28,70	0,30 0,036	^{115}Cd $^{115\text{m}}\text{Cd}$	53,5 jam 44,6 hari
^{116}Cd	7,49	0,050 0,025	$^{117\text{m}}\text{Cd}$ ^{117}Cd	2,49 jam 3,36 jam

Kajian dilakukan dengan menghitung radioaktivitas radioisotop yang dihasilkan dari kadmium alam menggunakan persamaan 1 dengan data pada Tabel 1. Pada perhitungan ini digunakan fluks neutron sebesar $1,26 \times 10^{14} \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Angka ini merupakan fluks neutron di *central irradiation position* (CIP) reaktor G.A. Siwabessy. Waktu iradiasi dihitung untuk iradiasi selama 12 hari, disesuaikan dengan operasi reaktor G.A. Siwabessy selama 12 hari [4].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan iradiasi kadmium alam di *central irradiation position* (CIP) seiring dengan waktu iradiasi ditunjukkan oleh Gambar 2.



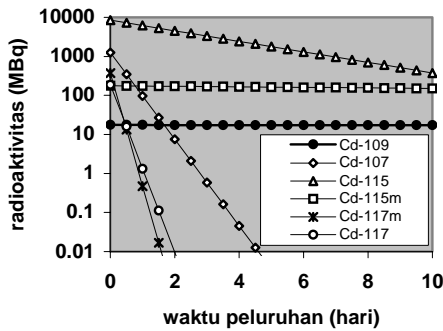
Gambar 2. Radioaktivitas radioisotop yang terbentuk seiring dengan lama iradiasi

Kadmium-109 memiliki waktu paro yang panjang (463 hari). Oleh karena itu, dengan waktu iradiasi sampai dengan 12 hari, radioaktivitas yang dihasilkan meningkat seiring dengan waktu iradiasi. Setelah diiradiasi selama 12 hari, radioaktivitas ^{109}Cd yang diperoleh sebesar 17,53 MBq. Radioaktivitas ini baru sebesar 1,78% dari radioaktivitas jenuhnya. Dengan kata lain, radioaktivitas masih dapat ditingkatkan dengan memperpanjang waktu iradiasi.

Radioisotop lain yang turut dihasilkan dalam proses iradiasi ini adalah ^{107}Cd , $^{115\text{m}}\text{Cd}$, ^{115}Cd , $^{117\text{m}}\text{Cd}$ dan ^{117}Cd . Hasil perhitungan radioaktivitas radioisotop radioisotop tersebut

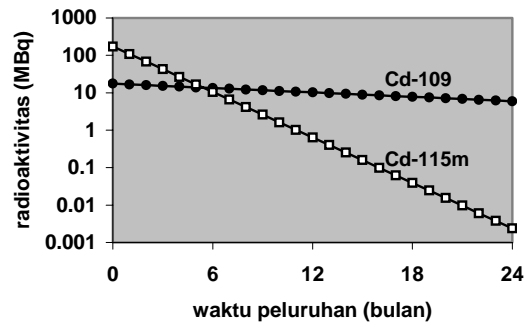
sebagai fungsi waktu iradiasi ditunjukkan pula oleh gambar 2. Radioaktivitas ^{107}Cd , $^{117\text{m}}\text{Cd}$ dan ^{117}Cd segera mendekati radioaktivitas jenuh dalam waktu singkat karena waktu paro radioisotop tersebut masing-masing sebesar 6,5 jam, 2,49 jam dan 3,36 jam. Setelah iradiasi selama 12 hari, ketiga radioisotop tersebut memiliki radioaktivitas masing-masing sebesar 1257 MBq, 376 MBq dan 188 MBq. Radioisotop ^{115}Cd memiliki waktu paro 53,5 jam, sehingga dengan iradiasi selama 12 hari, radioaktivitas yang dihasilkan telah mendekati nilai radioaktivitas jenuhnya. Pada akhir iradiasi dihasilkan ^{115}Cd dengan radioaktivitas 8451 MBq. Sedangkan $^{115\text{m}}\text{Cd}$ masih menunjukkan kenaikan pada akhir iradiasi karena radioisotop ini memiliki waktu paro yang panjang yaitu 44,6 hari. Setelah 12 hari iradiasi, radioisotop $^{115\text{m}}\text{Cd}$ dihasilkan dengan radioaktivitas 177 MBq.

Radioaktivitas radioisotop hasil iradiasi mengalami penurunan setelah iradiasi dihentikan. Penurunan radioisotop dalam waktu 10 hari setelah iradiasi ditunjukkan pada Gambar 2.

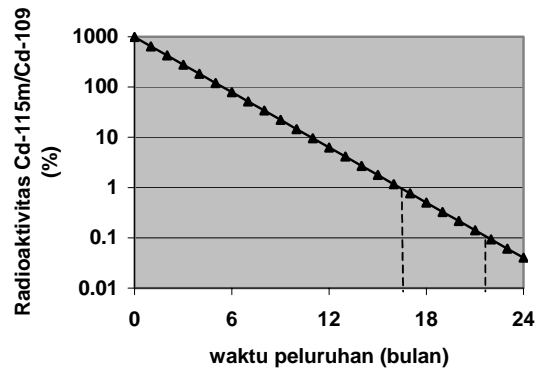


Gambar 3. Peluruhan radioisotop hasil iradiasi kadmium alam.

Pada saat EOI, radioaktivitas ^{109}Cd jauh lebih kecil dibandingkan dengan radioaktivitas radioisotop yang lain. Namun, radioisotop-radioisotop lainnya memiliki waktu paro lebih pendek dari ^{109}Cd sehingga meluruh lebih cepat. Setelah 10 hari, hanya tinggal $^{115\text{m}}\text{Cd}$ dan ^{115}Cd yang masih tersisa sebagai pengotor radioisotop. Radioisotop ^{115}Cd memiliki waktu paro 53,5 jam sehingga setelah 30 hari radioisotop tinggal 0,73 MBq. Oleh sebab itu, pengotor radioisotop yang tetap tersisa dalam waktu lebih dari satu bulan adalah $^{115\text{m}}\text{Cd}$. Penurunan radioaktivitas ^{109}Cd dan $^{115\text{m}}\text{Cd}$ selama 24 bulan ditunjukkan pada Gambar 4. Setelah 6 bulan, radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{Cd}$ lebih rendah dari ^{109}Cd dan terus mengalami penurunan lebih cepat dari ^{109}Cd seiring dengan waktu.



Gambar 4. Perubahan radioaktivitas ^{109}Cd dan $^{115\text{m}}\text{Cd}$ selama 24 bulan setelah iradiasi



Gambar 5. Perubahan persentase radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{Cd}$ dibandingkan dengan ^{109}Cd .

Persentase radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{Cd}$ dibandingkan dengan ^{109}Cd sampai dengan 24 bulan ditunjukkan pada Gambar 5. Dari gambar 3 diketahui bahwa untuk mendapatkan pengotor $^{115\text{m}}\text{Cd}$ kurang dari 1% diperlukan waktu peluruhan selama 16,4 bulan. Setelah peluruhan selama 16,4 bulan tersebut, radioaktivitas ^{109}Cd sebesar 8,38 MBq.

Sedangkan untuk mendapatkan radioaktivitas ^{115m}Cd kurang dari 0,1 % diperlukan waktu peluruhan selama 21,9 bulan. Setelah waktu peluruhan selama 21,9 bulan, radioaktivitas ^{109}Cd sebesar 6,58 MBq. Kadmium-109 dengan radioaktivitas sebesar ini masih memenuhi syarat sebagai sumber radiasi untuk XRF yang memerlukan radioaktivitas minimal 3,7 MBq. Jadi sumber radiasi untuk XRF dapat dibuat menggunakan kadmium alam namun memerlukan waktu peluruhan yang lama untuk mendapatkan kemurnian radionuklida yang tinggi.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian produksi kadmium-109 untuk sumber radiasi XRF dengan sasaran kadmium alam berbentuk pelet diameter 2,8 mm dan panjang 2,8 mm melalui aktivasi neutron di reaktor G.A. Siwabessy diperoleh hasil sebagai berikut:

- Iradiasi kadmium alam di CIP reaktor G.A. Siwabessy dapat menghasilkan ^{109}Cd dengan radioaktivitas sebesar 17,53 MBq pada saat EOI dengan waktu iradiasi selama 12 hari.
 - Dari iradiasi kadmium alam selama 12 hari dihasilkan pula radioisotop ^{107}Cd , ^{115m}Cd , ^{115}Cd , ^{117m}Cd dan ^{117}Cd dengan radioaktivitas 1258,177, 8451, 376 dan 188 MBq saat EOI.
- Radioisotop pengotor yang masih menyisa dalam waktu beberapa bulan adalah ^{115m}Cd yang memiliki waktu paro 44,6 hari.
 - Untuk mendapatkan ^{109}Cd dengan kemurnian radionuklida 99,0% diperlukan peluruhan selama 16,4 bulan dengan radioaktivitas ^{109}Cd setelah waktu tersebut sebesar 8,38 MBq. Sedangkan untuk mendapatkan ^{109}Cd dengan kemurnian radionuklida 99,9% diperlukan waktu peluruhan selama 21,9 bulan dengan radioaktivitas ^{109}Cd sebesar 6,58 MBq.

DAFTAR PUSTAKA

1. N. SAITOH DKK, "Handbook of Radioisotope", Maruzen, Tokyo (1996).
2. www.cyclotron-company.com (Juni 2006)
3. JAPAN RADIOISOTOPE ASSOCIATION, "Note Book of Radioisotope", Maruzen, Tokyo (1990).
4. THE CHEMICAL SOCIETY OF JAPAN, "Jikken kagaku kouza", Maruzen, Tokyo (1992).
5. S. SOENARJO, S.R. TAMAT, I. SUPARMAN, B. PURWADI, RSG-GAS based radioisotopes and sharing program for regional back up supply, *Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka*, **6** (2), (2003).
6. IAEA, "Manual for reactor produced radioisotope", Viena (2003)