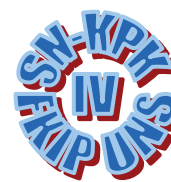


## MAKALAH PENDAMPING : PARALEL E



**SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA IV**  
"Peran Riset dan Pembelajaran Kimia dalam Peningkatan Kompetensi  
Profesional"  
Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS  
Surakarta, 31 Maret 2012



### PEMISAHAN RADIOISOTOP $^{177}\text{Lu}$ DARI Matriks TARGET Yb ALAM BERBASIS REAKSI NUKLIR $^{176}\text{Yb} (n,\gamma) ^{177}\text{Yb} \rightarrow ^{177}\text{Lu} + \beta$

Triani W.<sup>1</sup>, Endang S., Sriyono, Umi NS., Triyanto, Sunarhadijoso S.

<sup>1</sup>Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka, BATAN,  
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314  
Telp. 021 7563141 Fax. 021 7563141

[roem\\_82@yahoo.com](mailto:roem_82@yahoo.com)

#### ABSTRAK

Lutesium-177 adalah radioisotop golongan lantanida yang banyak digunakan untuk tujuan terapi di kedokteran nuklir. Radioisotop Lu-177 merupakan pemancar radiasi  $\beta$  dengan energi 497 keV (78%) yang sesuai untuk penanganan terapi pada tumor jaringan lunak, terutama yang masih berukuran kecil, dan juga memancarkan radiasi  $\gamma$  dengan energi utama 208 keV (12%) yang cukup ideal untuk penggunaan dalam teknik *imaging* (pencitraan). Dengan melalui reaksi inti  $\text{Yb-176}(n,\gamma)\text{Yb-177} \rightarrow \text{Lu-177} + \beta$ , radioisotop Lu-177 yang dihasilkan tidak saja bebas pengemban (keradioaktifan jenis sangat tinggi), tetapi juga bebas dari pengotoran radioisotomik Lu-177m yang terjadi pada reaksi inti  $\text{Lu-176}(n,\gamma)\text{Lu-177}$ . Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan sediaan radioisotop Lu-177 bebas pengemban dari target Yb-176 alam dalam bentuk  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ . Metode yang digunakan adalah teknik pemisahan Lu-177 dari matriks  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  paska iradiasi menggunakan kolom kromatografi berpemanas, menggunakan fasa diam resin LN dan fasa gerak larutan  $\text{HNO}_3$ . Dari hasil percobaan didapat teknik yang tepat untuk memisahkan Yb-175 dan Lu-177, yaitu target  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  alam paska iradiasi *di loading* ke dalam kolom kromatografi dan dipertahankan semalam serta selama proses kolom kromatografi dijaga suhunya  $50^\circ\text{C}$ . Meskipun terpisah namun masalah utama dalam pemisahan ini adalah kuantitas Yb-175 yang besar sementara Lu-177 sebagai produknya masih kecil yaitu 0,225%. Yb-175 dominan keluar dengan fasa gerak  $\text{HNO}_3$  2M pada fraksi 18 dan Lu-177 keluar dengan fasa gerak  $\text{HNO}_3$  3M pada fraksi 42. Keberadaan Yb-175 yang lebih dominan dapat dicegah dengan penggunaan target Yb-176 diperkaya.

**Kata Kunci :** Ytterbium-177, Lutesium-177, bebas pengemban, kromatografi kolom, sediaan radiofarmaka

#### PENDAHULUAN

Pada periode awal abad 20, unsur-unsur radioaktif dari golongan lantanida yang merupakan pemancar  $\beta$  dan  $\gamma$  mulai banyak menjadi obyek riset untuk tujuan aplikasi radioterapi dan sekaligus radiodiagnosis berdasarkan sifat biologisnya yang mirip dengan unsur kalsium dengan keunggulan pembentukan muatan ion dan kapasitas bilangan koordinasi yang lebih besar [1]. Bahkan

dengan karakter interaksinya dengan sistem kekebalan, potensi aplikasi radioisotop lantanida untuk diagnosis menjadi semakin luas [1,2].

Dalam beberapa tahun terakhir ini, Lutesium-177 (Lu-177) telah menjadi salah satu radioisotop golongan tanah jarang (lantanida) yang banyak digunakan untuk tujuan terapi dengan teknik nuklir. Radioisotop Lu-177 merupakan pemancar radiasi  $\beta$  dengan energi 497keV (78%)

yang ideal untuk penanganan terapi pada tumor jaringan lunak, terutama yang masih berukuran kecil, dan juga memancarkan radiasi  $\gamma$  dengan energi utama 208keV (12%) yang cukup ideal untuk penggunaan dalam teknik *imaging* (pencitraan). Karakter energi radiasi ini didukung pula dengan karakteristik waktu paruh yaitu 6,65 hari menjadikan radioisotop Lu-177 sebagai radioisotop pilihan dalam bidang kedokteran nuklir, khususnya dalam penggunaan bersama dengan senyawa biologis aktif, misalnya *antibody* bertanda yang mempunyai karakter kinetika *up-take* yang lambat [3,4]. Waktu paruh ini juga cukup sesuai untuk mengantisipasi permasalahan yang berkaitan dengan waktu penyimpanan dan pendistribusian sediaan sejak selesainya proses preparasi sediaan sampai saat penggunaannya [5]. Tidak kurang dari 30 macam aplikasi klinis, termasuk perlakuan pada kanker colon, kanker tulang metastasis, limfoma non-Hodgkin dan kanker paru-paru, telah dipelajari penanganannya dengan menggunakan radiofarmaka bertanda Lu-177 [6,7].

Radioisotop Lu-177 dapat tersedia dalam keradioaktifan jenis rendah, melalui reaksi inti Lu-176( $n,\gamma$ ) Lu-177, ataupun keradioaktifan jenis tinggi, melalui reaksi inti Yb-176( $n,\gamma$ ) Yb-177  $\rightarrow$  Lu-177 [4,8]. Cara yang pertama merupakan cara langsung, tidak memerlukan tahapan pemisahan yang kompleks, tetapi keradioaktifan jenis produk akan rendah, karena matrik sasaran dan produk adalah unsur yang sama sehingga mempunyai sifat kimia yang persis sama. Cara yang kedua merupakan cara tak langsung yang menghasilkan produk radioisotop bebas pengemban, memerlukan tahapan pemisahan radionuklida yang mungkin sekali tidak sederhana karena sebagai sesama unsur lantanida maka Yb dan Lu mempunyai kemiripan sifat kimia satu sama lainnya. Dalam banyak hal aplikasi sediaan radiofarmaka bertanda Lu-177, terutama untuk penandaan reseptor biomolekul dengan ketersediaan reseptor dalam jumlah kimiawi yang kecil, diperlukan penggunaan Lu-177 keradioaktifan jenis tinggi, sehingga cara tak langsung lebih menjadi pilihan. Secara umum bahkan dapat dikatakan bahwa ketersediaan radiolantanida dengan keradioaktifan jenis tinggi menjadi kunci menuju pengembangan penggunaan radiofarmaka berbasis radiolantanida untuk tujuan radioimunoterapi [9].

Di sisi lain, reaksi inti Lu-176( $n,\gamma$ ) Lu-177 akan disertai dengan pembentukan radioisotop Lu-177m yang mempunyai waktu paruh lebih panjang (160 hari) dan menjadi pengotor radioisomerik dari Lu-177. Dengan melalui reaksi inti Yb-176( $n,\gamma$ ) Yb-177  $\rightarrow$  Lu-177, radioisotop Lu-177 yang dihasilkan tidak saja bebas pengemban (keradioaktifan jenis sangat tinggi), tetapi juga bebas dari pengotoran radioisomerik Lu-177m [5]. Persoalan utama dari teknik tak langsung ini adalah pemisahan Lu-177 dalam jumlah runutan dari matrik sasaran Yb yang berada dalam jumlah makro.

Potensi kebutuhan akan ketersediaan radiofarmaka bertanda Lu-177 di lingkungan fasilitas kedokteran nuklir domestik mendorong pentingnya dilakukan pembuatan radioisotop Lu-177 secara lokal dengan menggunakan fasilitas reaktor G.A. Siwabessy. Karena itu dalam penelitian ini dipelajari teknologi pemisahan radioisotop Lu-177 bebas pengemban dari matrik berbasis reaksi nuklir Yb-176( $n,\gamma$ ) Yb-177  $\rightarrow$  Lu-177. Dengan pertimbangan ekonomi, dalam percobaan yang dilakukan tidak digunakan target Yb-176 pengkayaan tinggi, tetapi digunakan Yb alam dalam bentuk senyawa oksidanya yaitu Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi satu landasan bagi peningkatan kapabilitas domestik dalam teknologi produksi radioisotop serta perluasan layanan penyediaan preparat radioisotop dan radiofarmaka berbasis reaktor nuklir, khususnya sediaan radioisotop dan radiofarmaka untuk tujuan diagnosis maupun terapi berbagai kasus kanker dan tumor.

## PROSEDUR PERCOBAAN

Target yang digunakan adalah Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alam dari Sigma-Aldrich. Ampul iradiasi target yang digunakan adalah tabung kuarsa dan kapsul iradiasi (*inner capsule* dan *outer capsule*) dari bahan aluminium. Kolom kromatografi untuk proses pemisahan berupa kolom berpemanas berbahan gelas yang dihubungkan dengan selang, pompa dan bejana air hangat. Kolom kromatografi berisi fasa diam berupa resin LN dari *Eichrom* ukuran 50-100  $\mu$ m yang sudah dikondisikan sebelumnya dan fasa gerak berupa larutan HNO<sub>3</sub>. *Dose calibrator ATOMLAB 100<sup>Plus</sup> BIODEX* digunakan untuk pengukuran aktivitas *eluat* hasil fraksinasi. Untuk pemeriksaan radionuklida digunakan

perangkat *spektrometer gammaX-Cooler* dengan detektor *HPGe*.

Target  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  dimasukkan ke dalam ampul kuarsa kemudian ditutup dengan teknik pengelasan dalam kapsul iradiasi dan dilakukan uji kebocoran dengan cara uji gelembung (*bubble test*). Selanjutnya target diiradiasi di dalam fasilitas *Central Irradiation Position* (CIP) reaktor G.A. Siwabessy selama  $\pm 4$  hari. Target paska iradiasi dipindah ke dalam bejana gelas 100 mL dan dilarutkan dengan larutan HCl pekat, kemudian dipanaskan sampai kawat, kemudian residunya dilarutkan dalam HCl 0,1 M hingga larutan berwarna putih jernih. Resin LN produk *Eichrom* ditimbang sebanyak 1,5 gram, kemudian resin tersebut dimasukkan ke dalam bejana gelas dan dicuci dengan  $\text{HNO}_3$  0,1 M. Resin yang sudah dicuci dipanaskan pada suhu  $50^\circ\text{C}$  selama 2,5 jam menggunakan bejana air hangat. Setelah dipanaskan, resin LN dimasukkan ke dalam kolom kromatografi sepanjang 5 cm. Pembasahan resin tetap dilakukan dengan mengalirkan  $\text{HNO}_3$  0,1 M selama 2,5 jam atau sepanjang malam sampai target siap *diloading*. Kolom kromatografi yang sudah diisi resin LN dihubungkan dengan bejana air hangat, pompa, selang dan dijaga kondisinya  $50^\circ\text{C}$  selama proses [10,11]. Target Yb hasil iradiasi *diloading* ke dalam kolom kromatografi dan dipertahankan semalam. Target yang sudah dipertahankan semalam ditampung serta disisihkan sebagai limbah. Kolom kromatografi kemudian dibilas dengan 5 mL 0,1 M  $\text{HNO}_3$  dan ditampung sebagai limbah cucian. Selanjutnya dilakukan fraksinasi dengan elusi secara gravitasi dengan fase gerak  $\text{HNO}_3$  tiap 5 m. Secara gradual dilakukan peningkatan konsentrasi  $\text{HNO}_3$  yang digunakan sebagai fase gerak 1,5 M; 2 M; dan 3 M  $\text{HNO}_3$  seperti terlihat pada Gambar 1 [10]. Masing-masing fraksi *eluat* diukur dengan *dose calibrator* pada dial 105 (*dial* Lu-177).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Isotop alam Yb mengandung 7 isotop stabil dengan nomor massa berturut-turut 168 (kelimpahan di alam 0,13%), 170 (3,05%), 171 (14,3%), 172 (21,9%), 173 (16,12%), 174 (31,8%) dan 176 (12,7%). Sedangkan isotop alam Lu hanya mempunyai 2 buah isotop stabil, yaitu Lu-175 (97,41%) dan Lu-176 (2,59%) [12,13]. Produk reaksi nuklir ( $n,\gamma$ ) dari masing-masing isotop tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa aktivasi ( $n,\gamma$ ) terhadap bahan sasaran Yb alam akan menghasilkan 4 macam isotop stabil Yb ( $^{170}\text{Yb}$ ,  $^{171}\text{Yb}$ ,  $^{172}\text{Yb}$ ,  $^{173}\text{Yb}$ ) dan 3 macam radioisotop Yb ( $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{175}\text{Yb}$ ,  $^{177}\text{Yb}$ ). Gabungan karakteristik kelimpahan isotop sasaran, penampang lintang reaksi ( $n,\gamma$ ) dan waktu paruh menunjukkan produk radioisotop  $^{175}\text{Yb}$  merupakan radioisotop Yb yang paling utama. Di sisi lain, aktivasi ( $n,\gamma$ ) terhadap bahan sasaran Lu alam menghasilkan 4 macam radioisotop Lu ( $^{176}\text{Lu}$ ,  $^{176\text{m}}\text{Lu}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{177\text{m}}\text{Lu}$ ). Data pada Tabel 1 dijadikan dasar pertimbangan untuk memilih radioisotop Yb-175 dan Lu-177 yang akan diidentifikasi setelah dilakukan pemisahan matrik sasaran paska iradiasi.

### Proses Pemisahan Yb-175 dan Lu-177

Untuk pemisahan radioisotop Yb-175 dengan Lu-177 dilakukan dengan cara fraksinasi menggunakan kolom kromatografi, fasa diam resin LN yang sudah dilakukan preparasi sebelumnya dan fasa gerak berupa larutan  $\text{HNO}_3$ . Resin LN adalah resin Lantanida yang digunakan khusus untuk pemisahan unsur-unsur golongan lantanida. Sebelum dimasukkan ke dalam kolom, resin LN dicuci dan dipanaskan terlebih dahulu. Tujuan dari pemanasan ini adalah untuk mengeluarkan gas-gas yang terperangkap dalam resin. Target Yb hasil iradiasi *diloading* ke dalam kolom kromatografi dan dipertahankan semalam dengan tujuan untuk mendapatkan periode peluruhan Yb-177 yang menghasilkan keradioaktifan optimal dari radioisotop Lu-177.

Fraksinasi pertama digunakan fasa gerak  $\text{HNO}_3$  1,5 M dan masing-masing fraksi diukur dengan *dose calibrator*, hasilnya hanya berupa *background* sampai sepuluh fraksi pertama. Fraksinasi dilanjutkan dengan menggunakan fasa gerak  $\text{HNO}_3$  2 M, hasilnya terlihat adanya kenaikan aktivitas, dan pada fraksi 18 adalah aktivitas tertinggi. Fraksinasi tetap dilanjutkan menggunakan fasa gerak  $\text{HNO}_3$  2 M sampai aktivitas *flat*, penggantian fasa gerak dilakukan saat aktivitas sudah stabil dan mencapai *background*. Mulai fraksi 40 fasa gerak diganti menggunakan  $\text{HNO}_3$  3 M dan hasil yang didapat pada fraksi 42 terjadi kenaikan aktivitas lagi yang dapat teramati dengan perbesaran skala secara parsial karena aktivitas Lu-177 yang diperoleh sangat kecil dibandingkan aktivitas Yb-175. Keadaan ini dapat dihindari dengan menggunakan target Yb-

176 diperkaya. Hasil fraksinasi dapat dilihat pada Gambar 1.

### Analisis Fraksi Lu-177

Masing-masing fraksi *eluat* diukur aktivitasnya dengan *dose calibrator*. Fraksi yang mempunyai aktivitas tertinggi dicuplik dan dilakukan analisa radionuklida dengan *spektrometer gamma*. Pada fraksi ke-18 dan fraksi ke-42 yang merupakan puncak aktivitas tertinggi dari hasil fraksinasi, dicuplik dan diambil sebanyak 5  $\mu$ L dan ditotolkan pada kertas saring kemudian dikeringkan dan dicacah selama 300 detik menggunakan *spektrometer gamma*, hasilnya pada fraksi ke-18 terdapat Yb-175 dan pada fraksi ke-42 terdapat Lu-177. Dari hasil fraksinasi, fraksi Yb selalu lebih besar dibanding fraksi Lu, namun Yb yang terdeteksi adalah Yb-175 ( $t_{1/2} = 4,2$  hari) bukan Yb-177 ( $t_{1/2} = 1,9$  jam) padahal Lu-177 berasal dari peluruhan Yb-177. Hasil *spektrometer gamma* dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa puncak Yb-175 yang berada di fraksi 18 mulai naik pada fraksi 14 dan turun pada fraksi 28, sehingga dari fraksi 14 sampai fraksi 28 dicampur dan dicacah kembali dengan *spektrometer gamma* untuk melihat kemurnian puncak pertama, apakah benar-benar hanya Yb-175 saja yang keluar dipuncak ini, hal yang sama dilakukan pula pada puncak Lu-177 pada fraksi 42. Puncak tertinggi kedua yaitu pada fraksi 42 yang merupakan puncak Lu-177 terlihat pada gambar puncaknya mulai naik pada fraksi 41 dan turun kembali pada fraksi 44 sehingga dari fraksi 41 hingga fraksi 44 dicampur dan dicacah kembali dengan *spektrometer gamma*. Dari hasil *spektrometer gamma* terlihat pada campuran fraksi 14 sampai fraksi 28, terlihat adanya spektrum gamma Yb-175 tapi terdapat pula spektrum gamma Lu-177 nya sedangkan pada campuran fraksi 41 sampai fraksi 44, hanya terlihat spektrum gamma Lu-177 dan bersih dari Yb-175. Hasil *spektrometer gamma* terlihat bahwa pada campuran fraksi 14 sampai fraksi 28 muncul energi *gamma* 282 keV dan 396 keV yang merupakan energi *gamma* Yb-175 dan energi 208 keV yang merupakan energi *gamma* Lu-177, hal ini menunjukkan bahwa pada puncak fraksi 18, Yb-175 keluar dominan tapi tidak bersih dari Lu-177. Sedangkan dari hasil *spektrometer gamma* campuran fraksi 41 sampai fraksi 44 terlihat hanya terdapat energi *gamma* 113 keV dan 208 keV, hal ini menunjukkan

bahwa puncak fraksi 42, Lu-177 keluar bersih dan bebas dari Yb-175. Hasil *spektrometer gamma* campuran fraksi 14 sampai fraksi 28 dan campuran fraksi 41 sampai fraksi 44 dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Selain pencacahan kemurnian radionuklida dari produk Lu-177 menggunakan *spektrometer gamma* juga dilakukan pencacahan berulang terhadap campuran fraksi 14 sampai fraksi 28 dan campuran fraksi 41 sampai fraksi 44 menggunakan *dose calibrator* ATOMLAB-100 untuk menentukan waktu paruh apakah radioisotop yang dihasilkan benar-benar Yb-175 dan Lu-177. Hasil dari pencacahan berulang dihitung menggunakan rumus peluruhan :  $A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$ . Dari hasil perhitungan diperoleh  $t_{1/2}$  (waktu paruh) Yb-175 adalah 6,3 hari sedangkan menurut pustaka waktu paruh Yb-175 adalah 6,7 hari dan waktu paruh hasil perhitungan Lu-177 adalah 3,9 hari sedangkan menurut pustaka waktu paruh Lu-177 adalah 4,2 hari. Kurva peluruhan Yb-175 (campuran fraksi 14-28) dan Lu-177 (campuran fraksi 41-44) dapat dilihat pada Gambar 6.

## KESIMPULAN

Pemisahan Lu-177 dari matriks  $Yb_2O_3$  paska iradiasi telah berhasil dilakukan, menggunakan kolom kromatografi berpemanas yang dihubungkan dengan bejana air hangat, pompa, selang dan suhu selama proses dijaga 50°C. Fraksinasi dilakukan dengan fasa diam resin LN dan fasa gerak larutan  $HNO_3$  1,5 M; 2 M; 3 M. Dari hasil fraksinasi, Yb-175 dominan keluar dengan fasa gerak  $HNO_3$  2 M pada fraksi 18 dan Lu-177 keluar dengan fasa gerak  $HNO_3$  3 M pada fraksi 42. Keberadaan Yb-175 ini dapat dicegah bila digunakan target Yb-176 pengkayaan tinggi.

Dari pengukuran didapat waktu paruh Yb-175 adalah 6,3 hari sedangkan menurut pustaka 6,7 hari dan waktu paruh Lu-177 adalah 3,9 hari sedangkan menurut pustaka 4,2 hari, terjadi sedikit perbedaan namun sudah mendekati, hal ini menunjukkan bahwa radioisotop yang dihasilkan adalah benar-benar Yb-175 dan Lu-177.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] S.P. Fricker, *The therapeutic application of lanthanides*, Chem. Soc. Rev., 35 (2006) 524–533.

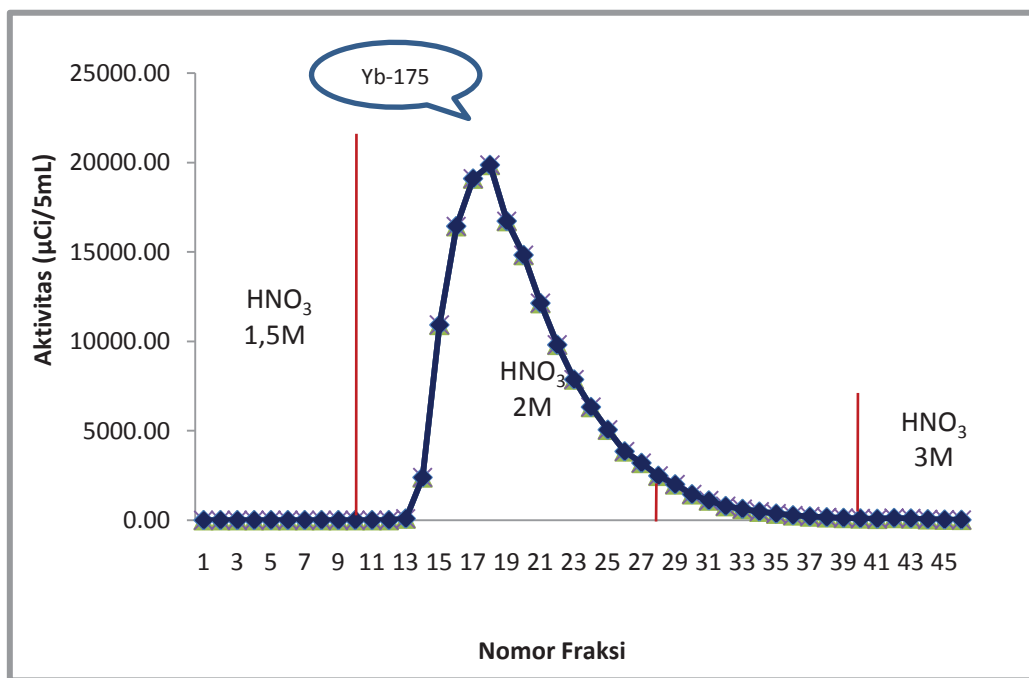


- [2] C.H. Evans, *Interesting and useful biochemical properties of lanthanides*, Trends in Biochem. Sci, 8[12] (1983) 445-449.
- [3] Anonymous, *Lu-177 Fact Sheet, Lutetium-177 radiochemical chloride solution*, MDSNordion, Canada (2008).
- [4] Knapp, Jr., F.F., Ambrose, K.R., Beets, A.L., et al, *Nuclear medicine program progress report for quarter ending september 30, 1995*, ORNL-TM13107, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge Tennessee 37831-6285 (1995).
- [5] Ruttý solá, G.A., Argüelles, M.G., Bottazzini, D.L., et al, *Lutetium-177-EDTMP for bone pain palliation. Preparation, Biodistribution and Pre-clinical studies*, Publicado en Radiochim, 88, no. 3-4 (2000) 157-161.
- [6] <http://www.inpharmatechnologist.com/processing-qc/New-lutetium-177-source-for-cancer-drugs>, diakses 28 juli (2009).
- [7] [http://www.radiologytoday.net/archive/rt\\_112204p20.shtml](http://www.radiologytoday.net/archive/rt_112204p20.shtml) : Promising Isotopes - Looking at Lutetium-177 and Other Targeted Radiotherapy Isotopes, diakses 20 januari (2009).
- [8] Bensimon, C., Oelsner, S., Danks, P., et al, *A Comparison of High and Low Specific Activity Lutetium-177 for Radiolabeling Peptides and Proteins*, European Journal of Nuclear Medicine, 31/2 (2004), S391.
- [9] D. Ma, A.R. Ketring, G.J. Ehrhardt, et al, *Production of Radiolanthanides and Radiotherapy Research at MURR*, J. of Radioanal. and Nucl. Chem., Art., 206[1] (1996) 119-126.
- [10] Horwitz, E.P., McAlister, D.R., Bond, A.H., et al, *A process for the separation of <sup>177</sup>Lu from neutron irradiated <sup>176</sup>Yb targets*, Applied Radiation and Isotopes 63 (2005) 23-36.
- [11] Mirzadeh, S., DU, M., Beets, A.L., Knapp, Jr., F.F., *Method for Preparing High Specific Activity <sup>177</sup>Lu*, United States Patent No. USP 6716353 (2004).
- [12] a). S.F Mughabghab, M. Divadeenam and N.E. Holden, *Neutron Cross Sections from Neutron Resonance Parameters and Thermal Cross Sections*, Academic Press (1981), in : <http://ie.lbl.gov/ng.html> (diakses Oktober 2011).
- b). T. Asami, N. Ikeda, T. Ichinomiya, et al, *Notebook of Radioisotopes*, Japan Radioisotopes Association, Maruzen Press, Tokyo (1996).
- [13] Chu, S.Y.F., Ekström, L.P., and Firestone, R.B., *The Lund/LBNL Nuclear Data Search*, version 2., in : <http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi> (1999).

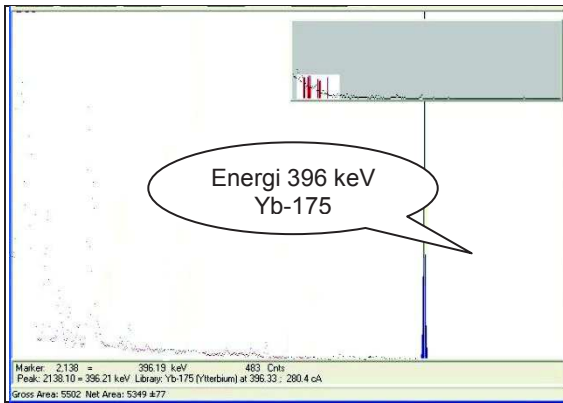
## LAMPIRAN

Tabel 1 Isotop alam Yb dan Lu serta produk hasil reaksi nuklir (n, $\gamma$ )

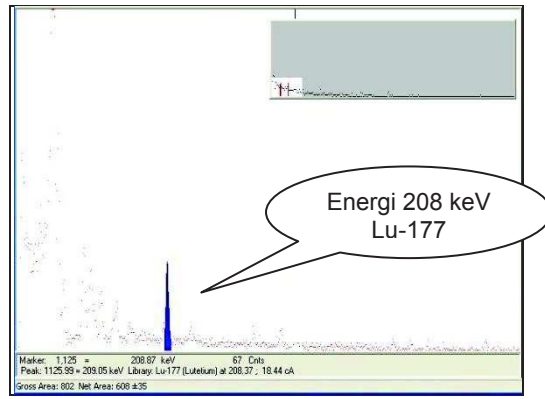
ISOTOP DAN KELIMPAHAN	REAKSI NUKLIR DAN PRODUKNYA [(n, $\gamma$ ) dan (n,p)]				
	Reaksi nuklir	Tampang lintang (barn)	Waktu paruh produk	Radiasi $\gamma$ utama	
				$E_\gamma$ (keV)	Intensitas (%)
Yb-168; 0,13 %	$^{168}\text{Yb}(n, \gamma)^{169}\text{Yb}$	2300	32,026 hari	63,12	44,2
Yb-170; 3,05 %	$^{170}\text{Yb}(n, \gamma)^{171}\text{Yb}$	11,4	stabil	--	--
Yb-171; 14,3 %	$^{171}\text{Yb}(n, \gamma)^{172}\text{Yb}$	48,6	stabil	--	--
Yb-172; 21,9 %	$^{172}\text{Yb}(n, \gamma)^{173}\text{Yb}$	1,3	stabil	--	--
Yb-173; 16,12 %	$^{173}\text{Yb}(n, \gamma)^{174}\text{Yb}$	17,1	stabil	--	--
Yb-174; 31,8 %	$^{174}\text{Yb}(n, \gamma)^{175}\text{Yb}$	69,4	4,185 hari	396,33	6,4
Yb-176; 12,7 %	$^{176}\text{Yb}(n, \gamma)^{177}\text{Yb}$	2,85	1,911 jam	150,39	20,3
Lu-175; 97,41 %	$^{175}\text{Lu}(n, \gamma)^{176}\text{Lu}$	6,9	$3,78 \times 10^{10}$ thn	306,78	94
	$^{175}\text{Lu}(n, \gamma)^{176m}\text{Lu}$	16,2	3,635 jam	88,34	8,9
	$^{176}\text{Lu}(n, \gamma)^{177}\text{Lu}$	2090	6,734 hari	208,37	11,0
Lu-176; 2,59 %	$^{176}\text{Lu}(n, \gamma)^{177}\text{Lu}$			378,51	29,7
	$^{176}\text{Lu}(n, \gamma)^{177m}\text{Lu}$	2,8	160,4 hari	418,54	21,3



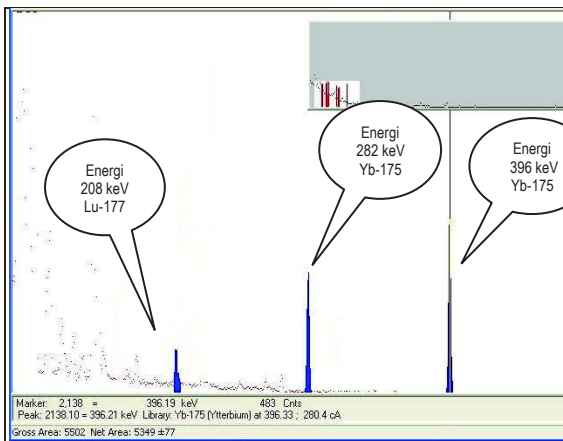
Gambar 1 Hasil fraksinasi



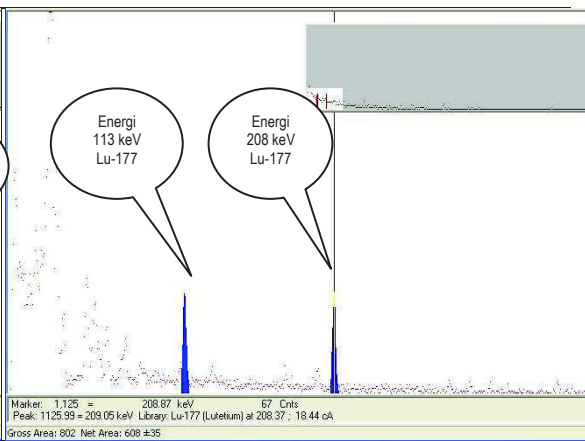
**Gambar 2** Hasil Spektrometer gamma pada fraksi 18  
Energi gamma 396 keV (Energi Yb-175)



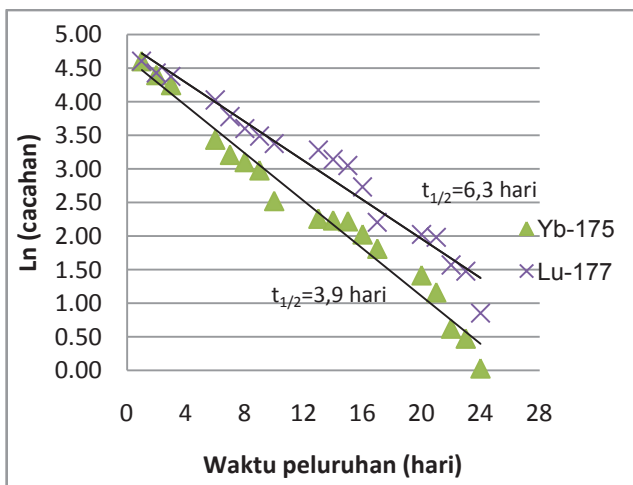
**Gambar 3** Hasil Spektrometer gamma pada fraksi 42  
Energi gamma 208 keV (Energi Lu-177)



**Gambar 4** Hasil spektrometer gamma pada campuran fraksi 14-28, Yb-175 masih mengandung Lu-177



**Gambar 5** Hasil spektrometer gamma pada campuran fraksi 41-44, Lu-177 bersih dari Yb-175



**Gambar 6** Kurva peluruhan Yb-175 dan Lu-177