

EVALUASI PEMBUATAN IODIUM-125 MENGUNAKAN SASARAN GAS XENON-124 DIPERKAYA 99.98%

Hotman Lubis, Daya Agung S., Sriyono, Abidin, Anung P.,
Hambali dan Hadirahman

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR) - BATAN

ABSTRAK

EVALUASI PEMBUATAN IODIUM-125 MENGGUNAKAN SASARAN GAS XENON-124 DIPERKAYA 99.98%. Salah satu radioisotop yang digunakan di kedokteran nuklir di Indonesia adalah radioisotop Iodium-125. Radioisotop Iodium-125 digunakan untuk pembuatan kit radioimmunoassay (RIA) dan untuk pembuatan seed brachytherapy kanker prostat. Pembuatan Iodium-125 dapat dilakukan dengan cara mengiradiasi gas xenon-124 dalam teras reaktor. Dari proses iradiasi tersebut terjadi reaksi nuklir $^{124}\text{Xe} (n, \gamma) ^{125}\text{Xe}$ selanjutnya akan terjadi peluruhan menjadi radioisotop Iodium-125. Dalam kegiatan ini dipakai sasaran gas xenon-124 dengan pengkayaan sebesar 99,98 %. Iradiasi dilakukan di posisi S1 di teras RSG GA Siwabessy selama 24 jam. Telah dilakukan tiga kali proses pembuatan Iodium-125 dan diperoleh produk dengan radioaktivitas masing-masing sebesar 8.367 mCi, 9.738 mCi dan 6.825 mCi dan pengotor radionuklida Iodium-126 sebesar 0,11 % , 0,63% dan 2,84% pada saat pelarutan (7 hari setelah iradiasi).

Kata kunci: iodium-125, xenon diperkaya, iradiasi neutron.

ABSTRACT

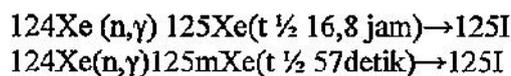
EVALUATION OF IODINE-125 PRODUCTION USING ENRICHED XENON-124 GAS 99.98% TARGETS. One of the used radioisotopes in nuclear medicine in Indonesia is the radioisotope Iodine-125. Iodine-125 radioisotopes are used for radioimmunoassay (RIA) and for the manufacture of seed brachytherapy for prostate cancer . Iodine-125 production can be done by irradiating xenon-124 gas in the reactor core based on the nuclear reaction of $^{124}\text{Xe} (n, \gamma) ^{125}\text{Xe}$.The ^{125}Xe then decays to Iodine-125 radioisotope. In this presented experiment study , high enriched ^{124}Xe (99.98%) was used as target. The target was irradiated at S1 irradiation facility on the GA Siwabessy reactor core at PRSG for 24 hours. Three times of Iodine-125 production runs have been performed giving I-125 activities of 8367 mCi , 9738 mCi and 6825 mCi respectively , measured at 7 days after the EOI (end of irradiation). The Iodine-126 for each product were found to be 0.11% , 0.63% and 2.84% respectively.

Key words: iodine-125, enriched xenon, neutron irradiation.

1. PENDAHULUAN

Iodium-125 adalah radioisotop pemancar gamma murni pada energi 35,5 KeV dengan intensitas 6,7% dan mempunyai waktu paro ($t_{1/2}$) 60,1 hari. Radioisotop tersebut meluruh melalui electron capture (EC) menjadi isotop stabil Telurium-125[1]. Selain memancarkan energi gamma 35,5 KeV Iodium-125 juga memancarkan sinar X pada energi 27 dan 31 KeV serta 21 elektron Auger pada energi 50 – 500 eV yang dimanfaatkan untuk radioterapi[2]. Di bidang kedokteran nuklir, Iodium-125 memiliki penggunaan yang sangat luas, baik untuk keperluan diagnosis yaitu Immunoradiometric assay (IRMA) sebagai perunut untuk deteksi dan pemantauan " tumor marker" (pertanda tumor) dalam serum darah dengan memanfaatkan emisi radiasi gamma-nya maupun terapi yaitu sebagai seed brakhiterapi dengan memanfaatkan emisi elektron Auger-nya I-125[2].

Iodium-125 dihasilkan dari peluruhan Xenon-125 yang memiliki waktu paro 16,8 jam dan peluruhan Xenon-125 meta stabil dengan waktu paro 57 detik[9]. Xenon-125 dan Xenon-125 meta stabil dapat dihasilkan dari aktivasi netron sasaran Xenon-124 melalui reaksi nuklir :



Di alam Isotop Xenon-124 hanya memiliki kelimpahan sebesar 0,10%, sehingga untuk mendapatkan Xenon-125 dengan radioaktivitas yang tinggi diperlukan kandungan Xenon-124 yang lebih tinggi (Xenon -124 diperkaya)[1,3].

Kualitas produk Iodium-125 ditentukan dari besarnya radioaktivitas, kemurnian radiokimia, dan kemurnian radionuklida. Iodium-125 tersedia dalam bentuk NaI¹²⁵I dengan konsentrasi radioaktivitas rendah (<250 mCi/ml), sedang (250-500 mCi/ml), tinggi (>500 mCi/ml) dengan kemurnian radionuklida >99,9%, kemurnian radiokimia >98%[4].

Proses pembuatan Iodium-125 merupakan suatu rangkaian proses yang rumit karena reaksi yang terjadi adalah reaksi bertahap menggunakan sasaran berbentuk gas yang punya potensi untuk lepas ke lingkungan selain itu harga dari gas xenon-124 diperkaya relatif mahal. Telah dilaporkan oleh Awaludin R, dkk. tentang pembuatan Iodium-125 dari sasaran xenon-124 diperkaya 82,4 % dengan jumlah target 0,0223 mol. Pembuatan Iodium-125 dilakukan pada fasilitas xenon loop di fasilitas iradiasi S1 reaktor G.A Siwabessy dengan fluks neutron sebesar $3 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ selama 24 jam. Hasil Iodium-125 pada uji ke-1 sampai ke-3 diperoleh radioaktivitas masing-masing sebesar 9541 mCi, 9801 mCi dan 11239 mCi. Radioaktivitas rerata diperoleh sebesar 10193 mCi. Sampai uji ke-3 tidak ditemukan pengotor radionuklida Iodium-126 [5].

Pada kegiatan ini dipakai sasaran gas xenon-124 diperkaya 99,98 % telah dilakukan pembuatan Iodium-125 sebanyak tiga kali. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengevaluasi hasil pembuatan Iodium-125. Evaluasi hasil meliputi konsentrasi radioaktivitas, konsentrasi radiokimia dan konsentrasi radionuklida dari produk terhadap batasan spesifikasi yang ditetapkan.

2. TATA KERJA

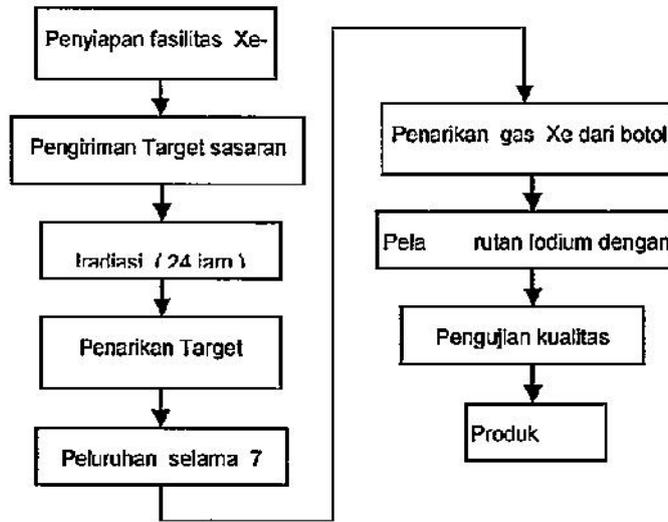
2.1. Bahan dan Peralatan

Peralatan gelas yang digunakan berspesifikasi pyrex. Bahan kimia sebagai pereaksi yang digunakan adalah pro analisis dari Merck. Bahan sasaran adalah gas Xenon-

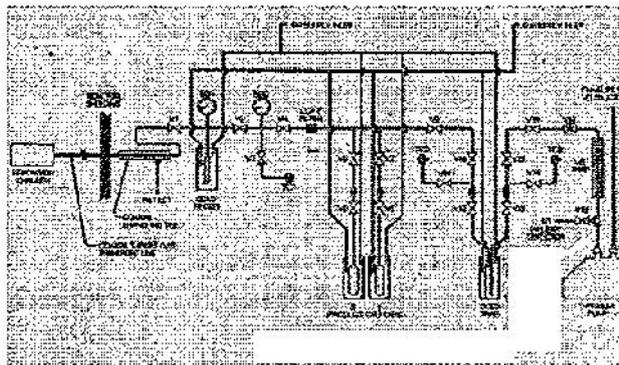
¹²⁴I diperkaya 99,98 % dari Chemgas-Perancis sebanyak 400 ml (pada P dan T standar). Fasilitas produksi Iodium-125 menggunakan Xe-loop yang berada di fasilitas iradiasi S1 di reaktor G.A. Siwabessy. Pengukuran radioaktivitas menggunakan GIC (Gamma Ionization Chamber) Dose Calibrator ATOMLAB 100 plus, pengukuran radiokimia menggunakan radiochromatografi scanner BIOSCAN AR 2000 dan pemeriksaan radionuklida menggunakan spektrometer sinar gamma dengan perangkat analisator saluran ganda yang dilengkapi dengan Detektor Canberra HPGE, Detector model GC 1520. Pre amp Model 2002 CSI, Bias voltage (+) 3000 V, Power Supply Model 1000 Canberra dan Amplifier Canberra Model 2026.

2.2. Produksi Iodium – 125 Menggunakan Fasilitas Produksi Xe-loop

Fasilitas produksi Xe-loop dilengkapi beberapa komponen utama yaitu kamar iradiasi (irradiation chamber), botol penyimpanan target (product cylinder 1), botol produk (product cylinder 2), filter iodium (iodine filter), pompa vakum (vacuum pump) dan beberapa valve. Dilengkapi 2 buah indikator tekanan Bourdon Gauge (BG) dan 3 buah indikator kevakuman Tachometer (TC). Indikator tekanan berfungsi untuk memantau tekanan gas xenon dalam sistem, indikator kevakuman untuk memastikan ada dan tidaknya kebocoran sistem. Filter Iodium (iodine filter) berfungsi untuk menangkap atau menyerap Iodium hasil iradiasi ¹²⁴Xe sewaktu penarikan gas pasca iradiasi ke botol produk. Untuk pemindahan gas xenon baik untuk pengiriman ke kamar iradiasi atau penarikan kembali ke botol produk digunakan nitrogen cair (cryogenic system). Sebelum kegiatan produksi dilakukan terlebih dahulu dilakukan pengecekan kevakuman sistem untuk memastikan bahwa sistem tersebut tidak bocor yang bisa dipantau melalui indikator kevakuman Tachometer (TC) terbaca ≤ 50 millitorr. Selanjutnya dilakukan pevakuman atau flashing dengan tujuan untuk menarik sisa gas yang masih berada di Kamar Iradiasi atau di jalur pipa-pipa dengan tujuan untuk menekan jumlah pengotor radionuklida yang akan mempengaruhi produk akhir. Gas Xenon dengan pengkayaan 99,98% sebagai bahan sasaran yang tersimpan dalam botol penyimpanan (product cylinder 1) di kirim ke kamar iradiasi (irradiation chamber) yang berada di dalam fasilitas iradiasi S1 teras reaktor G.A. Siwabessy. Iradiasi Gas Xenon dilakukan selama 24 jam pada daya 15 MW menghasilkan fluks neutron sebesar 3×10^{13} ns⁻¹ cm⁻². Setelah iradiasi gas Xenon ditarik ke botol produk (product cylinder 2) dengan bantuan nitrogen cair (cryogenic system) dan selanjutnya dilakukan peluruhan selama 7 hari. Diagram proses dan skema fasilitas proses produksi I-125 ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Proses Pembuatan Radioisotop I-125



Gambar 2. Skema Fasilitas Produksi Radioisotop Iodium-125

2.3. Pelarutan Iodium –125 Dari Botol Produk

Setelah peluruhan selama 7 hari gas xenon yang tidak teraktivasi dipindahkan dari botol produk ke botol penyimpanan. Botol produk yang berisi Iodium-125 dari hasil peluruhan Xe-125 dikeluarkan dari fasilitas Xe - loop dibawa ke gedung PRR untuk dilakukan pelarutan. Iodium-125 dalam botol produk dilarutkan dengan NaOH 0,005 N dengan volume yang telah ditentukan (pelarutan dilakukan dilakukan tiga kali). Hasil dari tiga kali pelarutan disebut fraksi I, II dan III.

2.4. Pengukuran Radioaktivitas

Untuk mengetahui aktivitas yang diperoleh dari hasil pelarutan Iodium-125 dari masing-masing fraksi maka dilakukan pengukuran radioaktivitas. Dilakukan pencuplikan sampel dengan menggunakan pipet mikro sebesar 20 µL. Selanjutnya sampel ditotolkan pada kertas Whatman dan dimasukkan dalam plastik untuk diukur radioaktivitasnya dengan menggunakan GIC (Gamma Ionization Chamber). Aktivitas yang diperoleh dapat dihitung dengan mengalikan hasil pengukuran dengan volume yang diperoleh dari masing-masing fraksi sehingga didapat aktivitas total keseluruhan dari hasil pelarutan.

2.5. Pemeriksaan Kemurnian Radiokimia dan Radionuklida

Kemurnian radiokimia larutan Na¹²⁵I ditentukan dengan metode kromatografi kertas menggunakan kertas Whatman No.1 sebagai fase diam dan metanol 75% sebagai fase gerak dan pengukuran dilakukan dengan alat radiochromatografi scanner BIOSCAN AR 2000 . Sebanyak 5 µl larutan Na ¹²⁵I diambil dengan bantuan pipet mikro kemudian ditotolkan pada ujung kertas kromatografi dan dikeringkan. Selanjutnya dilakukan perendaman pada ujung bawah pada kertas kromatografi sedalam 1 cm pada larutan metanol 75 % dan ditunggu hingga eluen naik sampai ± 30 cm, setelah itu kertas whatman dikeringkan. Kemudian dilakukan pengujian kemurnian radiokimia dengan alat radiochromatografi scanner (gamma counter).

Kemurnian radionuklida dilakukan dengan mengambil sebanyak 5 µl larutan Na ¹²⁵I dengan bantuan pipet mikro kemudian ditotolkan pada ujung kertas whatman no 1 dan dikeringkan. Terhadap cuplikan dilakukan pengukuran pengotor radionuklida dengan menggunakan spektrometer gamma. Puncak yang muncul diamati dan dicatat selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan konsentrasi pengotor radionuklida.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

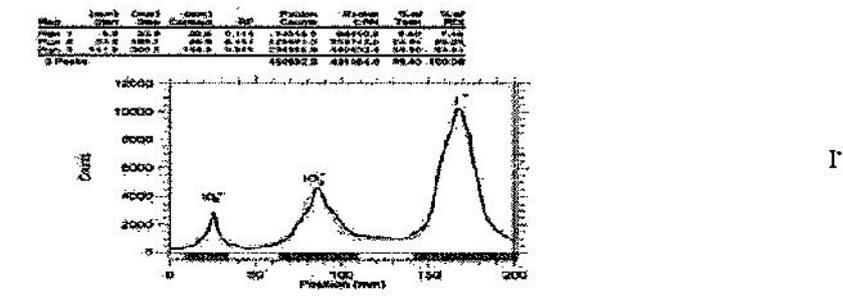
Radioaktivitas Iodium-125 merupakan radioaktivitas hasil pelarutan dari botol produk setelah diluruhkan selama 7 hari dari peluruhan gas Xe-125 pasca iradiasi. Radioaktivitas I-125 yang dihasilkan selama tiga kali iradiasi gas Xe-124 dengan pengkayaan 99,98% diperoleh radioaktivitas masing-masing sebesar 8367 mCi /15,8 ml, 9738 mCi / 12 ml dan 6825 mCi / 13,7 ml seperti yang terlihat pada Tabel 1. Dari tabel 1 diperoleh radioaktivitas Iodium-125 yang dihasilkan memenuhi batasan spesifikasi yang ditetapkan, yaitu lebih besar dari 300 mCi/ml .

Tabel 1. Hasil I-125 yang diperoleh dari iradiasi sasaran gas xenon-124 diperkaya 99,98%

Parameter	No. Batch Proses		
	RI-001	RI-002	RI-003
Radioaktivitas total 7 hari pasca EOI .. (mCi)	8367	9738	6825
Persentase I- (%)	84,56	64,35	57,04
Persentase IO3- (%)	2,51	28,20	41,82
Persentase IO4- (%)	12,93	7,46	0,59
Kemurnian radionuklida (%)	0,11%	0,63%	2,84%

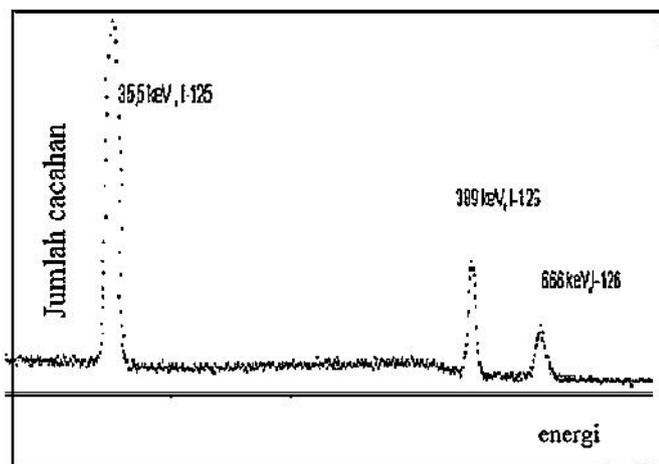
Contoh hasil pemeriksaan radiokimia Iodium-125 disajikan pada Gambar 3. Diperoleh tiga puncak radiokimia yaitu Iodida (I-), Iodat (IO₃-) dan periodat (IO₄-). Dari 3 kali pembuatan diperoleh kemurnian radiokimia sebagai Iodida sebesar 84,56 %, 64,35 % dan 57,04 %. Hasil kemurnian radiokimia tersebut tidak memenuhi batasan spesifikasi yang ditetapkan. Rendahnya persentase Iodida(I-) dalam produk diduga disebabkan karena ada oksigen terperangkap didalam fasilitas ataupun botol produk yang berperan sebagai oksidator sehingga terjadi perubahan tingkat oksidasi I-

menjadi IO3- dan IO4- yang mengakibatkan persentase I- menjadi berkurang dan sebaliknya persentase IO3- dan IO4- menjadi naik. Untuk meningkatkan kemurnian radiokimia dalam produk dan dapat dipakai dalam bidang radiofarmaka diperlukan perlakuan lebih lanjut.



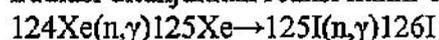
Gambar 3: Contoh hasil pemeriksaan kemurnian radiokimia dengan radiochromatografi scanner.

Hasil pengukuran radionuklida dengan spektrometer gamma disajikan pada Gambar 4. Dari Gambar 4 diperoleh puncak pada energi 35,5 KeV, 389 KeV dan 666 KeV. Puncak energi 35,5 KeV adalah puncak energi I-125 sedang puncak energi 389 KeV dan 666 KeV merupakan puncak energi I-126 sebagai radionuklida pengotor. Dari puncak energi dan luas area dihitung konsentrasi pengotor I-126 dengan program komputer Microsoft Visual Basic for Windows yang dibuat Ibon Suparman[7]. Hasil perhitungan diperoleh konsentrasi I-126 dalam produk sebesar 0,11 % , 0,63% dan 2,84%. Besarnya konsentrasi radionuklida I-126 dalam produk melampaui dari batasan spesifikasi yang ditetapkan.



Gambar 4. Hasil pengukuran Iodium-125 dengan spektrometer gamma

Ditemuinya radionuklida pengotor I-126 dalam produk disebabkan karena radionuklida I-126 terbentuk di dalam kamar iradiasi melalui peluruhan Xe-125 menjadi I-125. Radionuklida I-125 tersebut terpapar oleh neutron sehingga membentuk I-126. Pada saat dilakukan penarikan gas xenon pasca iradiasi, I-126 ikut terpindahkan dari kamar iradiasi dan lolos kedalam botol produk. Reaksi pembentukan I-126 di kamar iradiasi ditunjukkan reaksi nuklir berikut.



Seharusnya pada saat penarikan ke botol produk, Iodium yang terbentuk dari kamar radiasi tertahan di filter iodium. Karena daya serap filter iodium sudah tidak maksimal lagi maka I-126 lolos ke botol produk.

Untuk mengetahui apakah proses pembuatan I-125 berlangsung dengan baik maka dilakukan perhitungan aktivitas secara teoritis dan dibandingkan dengan aktivitas yang dihasilkan dari pembuatan Iodium-125. Perhitungan aktivitas teoritis I-125 atau disingkat (At-125) setelah peluruhan 7 hari dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2).

$$AXe-125 = NXe-124 \times \sigma_{Xe-124} \times \Phi \times (1 - \exp(-0,693/T_{1/2Xe-125} \times T_i)) \dots (1)$$

$$AI-125 = (\lambda I-125 / \lambda_{Xe-125}) \times AXe-125 \times (1 - \exp(-0,693/T_{1/2Xe-125} \times T_p)) \dots (2)$$

dimana ;

$AXe-125$: Laju penambahan Xe-125 (atom.s-1)

$\lambda I-125$: Laju penambahan I-125 (atom.s-1)

N_{Xe-124} : Jumlah atom ^{124}Xe (Atom)

σ_{Xe-124} : tampang lintang reaksi ^{124}Xe

Φ : fluks neutron (n.s-1cm-2).

$\lambda I-125$: konstanta peluruhan Iodium-125 (s-1)

λ_{Xe-125} : konstanta peluruhan Xenon-125 (s-1)

$T_{1/2Xe-125}$: Waktu paro peluruhan Xe-125 (jam)

T_i : lama iradiasi (jam)

T_p : lama peluruhan (jam)

Tabel 2. Data yang digunakan untuk perhitungan aktivitas teoritis I-125 .

No	Parameter	Keterangan
1.	Sasaran enriched Xe-124(99,98%)	Volume=400ml, Tekanan= 1atm dan Temperatur = 300 K
2.	Tetapan gas (R)	0,08205746 L. atm. mol - 1 K -1
3.	Jumlah mol xenon(n)	0,01625 mol gas xenon
4.	Penampang lintang reaksi	128 barn
5.	Fluks	$3,4 \times 10^{13}$ (n.s-1cm-2)
6.	Waktu Iradiasi	24 jam
7.	Waktu peluruhan	168 jam
8.	Waktu paro Xe-125	16.8 jam
9.	Waktu paro I-125	1443.36 jam

Tabel 3. Hasil persentase perolehan(yield) I-125

Parameter	No. Batch Proses		
	RI-001	RI-002	RI-003
Radioaktivitas total 7 hari pasca EOI .. (mCi)	8367	9738	6825
Radioaktivitas total teoritis 7 hari pasca EOI (mCi)	7045	7045	7045
Persentase yield (%)	>100 %	>100%	100 %

Persentase perolehan I-125 setelah peluruhan 7 hari pasca iradiasi ditunjukkan pada tabel 3. Hasil persentase perolehan Iodium-125 produk 1 dan 2 lebih besar dari 100%, dan produk 3 sebesar 97,4 %. Perolehan radioaktivitas lebih besar dari 100% diduga disebabkan karena besar fluks neutron yang digunakan dalam perhitungan radioaktivitas lebih kecil dari harga sesungguhnya di kamar iradiasi. Diduga pula peluruhan Xenon-125 meta stabil (Xe-125m) ikut berperan terhadap perolehan radioaktivitas Iodium-125.

Besarnya radioaktivitas hasil produk I-125 tersebut menunjukkan bahwa proses produksi berlangsung dengan baik mulai pengiriman dan penarikan gas xenon dari kamar iradiasi dan pelarutan dalam botol produk.

Bila hasil pembuatan I-125 dari xenon-124 diperkaya 99,98 % dibanding dengan xenon-124 diperkaya 82,4 % diperoleh perbandingan sebagai berikut. Dari hasil pembuatan Iodium-125 yang telah dilakukan 3 kali dari gas Xenon-124 diperkaya 99,98 % dengan jumlah target sebesar 0,01625 mol memberikan rerata radioaktivitas sebesar 8310 mCi atau 511486,9 mCi/mol. Dari hasil pembuatan Iodium-125 yang telah dilakukan 3 kali dengan gas Xenon-124 diperkaya 82,4% dengan jumlah target 0,0223 mol memberikan rerata radioaktivitas sebesar 10193 mCi atau 554715 mCi/mol [5]. Besarnya radioaktivitas yang diperoleh sebanding dengan jumlah mol gas xenon-124

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Radioaktivitas total Iodium-125 yang diperoleh dari 3 kali pembuatan sebesar 8361 mCi, 9738 mCi dan 6825 mCi. Kemurnian radiokimia sebesar 84,56 %, 64,35 % dan 57,04 % dan kemurnian radionuklida sebesar 99,89 % , 99,37 % dan 97,16 %. Dari hasil ini disimpulkan bahwa konsentrasi radioaktivitas memenuhi spesifikasi produk, sedangkan konsentrasi radiokimia dan radionuklida tidak memenuhi spesifikasi produk.

DAFTAR PUSTAKA

1. SAITOH,N., Hand Book of Radioisotope, Maruzen, Tokyo (1996).
2. ANONYMOUS, 2011, Iodine-125, Available:<http://en.wikipedia.org/wiki/Iodine-125>, diakses 13-10-2011.
3. IAEA,Manual for reactor produce radioisotopes,TECDOC-1340, (2003)
4. ANONYMOUS, 2011 Product Iodine-125, Available:<http://www.nordion.com/Iodine-125> diakses 12-10-2011.

5. Awaluddin R., "Pembuatan Iodium-125 Menggunakan sasaran Xenon-124 diperkaya", *Persentasi Ilmiah Peneliti Madya Bidang Radiokimia*, September 2010.
6. Suparman Ibon, "Komputerisasi Sistem Pemrosesan Data dan Dokumentasi Produk Radioisotop I-125", *Kolokium Radioisotop dan Radiofarmaka* Nopember 2009.