

## RADIOAKTIVITAS IODIUM-126 SEBAGAI RADIONUKLIDA PENGOTOR DI KAMAR IRADIASI PADA PRODUKSI IODIUM-125

Rohadi Awaludin

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR), BATAN  
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang  
Email : rohadia@yahoo.com

### ABSTRAK

**RADIOAKTIVITAS IODIUM-126 SEBAGAI RADIONUKLIDA PENGOTOR DI KAMAR IRADIASI PADA PRODUKSI IODIUM-125.** Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka telah berhasil melakukan uji produksi iodium-125 menggunakan target xenon diperkaya. Namun, pengotor radionuklida iodium-126 mulai terdeteksi pada uji produksi ke-7. Radionuklida iodium-126 terbentuk di dalam kamar iradiasi dan besarnya radioaktivitas di kamar iradiasi tidak dapat diukur. Untuk itu telah dilakukan perhitungan radioaktivitas iodium-126 di dalam kamar iradiasi. Pada perhitungan ini, target xenon-124 diperkaya 82,4% diiradiasi selama 24 jam dengan fluks neutron  $3 \times 10^{13} \text{ n.s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ . Dari hasil perhitungan diketahui bahwa dari iradiasi selama 24 jam hanya dihasilkan iodium-126 sebanyak 11,7 mCi, namun, karena iodium-125 tertinggal di kamar iradiasi dan mendapat paparan neutron, maka pada akhir operasi reaktor pada hari ke-12 terbentuk sebesar 367 mCi. Jadi diketahui bahwa sebagian besar iodium-126 yang mengotori produk pada uji produksi ke-7 adalah iodium-126 dari uji produksi sebelumnya, karena iodium-126 yang terbentuk selama 24 jam iradiasi sangat kecil. Jumlah massa radioisotop iodium dari iodium-125 dan iodium-126 sebesar 0,33 mg pada saat pemindahan gas xenon ke kamar iradiasi. Nilai ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perawatan filter iodium.

**Kata kunci:** produksi iodium-125, iodium-126, pengotor radionuklida

### ABSTRACT

**RADIOACTIVITY OF IODINE-126 AS RADIONUCLIDE IMPURITY AT IRRADIATION CHAMBER IN IODINE-125 PRODUCTION.** Center for Radioisotope and Radiopharmaceutical has been successful in iodine-125 production tests using enriched xenon gas. However, the radionuclide impurity of iodine-125 was detected in the 7<sup>th</sup> production test. The radioactivity of iodine-126 in irradiation chamber could not be measured directly. The calculation of iodine-126 radioactivity at irradiation chamber, therefore, has been carried out. In this calculation, xenon-124 with enrichment of 82.4% was irradiated for 24 hours with neutron flux of  $3 \times 10^{13} \text{ n.s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ . Calculation results showed that irradiation for 24 hours resulted in 11.7 mCi of iodine-126. After moving the xenon gas to the decay pot, the iodine-125 remained in the irradiation chamber. The iodine-125 was irradiated during reactor operation. At the end of 12<sup>th</sup> day, the radioactivity of iodine-126 was 367 mCi. It revealed that most of the iodine-125 in the 7<sup>th</sup> test product was iodine-125 produced in the previous production test. The mass of iodine in irradiation chamber when the xenon gas moved from irradiation chamber was 0.33 mg. This value was useful as a reference in the iodine filter maintenance.

**Key words:** iodine-125 production, iodine-126, radionuclide impurity

### 1. PENDAHULUAN

Penggunaan radioisotop di bidang kesehatan terus menunjukkan peningkatan. Di beberapa negara, skala ekonomi penggunaan radioisotop telah menempati

porsi yang signifikan dalam belanja nasional bidang kesehatan. Salah satu radioisotop yang terus berkembang penggunaannya adalah iodium-125 ( $^{125}\text{I}$ ) (1). Radioisotop ini merupakan radioisotop pemancar gamma

berenergi rendah yaitu 35,5 keV dan memiliki waktu paruh 59,4 hari. Iodium-125 telah dikembangkan pemanfaatannya untuk tujuan diagnosis, pembuatan sumber tertutup untuk penanganan kanker serta *radioactive tracer* pada kegiatan penelitian dan pengembangan (2,3). Radioisotop ini dapat dihasilkan melalui reaksi aktivasi neutron dengan sasaran isotop xenon-124 ( $^{124}\text{Xe}$ ). Iradiasi neutron ini menghasilkan radioisotop  $^{125}\text{Xe}$  yang selanjutnya meluruh menjadi  $^{125}\text{I}$  (4).

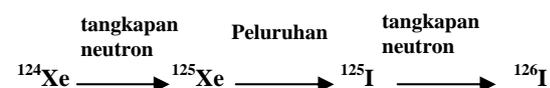
Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR) BATAN telah berhasil melakukan uji produksi  $^{125}\text{I}$  menggunakan target xenon diperkaya dengan pengayaan isotop  $^{124}\text{Xe}$  sebesar 82,4%. Salah satu tantangan yang ditemui dalam uji produksi ini adalah mempertahankan kemurnian radionuklida. Sampai dengan uji produksi ke-6 tidak terdeteksi adanya pengotor radionuklida di dalam produk, namun pada uji produksi ke-7 ditemukan adanya pengotor radionuklida berupa iodium-126 dan persentase kandungannya meningkat pada uji produksi berikutnya (5). Karhadkar dkk juga mengalami kendala yang sama berupa kandungan iodium-126 dalam pembuatan iodium-125 (6).

Radionuklida pengotor  $^{126}\text{I}$  terbentuk dari hasil reaksi inti penangkapan neutron oleh  $^{125}\text{I}$  di dalam kamar iradiasi. Fasilitas produksi  $^{125}\text{I}$  telah dilengkapi dengan filter iodium guna menangkap iodium yang terbawa dari kamar iradiasi. Seluruh  $^{126}\text{I}$  yang terbawa dari kamar iradiasi pada saat pemindahan gas xenon diharapkan dapat ditangkap oleh filter iodium tersebut, namun ternyata  $^{126}\text{I}$  ditemukan di dalam hasil uji

produksi. Diduga bahwa  $^{126}\text{I}$  terbentuk dalam jumlah yang besar di dalam kamar iradiasi karena kamar iradiasi terus mendapat paparan neutron selama reaktor beroperasi. Jumlah radionuklida  $^{126}\text{I}$  yang terbentuk di dalam kamar iradiasi tidak dapat diukur secara langsung. Untuk itu diperlukan perhitungan untuk mengetahui radioaktivitas  $^{126}\text{I}$  di dalam kamar iradiasi. Tujuan dari perhitungan ini adalah mendapatkan radioaktivitas  $^{126}\text{I}$  dan massa iodium di dalam kamar iradiasi yang berguna untuk meningkatkan kemurnian radionuklida  $^{125}\text{I}$  yang diperoleh. Hasil perhitungan ini berguna untuk memperbaiki prosedur pengoperasian fasilitas, menentukan metode perawatan filter iodium di dalam fasilitas produksi serta memprediksi kandungan pengotor  $^{126}\text{I}$  seandainya terjadi kegagalan fungsi pada filter iodium.

## 2. TEORI

Skema reaksi inti pembentukan  $^{126}\text{I}$  di dalam kamar iradiasi ditunjukkan pada Gambar 1 (7).



Gambar 1. Reaksi inti pembentukan iodium-126 yang terjadi di kamar iradiasi

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa  $^{125}\text{Xe}$  terbentuk dari reaksi penangkapan neutron dari  $^{124}\text{Xe}$ . Laju penambahan jumlah radionuklida  $^{125}\text{Xe}$  merupakan perkalian dari jumlah atom sasaran, fluks neutron danampang lintang reaksi dikurangi dengan laju peluruhan. Secara matematis laju penambahan tersebut dapat dinyatakan

sebagai berikut (7).

$$\frac{dN_{Xe-125}}{dt} = N_{Xe-124} \sigma_{Xe-124} \phi - N_{Xe-125} \lambda_{Xe-125} \quad (1)$$

di mana,

$dN_{Xe-125}/dt$  : laju penambahan  $^{125}\text{Xe}$  (atom.s<sup>-1</sup>)

$N_{Xe-124}$  : Jumlah atom  $^{124}\text{Xe}$  (atom)

$\sigma_{Xe-124}$  : tampang lintang reaksi  $^{124}\text{Xe}(n,\gamma)^{125}\text{Xe}$  (barn)

$\phi$  : fluks neutron (n.s<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup>)

$N_{Xe-125}$  : jumlah atom  $^{125}\text{Xe}$  (atom)

$\lambda_{Xe-125}$  : konstanta peluruhan  $^{125}\text{Xe}$  (s<sup>-1</sup>)

Jika persamaan tersebut diselesaikan maka jumlah atom  $^{125}\text{Xe}$  dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (7).

$$N_{Xe-125} = \frac{N_{Xe-124} \sigma_{Xe-124} \phi \{1 - \exp(-\lambda_{Xe-125} t)\}}{\lambda_{Xe-125}} \quad (2)$$

Pada persamaan tersebut, t menyatakan lama waktu iradiasi. Radionuklida  $^{125}\text{Xe}$  yang terbentuk selanjutnya meluruh menjadi  $^{125}\text{I}$  dengan konstanta peluruhan sebesar  $\lambda_{I-125}$ . Oleh sebab itu, laju penambahan jumlah  $^{125}\text{I}$  dapat dinyatakan sebagai berikut (7)

$$\frac{dN_{I-125}}{dt} = N_{Xe-125} \lambda_{Xe-125} - N_{I-125} \lambda_{I-125} \quad (3)$$

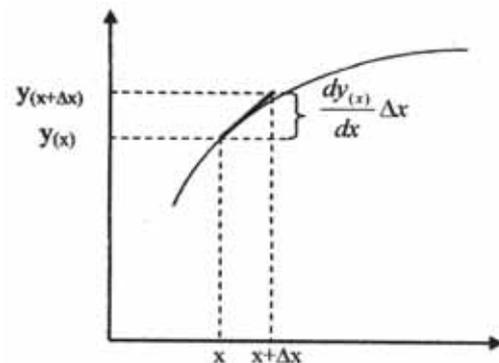
Laju penambahan jumlah  $^{126}\text{I}$  merupakan perkalian dari jumlah sasaran yaitu  $^{125}\text{I}$ , fluks neutron dan tampang lintang reaksi dikurangi laju peluruhannya. Laju penambahannya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (7).

$$\frac{dN_{I-126}}{dt} = N_{I-125} \sigma_{I-125} \phi - N_{I-126} \lambda_{I-126} \quad (4)$$

Untuk menyelesaikan persamaan (3) dan (4) diperlukan substitusi persamaan (2) ke persamaan tersebut. Persamaan (3) dan (4) dapat diselesaikan melalui analisis numerik menggunakan metode Euler. Metode Euler adalah metode menyelesaikan persamaan diferensial dengan memberikan nilai awal serta pendekatan bahwa nilai fungsi pada titik berikutnya merupakan penjumlahan antara nilai sebelumnya dengan perkalian antara persamaan diferensial dan selisih harga x. Metode Euler dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (8).

$$y_{(x+\Delta x)} = y_{(x)} + \frac{dy_{(x)}}{dx} \Delta x \quad (5)$$

Pada perhitungan jumlah atom  $^{125}\text{Xe}$ ,  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  dapat digunakan nilai awal jumlah atom radionuklida tersebut, yaitu sebesar nol.

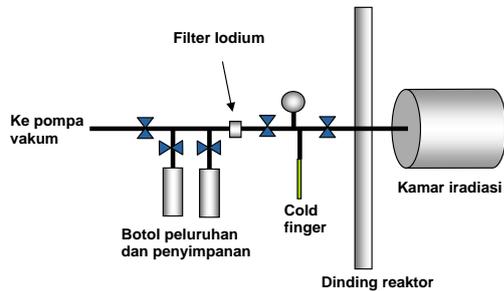


Gambar 2. Ilustrasi perhitungan menggunakan pendekatan Metode Euler.

### 3. BAHAN DAN TATA KERJA

Skema fasilitas produksi  $^{125}\text{I}$  ditunjukkan pada Gambar 3. Pada perhitungan ini digunakan gas xenon seperti pada uji produksi yaitu sebanyak 0,0223 mol dengan pengayaan  $^{124}\text{Xe}$  sebesar 82,4%.

Kandungan isotop xenon lain ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 3. Skema fasilitas produksi iodium-125.

Tabel 1. Kandungan isotop di dalam sasaran gas xenon diperkaya.

Jenis isotop	Kandungan atom (% jumlah)
$^{124}\text{Xe}$	82,4
$^{126}\text{Xe}$	0,6
$^{128}\text{Xe}$	0,3
$^{129}\text{Xe}$	4,5
$^{130}\text{Xe}$	0,7
$^{131}\text{Xe}$	3,6
$^{132}\text{Xe}$	4,6
$^{134}\text{Xe}$	1,8
$^{136}\text{Xe}$	1,5

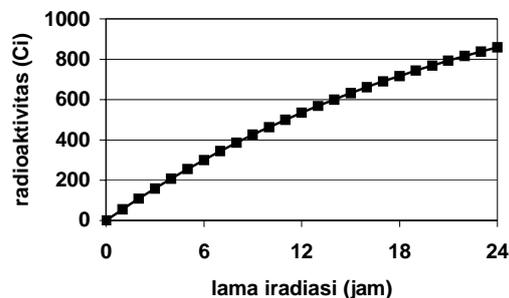
Perhitungan jumlah atom  $^{125}\text{Xe}$  yang terbentuk dihitung menggunakan persamaan 2, sedang perhitungan jumlah atom  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  yang terbentuk dihitung menggunakan persamaan diferensial (3) dan (4). Untuk menyelesaikan persamaan diferensial tersebut digunakan analisis numerik menggunakan metode Euler. Iradiasi dilakukan selama 24 jam dengan fluks neutron termal di kamar iradiasi sebesar  $3 \times 10^{13} \text{ n.s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  (9). Seluruh neutron diasumsikan sebagai neutron termal karena kamar iradiasi berada di pinggir teras, sangat jauh dari posisi bahan bakar. Setelah iradiasi selama 24 jam, seluruh gas xenon dipindahkan ke kamar iradiasi. Pada perhitungan  $^{126}\text{I}$  di kamar iradiasi diasumsikan bahwa seluruh  $^{125}\text{I}$  tetap

tertinggal di kamar iradiasi. Tampang lintang reaksi untuk reaksi inti  $^{124}\text{Xe}(n,\gamma)^{125}\text{Xe}$  dan  $^{125}\text{I}(n,\gamma)^{126}\text{I}$  masing masing sebesar 165 dan 894 barn (7).

Nilai radioaktivitas radionuklida merupakan perkalian antara jumlah radionuklida tersebut dengan konstanta peluruhannya. Konstanta peluruhan radionuklida dihitung dari waktu paruh masing masing. Umur paro radionuklida  $^{124}\text{Xe}$ ,  $^{125}\text{Xe}$  dan  $^{126}\text{I}$  masing masing sebesar 17 jam, 59,4 hari dan 13,1 hari.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan radioaktivitas xenon-125 di kamar iradiasi pada saat iradiasi gas xenon selama 24 jam ditunjukkan pada Gambar 4.



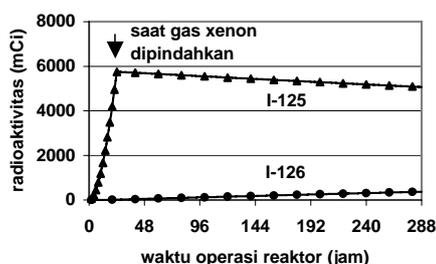
Gambar 4. Radioaktivitas  $^{125}\text{Xe}$  di dalam kamar iradiasi saat iradiasi sasaran gas xenon selama 24 jam.

Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa setelah iradiasi selama 24 jam,  $^{125}\text{Xe}$  dengan radioaktivitas 858 Ci dihasilkan di kamar iradiasi. Setelah iradiasi selama 24 jam, radioaktivitas  $^{125}\text{Xe}$  masih menunjukkan kenaikan karena radioaktivitas tersebut baru mencapai 62,4% dari radioaktivitas jenuhnya.

Pada saat iradiasi gas xenon tersebut, ada pula  $^{125}\text{I}$  yang terbentuk di dalam kamar

iradiasi dari peluruhan  $^{125}\text{Xe}$ . Radionuklida  $^{125}\text{I}$  ini diasumsikan tertinggal seluruhnya di dalam kamar iradiasi untuk menghitung radioaktivitas  $^{126}\text{I}$  yang terbentuk. Radioaktivitas  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  ditunjukkan pada Gambar 5. Setelah 24 jam, radioaktivitas  $^{125}\text{I}$  di dalam kamar iradiasi sebesar 5346 mCi. Radionuklida  $^{125}\text{I}$  yang terbentuk mendapat paparan neutron sehingga menghasilkan radionuklida  $^{126}\text{I}$ . Setelah iradiasi selama 24 jam,  $^{126}\text{I}$  yang terbentuk di dalam kamar iradiasi sebesar 11,7 mCi.

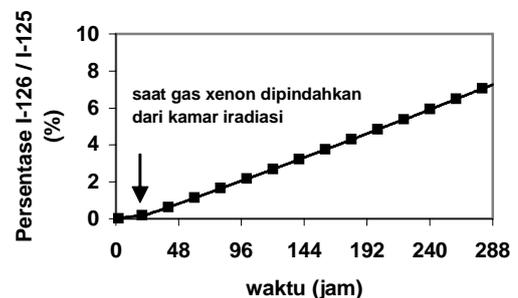
Setelah iradiasi selama 24 jam, gas xenon dipindahkan dari kamar iradiasi ke botol peluruhan untuk menghasilkan  $^{125}\text{I}$  dari  $^{125}\text{Xe}$ . Radionuklida  $^{125}\text{I}$  tertinggal di dalam kamar iradiasi dan terus mendapatkan paparan neutron sehingga reaksi pembentukan  $^{126}\text{I}$  terus berlangsung selama reaktor beroperasi. Reaktor G.A. Siwabessy dioperasikan selama 12 hari. Oleh sebab itu selanjutnya dihitung radioaktivitas  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  di dalam kamar iradiasi selama waktu operasi tersebut. Radioaktivitas  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  selama 12 hari operasi reaktor ditunjukkan pada Gambar 5. Pada perhitungan ini diasumsikan bahwa iradiasi gas xenon dilakukan dalam 24 jam pertama saat reaktor beroperasi.



Gambar 5. Radioaktivitas  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  di dalam kamar iradiasi selama reaktor beroperasi.

Pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa radioaktivitas  $^{125}\text{I}$  mengalami penurunan seiring dengan waktu. Setelah 12 hari, radioaktivitas berkurang dari 5346 mCi pada hari pertama sejak gas xenon dipindahkan menjadi 5068 mCi pada hari ke-12. Sebaliknya iodium-126 mengalami kenaikan karena reaksi pembentukan terus terjadi. Pada saat akhir operasi reaktor,  $^{126}\text{I}$  yang terbentuk mencapai 367 mCi.

Persentase  $^{126}\text{I}$  dibandingkan dengan  $^{125}\text{I}$  di dalam kamar iradiasi ditunjukkan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 diketahui bahwa pada saat gas xenon dipindahkan dari kamar iradiasi, persentase  $^{126}\text{I}$  sebesar 0,21% dari radioaktivitas  $^{125}\text{I}$ . Namun, pada saat akhir reaktor beroperasi, radioaktivitas  $^{126}\text{I}$  mencapai 7,2% dari radioaktivitas  $^{125}\text{I}$ .



Gambar 6. Persentase radioaktivitas  $^{126}\text{I}$  dibandingkan  $^{125}\text{I}$  di kamar iradiasi selama reaktor beroperasi.

Radionuklida  $^{126}\text{I}$  yang terbentuk pada saat iradiasi gas xenon memiliki radioaktivitas yang kecil sekali yaitu sebesar 11,7 mCi, namun, di kamar iradiasi terbentuk  $^{126}\text{I}$  sebesar 367 mCi setelah reaktor beroperasi selama 12 hari. Jeda reaktor beroperasi selama 14 hari. Jika uji produksi dilakukan pada operasi reaktor berikutnya, maka di dalam kamar iradiasi telah ada  $^{126}\text{I}$  sebesar 174 mCi.

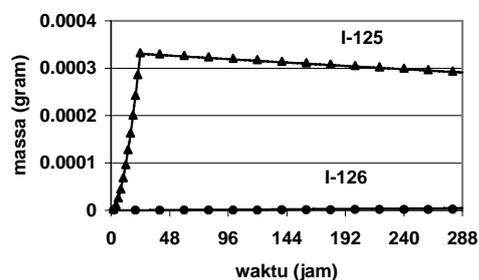
Radionuklida  $^{126}\text{I}$  sebesar ini berpotensi besar untuk mengkontaminasi produk jika filter iodine tidak berhasil menahannya secara sempurna pada saat pemindahan gas xenon.

Pada hasil uji produksi ke-7 dan ke-8 terkandung iodine-126 masing masing sebesar 4,1 dan 5,5 mCi (5). Dari iradiasi selama 24 jam hanya dihasilkan  $^{126}\text{I}$  sebesar 11,7 mCi. Sedangkan dari iradiasi sebelumnya dihasilkan 367 mCi pada saat akhir reaktor beroperasi. Jeda waktu reaktor beroperasi selama 16 hari. Pada saat reaktor mulai beroperasi kembali, di dalam kamar iradiasi masih tersisa iodine-126 sebesar 157 mCi, jauh lebih besar dari hasil iradiasi selama 24 jam yang sebesar 11,7 mCi. Jadi dapat diketahui bahwa sebagian besar  $^{126}\text{I}$  pengotor di dalam produk adalah  $^{126}\text{I}$  yang dihasilkan dari uji produksi sebelumnya.

Hasil uji produksi menunjukkan bahwa  $^{126}\text{I}$  ikut terdeteksi di dalam produk meskipun fasilitas produksi telah dilengkapi dengan filter iodine. Hal ini menunjukkan bahwa ada  $^{126}\text{I}$  yang lolos dari filter iodine. Untuk menentukan kapasitas serap filter yang sesuai, diperlukan jumlah massa iodine yang terbentuk di dalam kamar iradiasi. Jumlah massa  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  yang terbentuk dihitung dari jumlah mol dikalikan dengan berat atom masing masing. Massa radionuklida iodine tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.

Pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa massa iodine yang terbentuk sebagian berupa  $^{125}\text{I}$  sebanyak 0,33 mg. Iodine-126 hanya memiliki massa pada kisaran mikrogram. Dari hasil perhitungan ini

diketahui bahwa iodine yang terbentuk di dalam kamar iradiasi sebenarnya hanya pada kisaran miligram. Namun demikian, hasil uji produksi menunjukkan bahwa iodine dari kamar iradiasi ikut terbawa ke botol peluruhan sehingga menurunkan kemurnian radionuklida produk. Massa ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perawatan filter iodine.



Gambar 7. Massa  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  di kamar iradiasi selama reaktor beroperasi

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan iodine-126 di dalam kamar iradiasi diketahui bahwa dari iradiasi selama 24 jam hanya dihasilkan  $^{126}\text{I}$  sebanyak 11,7 mCi. Namun, karena  $^{125}\text{I}$  tertinggal di kamar iradiasi dan mendapat paparan neutron, maka pada akhir operasi reaktor pada hari ke-12 terbentuk  $^{126}\text{I}$  sebesar 367 mCi. Dari uji produksi ke-7 dan ke-8 terkandung  $^{126}\text{I}$  masing masing sebesar 4,1 dan 5,5 mCi. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar  $^{126}\text{I}$  yang mengotori produk adalah  $^{126}\text{I}$  dari uji produksi sebelumnya yang masih memiliki radioaktivitas 157 mCi pada saat reaktor mulai beroperasi kembali. Jumlah massa radionuklida iodine dari  $^{125}\text{I}$  dan  $^{126}\text{I}$  sebesar 0,33 mg pada saat pemindahan gas xenon

ke kamar iradiasi. Nilai ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perawatan filter iodium.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Inoue T, Hayakawa K, Shiotari H, Takada E and Torikoshi M. Economic scale of utilization of radiation (III): Medicine, J Nucl Scie Tech 2002; 39;.1114–9.
2. Widayati P, Ariyanto A, Yunita F, Sutari. Optimasi rancangan assay kit IRMA CA-125. J Radioi Radiofar 2006; 9:1-12.
3. Antipas V, Dale RG, Coles IP. A theoretical investigation into the role of tumour radiosensitivity, clonogen repopulation, tumour shrinkage and radionuclide RBE in permanent brachytherapy implants of  $^{125}\text{I}$  and  $^{103}\text{Pd}$ , Phys Med Bio 2001; 46: 2557-69.
4. Japan Radioisotope Association. Note book of radioisotope, Maruzen, Tokyo; 1990.
5. Awaludin R, Tahyan Y, Abidin, Sriyono, Sarwono DA. Evaluasi kemurnian radionuklida pada uji produksi Iodium-125 menggunakan target xenon diperkaya. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 2008.
6. Karhadkar CG. Design review and safety assessment of the xenon irradiation in tray rods. Proceeding of the IAEA Meeting on Irradiation Technology and Radioisotope Production, Jakarta; 2005
7. Saitoh N, Handbook of Radioisotope, Maruzen, Tokyo 1996.
8. [http://en.wikipedia.org/wiki/euler\\_method.htm](http://en.wikipedia.org/wiki/euler_method.htm) (Desember 2008)
9. Soenarjo S, Tamat SR, Suparman I and Purwadi B. RSG-GAS based radioisotopes and sharing program for regional back up supply. J Radioiso Radiofar 2003; 6: 33-43.

