

---

## **PRODUKSI IODIUM-125 MENGGUNAKAN TARGET XENON ALAM**

Rohadi Awaludin  
Pusat Pengembangan Radioisotop dan Radiofarmaka (P2RR), BATAN

### **ABSTRAK**

**PRODUKSI IODIUM-125 MENGGUNAKAN TARGET XENON ALAM.** Iodium-125 merupakan radioisotop penting di bidang kedokteran nuklir. Iodium-125 dapat diproduksi melalui sasaran isotop Xe-124, baik menggunakan xenon diperkaya maupun xenon alam. Iodium-125 dengan radioaktivitas yang tinggi dapat diperoleh menggunakan xenon diperkaya. Namun, karena alasan penyediaannya, beberapa peneliti mengembangkan teknologi produksi menggunakan xenon alam. Tujuan dari kajian ini adalah mendapatkan karakteristik Iodium-125 yang dapat diperoleh dari fasilitas produksi yang ada di BATAN. Perhitungan dilakukan menggunakan gas xenon alam sebanyak 0,0223 mol. Iradiasi dilakukan sampai dengan 96 jam dan peluruhan sampai dengan 240 hari jam. Dari perhitungan diperoleh I-125 sebesar 0,384; 0,529 dan 0,583 GBq masing masing untuk iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam. Konsentrasi radioaktivitas yang dapat diperoleh sebesar 0,128; 0,176 dan 0,194 GBq/ml. Pengotor radionuklida yang turut dihasilkan adalah Cs-135 dan Cs-137. Radioisotop Cs-135 dihasilkan sebesar 0,098; 0,113 dan 0,116 Bq dari iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam. Sedangkan radioisotop Cs-137 dihasilkan sebesar 236 Bq dari iradiasi lebih dari 24 jam.

**Kata kunci:** iodium-125, produksi radioisotop, xenon alam

### **ABSTRACT**

**IODINE-125 PRODUCTION USING NATURAL XENON TARGET.** Iodine-125 is an important radioisotope in the field of nuclear medicine. Iodine-125 can be produced from Xe-124 target using natural or enriched xenon. Iodine with high radioactivity can be produced using enriched target. However, because of the availability of the enriched xenon gas, some research groups develop the iodine production using natural xenon gas. The objective of this study is to obtain the characteristics of Iodine-125 produced by BATAN facility. Natural xenon gas 0.0223 mol is used in the calculation. Irradiation time is 96 hours and decay time is 240 hours. The calculation results show Iodine-125 with radioactivity 0.384, 0.529 and 0.583 GBq is obtained from irradiation time as long as 24, 48 and 72 hours. The maximum radioactivity concentrations are 0,128; 0,176 and 0,194 GBq/ml. Radionuclidic impurities are Cs-135 and Cs-137. Radioisotope of Cs-135 as high as 0.098, 0.113 and 0.116 Bq is produced from 24, 48 and 72 hours of irradiation. Cs-137 as high as 236 Bq is produced by more than 24 hours of irradiation.

**Key words:** iodine-125, radioisotope production, natural xenon.

## PENDAHULUAN

Pemanfaatan radioisotop di bidang kesehatan senantiasa menunjukkan peningkatan. Salah satu diantaranya adalah pemanfaatan radioisotop Iodium-125. Radioisotop ini merupakan radioisotop pemancar gamma berenergi rendah (35,5 keV) dan memiliki waktu paro 60 hari. Iodium-125 telah dikembangkan pemanfaatannya untuk tujuan diagnosis dalam *radioimmunoassay*, deteksi osteoporosis, penanganan kanker prostat dan sebagainya. Radioisotop ini dapat dihasilkan melalui reaksi aktivasi neutron dengan menembak sasaran isotop  $^{124}\text{Xe}$  dengan neutron termal. Penembakan ini menghasilkan radioisotop  $^{125}\text{Xe}$  yang selanjutnya akan meluruh menjadi  $^{125}\text{I}$  [1,2].

Xenon alam mengandung isotop  $^{124}\text{Xe}$  dengan kelimpahan yang kecil (0,1%). Oleh karenanya, untuk mendapatkan Iodium-125 dengan radioaktivitas yang tinggi, produksi Iodium-125 dilakukan menggunakan sasaran gas xenon diperkaya. Namun, beberapa kelompok peneliti mengembangkan produksi Iodium-125 menggunakan sasaran xenon alam. Liu Yishu telah mengembangkan metode pemisahan I-125 dari gas xenon alam menggunakan platinum-coated copper granules [3]. Sementara P.V. Joshi telah melaporkan hasil penandaan kit RIA menggunakan Iodium-125 yang diperoleh dari iradiasi xenon alam [4].

Jika produksi I-125 dilakukan menggunakan sasaran xenon alam, dalam proses produksi dihasilkan  $^{125}\text{I}$  dengan radioaktivitas yang kecil untuk tiap satuan sasaran karena kecilnya kelimpahan Xe-124 di dalam sasaran. Selain itu, radioisotop lain memungkinkan dihasilkan dari isotop isotop xenon lain yang terkandung di dalamnya. Pada studi ini dikaji tentang produksi Iodium-125 menggunakan sasaran gas xenon alam menggunakan fasilitas produksi yang ada di BATAN. Dari studi ini diharapkan diperoleh radioaktivitas yang dihasilkan dan pengotor pengotor radionuklida yang akan muncul dari isotop xenon lain yang terkandung di dalam xenon alam.

## TEORI

Gas xenon alam tersusun dari 9 jenis isotop seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Kesembilan isotop tersebut adalah xenon-124 (0,10%), xenon-126 (0,09%), xenon-128 (1,91%), xenon-129 (26,4%), xenon 130 (4,1%), xenon-131 (21,2%), xenon-132 (26,9%), xenon-134 (10,4%) dan xenon-136 (8,9%). Dari isotop-isotop tersebut, radioisotop yang dihasilkan dari paparan neutron berupa xenon-125 ( $T_{1/2}$ : 17,0 jam), xenon-127 ( $T_{1/2}$ : 36,4 hari), xenon-135 ( $T_{1/2}$ : 9,1 jam), xenon-133 ( $T_{1/2}$ : 5,24 hari) dan xenon-137 ( $T_{1/2}$ : 3,82 menit).

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

isotop	kelimpahan (%)	Isotop yang terbentuk	waktu paro	tampang lintang reaksi (barn)
xenon-124	0,10	xenon-125	17 jam	137
xenon-126	0,09	xenon-127	36,4hari	3,1
xenon-128	1,91	xenon-129	Stabil	-
xenon-129	26,4	xenon-130	Stabil	-
xenon-130	4,1	xenon-131	Stabil	-
xenon-131	21,2	xenon-132	Stabil	-
xenon-132	26,9	xenon-133	5,24 hari	0,40
xenon-134	10,4	xenon-135	9,1jam	0,27
xenon-136	8,9	xenon-137	3,82 menit	0,26

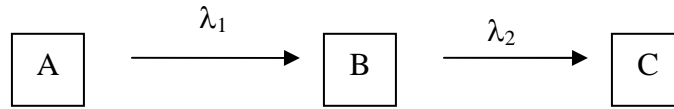
Radioaktivitas xenon-125 yang dihasilkan dari reaksi penangkapan neutron dari sasaran xenon-124 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$A_{Xe-125} = N_{Xe-124} \sigma \phi (1 - e^{-\lambda_{Xe-125} t}) \quad (1)$$

Di mana,

- $A_{Xe-125}$  : Radioaktivitas xenon-125 (Bq)
- $N_{Xe-124}$  : Jumlah atom isotop  $^{124}\text{Xe}$  (atom)
- $\sigma$  : Tampang lintang reaksi  $^{124}\text{Xe}(n,\gamma)^{125}\text{Xe}$  (barn)
- $\phi$  : Fluks neutron ( $\text{ns}^{-1}\text{cm}^{-2}$ )
- $\lambda_{Xe-125}$  : Konstanta peluruhan  $^{125}\text{Xe}$  ( $\text{s}^{-1}$ )
- $t$  : Waktu iradiasi (s)

Pada produksi I-125 menggunakan fasilitas yang ada di P2RR saat ini, setelah gas xenon diiradiasi, gas xenon ditarik/dipindahkan menggunakan cryogenic system ke botol peluruhan. Botol peluruhan yang telah dikosongkan diisi dengan gas xenon iradiasi. Radioisotop gas xenon tersebut selanjutnya meluruh menjadi isotop anak masing masing. Untuk Xe-125 meluruh menjadi I-125 yang merupakan produk yang diharapkan. Kecepatan peluruhan mengikuti rumus peluruhan secara umum radioisotop A menjadi radioisotop B dan selanjutnya meluruh menjadi iosotop C.



**Gambar 1.** Skema peluruhan radioaktif dari radioisotop A menjadi radioisotop B dan selanjutnya menjadi C. Konstanta peluruhan masing masing sebesar  $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$ .

Pada peluruhan seperti ditunjukkan pada gambar 1, perubahan jumlah radioisotop B dapat dtunjukkan dengan persamaan berikut

$$dN_B/dt = \lambda_1 N_A - \lambda_2 N_B \quad (2)$$

Dimana

$dN_B/dt$  : laju perubahan jumlah isotop B.

$\lambda_1$  : konstanta peluruhan radioisotop A.

$\lambda_2$  : konstanta peluruhan radioisotop B.

Jika persamaan 1 diselesaikan dan diberi batas awal  $N_B = 0$  saat  $t = 0$  yang berarti bahwa sebelumnya tidak ada radioisotop B, maka diperoleh persamaan berikut:

$$N_B = (\lambda_1/(\lambda_2-\lambda_1) N_{A0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})) \quad (3)$$

Radioaktivitas B dapat dinyatakan dengan  $N_B \lambda_2$ , maka radioaktivitas B dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$A_B = (\lambda_2/(\lambda_2-\lambda_1) A_{A0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})) \quad (4)$$

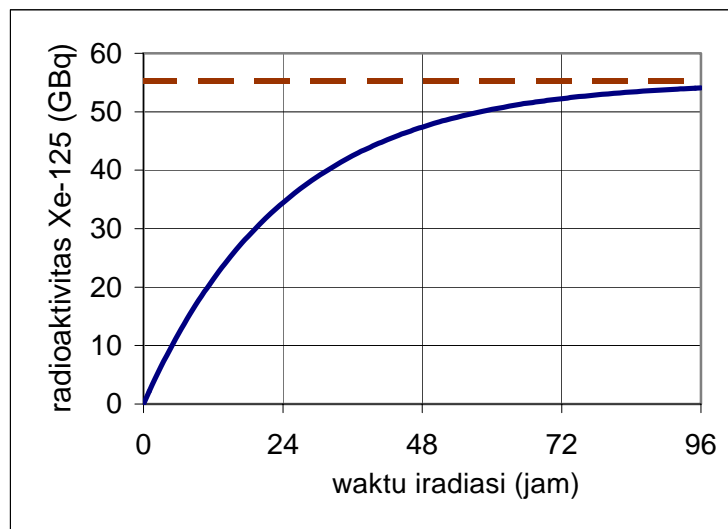
## TATA KERJA

Pada studi ini, perhitungan hasil iradiasi di reaktor G.A. siwabessy menggunakan persamaann 1. Fluks reaktor di posisi S1 tempat kamar iradiasi (*irradiation chamber*) digunakan nilai  $3 \times 10^{13} \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  [5]. Lama iradiasi dihitung sampai dengan waktu 96 jam. Iradiasi selama 96 jam telah lebih dari 5 kali waktu paro Xe-125 sehingga radioaktivitas yang didapatkan telah mendekati radioaktivitas jenuhnya. Perhitungan untuk radioisotop lain digunakan pula persamaan tersebut dengan menggantikan jumlah sasaran, tampang lintang reaksi inti dan konstanta peluruhan radioisotop yang dihasilkan. Pada perhitungan ini digunakan angka angka yang telah ditunjukkan pada tabel 1. Sedangkan jumlah target digunakan gas xenon sebanyak 0,0223 mol. Angka ini didasarkan pada jumlah target yang digunakan pada perhitungan analisis keselamatan fasilitas.

Perhitungan peluruhan Xe-125 menjadi I-125 digunakan persamaan 4. Waktu peluruhan dihitung sampai dengan 10 hari. Selama waktu tersebut hampir seluruh Xe-125 telah meluruh menjadi I-125 karena telah lebih dari 10 kali waktu paro. Xenon-125 yang tersisa tinggal kurang dari 0,1% dari jumlah semula. Peluruhan Xe-135 dan Xe-137 digunakan persamaan 4 pula dengan mengganti konstanta masing masing radioisotop yang sesuai.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

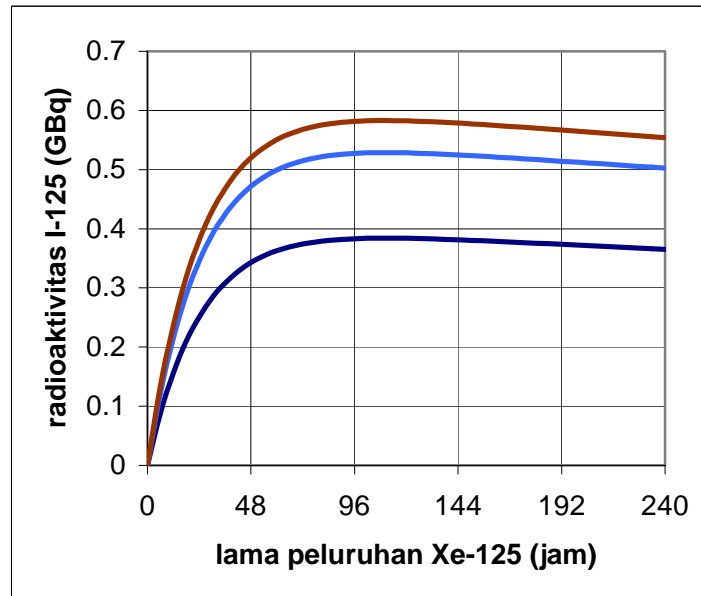
Hasil perhitungan xenon-124 setelah diiradiasi di posisi S1 reaktor G.A. Siwabessy ditunjukkan pada Gambar 2. Pada tahap awal sebelum 1 kali waktu paro Xe-125 (17 jam), radioaktivitas meningkat tajam sejalan dengan waktu iradiasi. Sejalan dengan waktu, peningkatan radioaktivitas mengalami perlambatan. Hal ini dikarenakan laju peluruhan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah radiosotop Xe-125 yang telah terbentuk. Setelah 96 jam, peningkatan radioaktivitas telah mendekati garis mendatar. Ini menandakan bahwa laju pembentukan Xe-125 dari iradiasi telah hampir disamai oleh laju peluruhan Xe-125 menjadi I-125.



**Gambar 2.** Radioaktivitas Xe-125 sejalan dengan waktu iradiasi. Garis putus putus menunjukkan besarnya nilai radioaktivitas jenuh Xe-125.

Setelah iradiasi selama 24, 48, 72 dan 48 jam diperoleh Xe-125 dengan radioaktivitas masing masing sebesar 34,4; 85,9; 94,7 dan 54,1 GBq. Radioaktivitas tersebut dibandingkan dengan radioaktivitas jenuhnya sebesar 62,4; 85,9; 94,7 dan 98,0%.

Xenon-125 selanjutnya meluruh menjadi I-125. Perhitungan peluruhan dilakukan dari hasil iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam. Radioaktivitas I-125 yang diperoleh seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Kurva di dalam gambar tersebut berurutan dari bawah adalah I-125 dari iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam.



**Gambar 3.** Radioaktivitas I-125 seiring dengan waktu peluruhan. Kurva dari atas ke bawah berturut turut untuk waktu iradiasi selama 72, 48 dan 24 jam.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa radioaktivitas maksimum dicapai setelah peluruhan selama 110 jam. Setelah itu, radioaktivitas I-125 mengalami penurunan karena laju produksi I-125 lebih kecil dari laju peluruhan Xe-125. Setelah peluruhan selama 110 jam, radioaktivitas maksimum sebesar 0,384; 0,529 dan 0,583 GBq masing masing untuk iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam iradiasi. Pada saat melarutkan I-125 dari botol produk, diperlukan larutan NaOH minimal 3 ml untuk membasahi seluruh permukaan botol peluruhan sehingga seluruh I-125 yang terbentuk dapat dilarutkan. Oleh karenanya, konsentrasi radioaktivitas maksimum yang dapat diperoleh adalah sebesar radioaktivitas tersebut dalam larutan NaOH sebanyak 3 ml. Radioaktivitas dan konsentrasi radioaktivitas yang dapat diperoleh disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Radioaktivitas dan konsentrasi radioaktivitas yang diperoleh dari produksi I-125 menggunakan xenon alam.

Waktu iradiasi (jam)	Radioaktivitas (GBq)	Konsentrasi radioaktivitas (GBq/ml)
24	0,384	0,128
48	0,529	0,176
72	0,583	0,194

Pada saat gas hasil iradiasi dipindahkan dari kamar iradiasi ke botol peluruhan, seluruh gas xenon yang di dalamnya mengandung beberapa radioisotop bersama sama terpindahkan ke kamar iradiasi karena memiliki karakteristik fisis yang sama. Sedangkan anak luruh yang bukan berfasa gas tetap tertinggal di kamar iradiasi, termasuk I-125 yang terbentuk selama iradiasi. Jenis jenis radioisotop xenon yang terbawa ke kamar peluruhan ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Radioisotop xenon yang terbawa ke botol peluruhan

Radioisotop	Radioaktivitas (GBq)		
	24 jam	48 jam	72 jam
Xe-127	0,025	0,050	0,074
Xe-133	49,67	93,18	131,3
Xe-135	9,49	11,02	11,26
Xe-137	9,32	9,32	9,32

Dari Tabel 3 diketahui bahwa ada 3 jenis radioisotop xenon yang terbawa ke botol peluruhan dengan radioaktivitas berarti yaitu Xe-133, Xe-135 dan xenon-137. Xenon-133 meluruh melalui peluruhan beta menjadi isotop stabil Cs-133, sedangkan Xe-135 dan Xe-137 meluruh menjadi radioisotop Cs-135 ( $T_{1/2}$ : 100 juta tahun) dan Cs-137 ( $T_{1/2}$ : 30 tahun). Xe-135 sebesar 9,49; 11,02 dan 11,26 GBq meluruh menjadi Cs-135 dengan radioaktivitas 0,098; 0,113 dan 0,116 Bq. Radioaktivitas sekecil ini dapat diabaikan dibandingkan dengan radioaktivitas I-125 yang terbentuk.

Dari Tabel 3 diketahui bahwa radioaktivitas Xe-137 sudah mencapai radioaktivitas jenuh dan tidak berubah sebesar 9,32 GBq setelah iradiasi selama 24 jam. Hal ini dikarenakan waktu paronya yang sangat pendek (3,82 menit). Xe-137 meluruh menjadi Cs-137 dengan radioaktivitas 236 Bq. Oleh karenanya, untuk iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam, radioaktivitas Cs-137 dibandingkan dengan I-125 yang terbentuk sebesar 0,000061%, 0,000045% dan 0,000041%.

## **KESIMPULAN**

Dari studi produksi Iodium-125 menggunakan sasaran xenon alam memanfaatkan fasilitas yang ada di BATAN diperoleh hasil sebagai berikut:

- Dari perhitungan diperoleh I-125 sebesar 0,384; 0,529 dan 0,583 GBq masing masing untuk iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam iradiasi.
- Konsentrasi radioaktivitas yang dapat diperoleh sebesar 0,128; 0,176 dan 0,194 GBq/ml untuk iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam.
- Pengotor radionuklida yang akan turut dihasilkan adalah Cs-135 dan Cs-137.
- Radioisotop Cs-135 dihasilkan sebesar 0,098; 0,113 dan 0,116 Bq dari iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam.
- Radioisotop Cs-137 dihasilkan sebesar 236 Bq dari iradiasi selama lebih dari 24 jam, atau sebesar 0,000061%, 0,000045% dan 0,000041% dibandingkan radioaktivitas I-125 yang terbentuk dari iradiasi selama 24, 48 dan 72 jam.

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. N. SAITOH, "Handbook of Radioisotope", Maruzen (1996).
2. JAPAN RADIOISOTOPE ASSOCIATION, "Note Book of Radioisotope", Maruzen (1990)
3. LIU YISHU, Preparation of I-125 from Reactor Irradiated Xenon Target, Proceeding of The IAEA Meeting on Irradiation Technology and Radioisotope Production, Jakarta (2004).
4. P.V. JOSHI, Production and Purification of I-125 from Reactor irradiated Xenon Target, Proceeding of The IAEA Meeting on Irradiation Technology and Radioisotope Production, Jakarta (2004).
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*, Vol 6, No 2, (2003).