

IRADIASI NEUTRON PADA BAHAN SS316 UNTUK PEMBUATAN *ENDOVASCULAR STENT*

Rohadi Awaludin, Abidin, dan Sriyono

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN),
Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang 15314, Indonesia

E-mail: rohadia@yahoo.com

Abstrak

Telah dilaporkan bahwa *endovascular stent* radioaktif terbukti efektif untuk mencegah *restenosis*. Untuk mendapatkan *endovascular stent* radioaktif melalui aktivasi neutron, bahan penyusunnya berupa SS316 telah diiradiasi dengan neutron selama 5 menit di posisi *pneumatic rabbit system* (PRS) reaktor G.A. Siwabessy. Hasil iradiasi tersebut diukur menggunakan spektrometer *gamma* setelah diluruhkan selama 10 hari. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa di dalam hasil iradiasi terkandung radioisotop ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{60}Co dengan radioaktivitas masing masing sebesar 5990 Bq/mg 107 dan 109 Bq/mg. Dari perhitungan secara teoritis diperoleh hasil bahwa radioisotop yang terkandung di dalam *endovascular stent* dengan waktu paruh relatif panjang (lebih dari 7 hari) adalah ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{55}Fe dengan radioaktivitas sebesar 6051, 70 dan 110 Bq/mg pada saat akhir iradiasi. Pada hasil pengukuran menggunakan spektrometer *gamma* tidak ditemukan adanya radioisotop ^{55}Fe karena radioisotop tersebut hanya memancarkan radiasi dengan energi rendah (5,9 keV). Radioisotop ^{60}Co yang ditemukan di dalam hasil iradiasi diduga berasal dari pengotor kobal di dalam SS316.

Abstract

Neutron Irradiation on SS316 Material for Radioactive Endovascular Stent Production. It was reported that *restenosis* could be prevented by radioactive *endovascular stent*. SS316 material of *endovascular stent* has been irradiated at *pneumatic rabbit system* of G.A. Siwabessy reactor for 5 minutes for producing radioactive *stent* by neutron activation. After 10 days of decay, the irradiated SS316 was measured by *gamma* spectrometer. The radioisotopes of ^{51}Cr , ^{59}Fe and ^{60}Co were detected in the irradiated SS316 with radioactivity of 5990, 107 and 109 Bq/mg respectively. The Calculation results showed that radioisotopes of ^{51}Cr , ^{59}Fe and ^{55}Fe were produced by neutron activation. The radioactivity of ^{51}Cr , ^{59}Fe and ^{55}Fe were 6051, 70 and 110 Bq/mg respectively. In the irradiated materials, the ^{55}Fe was not detected because the radioisotope emitted radiation with very low energy (5.9 keV). It is considered that radioisotope of ^{60}Co was produced from cobalt impurity in the SS316.

Keywords: radioactive endovascular stent, neutron activation, SS316

1. Pendahuluan

Bentuk penggunaan radioisotop untuk terapi semakin luas dari hari ke hari. Salah satu diantaranya adalah pemanfaatan radioisotop untuk pencegahan *restenosis* pada pembuluh darah jantung. Penyempitan pada pembuluh darah jantung dapat ditangani dengan metode *angioplasty* dan menanamkan *endovascular stent* agar tidak terjadi penyempitan kembali (*restenosis*). Namun, kira-kira 30% dari penderita dengan penanganan ini dilaporkan masih mengalami penyempitan kembali disebabkan oleh pertumbuhan sel secara tidak normal di sekitar daerah penanaman [1,2]. Radiasi yang

dipancarkan oleh radioisotop telah terbukti dapat menekan terjadinya pertumbuhan sel. Oleh karenanya, radioisotop menjanjikan solusi dalam mencegah terjadinya *restenosis* [3-5].

Ada beberapa metode dalam pembuatan *endovascular stent* radioaktif. Selama ini, pembuatan *endovascular stent* dibuat melalui implantasi ion radioisotop. Watanabe dkk., telah berhasil mengembangkan metode implantasi ion radioisotop ^{133}Xe ke dalam *endovascular stent*. Radioisotop ^{133}Xe sebesar 98 kBq telah berhasil diimplantasi ke dalam *endovascular stent* dan telah digunakan untuk percobaan pada binatang [6]. Albiero

dkk mengembangkan *endovascular stent* radioaktif menggunakan radioisotop ³²P. Radioisotop ³²P dengan radioaktivitas antara 110 – 440 kBq berhasil mengurangi terjadinya *restenosis* menjadi kurang dari 4% selama 6 bulan setelah pemasangan [7]. Pembuatan *endovascular stent* radioaktif dengan implantasi ion menghasilkan *endovascular stent* radioaktif dengan satu jenis radioisotop, namun menghadapi kendala berupa mahalnya proses produksi dan sedikitnya jumlah *endovascular stent* yang dapat diproduksi.

Metode lain yang memungkinkan digunakan untuk mendapatkan *endovascular stent* radioaktif adalah metode aktivasi neutron. Pada metode ini neutron ditembakkan ke dalam unsur penyusun *endovascular stent* sehingga diperoleh radioisotop dari unsur penyusunnya. Dengan metode ini, *endovascular stent* radioaktif dalam jumlah besar dapat diproduksi dalam waktu singkat. Pada metode ini seluruh unsur penyusun *endovascular stent* teraktivasi oleh paparan neutron sehingga terbentuk beberapa jenis radioisotop. Pada kegiatan ini dilakukan penelitian jenis-jenis radioisotop yang terbentuk dari iradiasi terhadap *endovascular stent* yang terbuat dari bahan SS316. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan jenis radioisotop dan besarnya radioaktivitas yang terbentuk di dalam *endovascular stent* dari aktivasi neutron.

2. Metode Penelitian

Bahan penyusun *endovascular stent* berupa SS316 sebanyak 104 mg diiradiasi di posisi *pneumatic rabbit system* (PRS) reaktor G.A. Siwabessy dalam waktu singkat (5 menit). Iradiasi hanya dilakukan dalam waktu singkat karena radioaktivitas yang dikehendaki pun juga kecil. Bahan SS316 dimasukkan ke dalam kapsul

terbuat dari polietilena dan selanjutnya diiradiasi di posisi PRS reaktor G.A. Siwabessy. Hasil iradiasi diukur menggunakan spektrometer *gamma* untuk menentukan jenis jenis radioisotop yang terbentuk dan besarnya radioaktivitas. Pengukuran dilakukan setelah 10 hari peluruhan agar radioisotop berumur pendek telah meluruh dan tidak mengganggu pengukuran. Hasil pengukuran dihitung balik ke saat akhir iradiasi (*end of irradiation*, EOI). Sebelum digunakan, spektrometer *gamma* dikalibrasi menggunakan radioisotop standar ¹³³Ba, ¹³⁷Cs dan ⁶⁰Co untuk kalibrasi energi dan kalibrasi kurva efisiensi.

Pada penelitian ini dilakukan pula perhitungan secara teoritis jenis radioisotop yang terbentuk dan besarnya radioaktivitas ketika bahan SS316 diiradiasi di posisi PRS reaktor G.A. Siwabessy selama 5 menit. Perhitungan dilakukan menggunakan umum aktivasi neutron [8,10].

$$A = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t}) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana,

- A : Radioaktivitas radioisotop yang dihasilkan (Bq)
- N : Jumlah atom isotop sasaran (atom)
- φ : Fluks neutron (ns⁻¹cm⁻²)
- σ : Tampang lintang reaksi (barn = 10⁻²⁴cm²)
- λ : Konstanta peluruhan radioisotop (s⁻¹)

Fluks neutron di posisi PRS digunakan nilai 4 x 10¹³ ns⁻¹cm⁻² [11]. Besaran-besaran lain yang digunakan pada perhitungan disajikan pada Tabel 1. Isotop-isotop yang tidak menghasilkan radioisotop dari aktivasi neutron tidak dicantumkan di dalam tabel tersebut.

Tabel 1. Kelimpahan isotop sasaran di alam, radioisotop yang terbentuk serta tampang lintang reaksi intinya [8,9].

Unsur (kandungan dalam <i>stent</i> SS316)	Isotop di alam dan kelimpahannya	Tampang lintang reaksi (n,γ)	Radioisotop yang terbentuk	Waktu paruh
Besi (66,5%)	⁵⁴ Fe (5,8%)	2,16 barn	⁵⁵ Fe	2,73 tahun
	⁵⁸ Fe (0,3%)	1,3 barn	⁵⁹ Fe	44,5 hari
Krom (17,4%)	⁵⁰ Cr (4,35%)	15,9 barn	⁵¹ Cr	27,7 hari
	⁵⁴ Cr (2,36%)		⁵⁵ Cr	3,50 menit
Nikel (12,1%)	⁵⁸ Ni (68,3%)	4,5 barn	⁵⁹ Ni	70 000 tahun
	⁶² Ni (3,6%)	14,2 barn	⁶³ Ni	100 tahun
	⁶⁴ Ni (0,9%)	1,8 barn	⁶⁵ Ni	2,52 tahun
Molibdenum (2,23%)	⁹² Mo (14,8%)	0,002 barn	⁹³ Mo	4000 tahun
	⁹⁸ Mo (24,13%)	0,13 barn	⁹⁹ Mo	66,02 jam
	¹⁰⁰ Mo (9,63%)	0,199	¹⁰¹ Mo	14,6 menit
Mangan (0,94%)	⁵⁵ Mn (100%)	13,4 barn	⁵⁶ Mn	2,58 jam
Silikon (0,68%)	³⁰ Si (3,1%)	0,108 barn	³¹ Si	2,62 jam
Fosfor (0,032%)	³¹ P (100%)	0,166 barn	³² P	14,26 hari
Karbon (0,017 %)	¹³ C (1,1%)	1,37 barn	¹⁴ C	5730 tahun
Sulfur (0,009%)	³⁴ S (4,2%)	0,29 barn	³⁵ S	87,51 hari
	³⁶ S (0,1%)	0,15 barn	³⁷ S	5,05 menit

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran terhadap SS316 setelah diiradiasi selama 5 menit di posisi PRS reaktor G.A. Siwabessy menggunakan spektrometer *gamma* ditunjukkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 diketahui ada puncak energi pada posisi 320, 1099, 1173, 1292 dan 1333 keV. Radiasi γ dengan energi tersebut merupakan radiasi dari radioisotop ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{60}Co seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Di dalam tabel tersebut disajikan radiasi *gamma* yang dipancarkan oleh radioisotop tersebut beserta intensitas untuk masing masing radiasi *gamma*. Di dalam tabel tersebut disajikan pula waktu paruh untuk masing-masing radioisotop.

Dari luas area untuk masing-masing puncak energi, intensitas radiasi *gamma* dan nilai efisiensi penyerapan radiasi *gamma* oleh detektor pada energi tersebut selanjutnya dihitung besarnya radioaktivitas untuk masing-masing radioisotop. Radioaktivitas yang didapatkan dibagi dengan berat material dan diperoleh radioaktivitas ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{60}Co untuk tiap satuan berat. Radioisotop ^{51}Cr memiliki radioaktivitas sebesar 5990 Bq/mg, ^{59}Fe sebesar 107 Bq/mg dan ^{60}Co sebesar 109 Bq/mg. Dari radioaktivitas ini selanjutnya dihitung radioaktivitas sejak akhir iradiasi (EOI) sampai dengan 12 bulan setelah iradiasi menggunakan persamaan umum peluruhan radioaktif [8,10]. Dari hasil perhitungan diperoleh radioaktivitas ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{60}Co masing masing sebesar 7542, 123 dan 109 Bq/mg pada saat akhir iradiasi. Perubahan radioaktivitas ketiga radioisotop selama 12 bulan setelah iradiasi ditunjukkan pada Gambar 2.

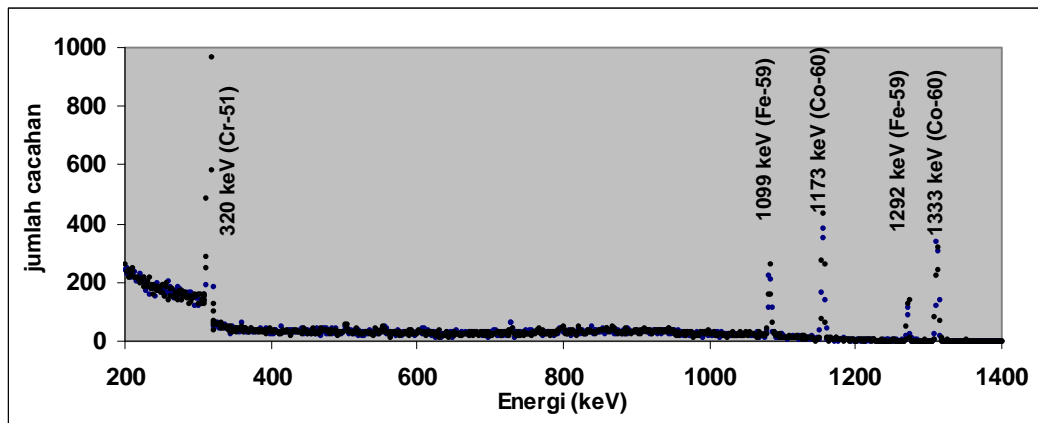
Dari Gambar 2 diketahui bahwa radioaktivitas ^{51}Cr merupakan radioisotop dengan radioaktivitas terbesar sampai dengan bulan ke-5 setelah iradiasi. Setelah bulan ke-6 radioaktivitas ^{51}Cr sudah berkurang dan lebih rendah dari ^{60}Co . Ketika itu, radioaktivitas keduanya hanya sekitar 100 Bq/mg. Setelah 1 tahun, radioaktivitas

^{51}Cr kurang dari 1 Bq/mg. Demikian juga dengan radioaktivitas ^{59}Fe sudah berkurang menjadi di bawah 1 Bq/mg setelah peluruhan selama 1 tahun. Sedangkan radioaktivitas ^{60}Co hampir tidak berubah dalam waktu 1 tahun karena waktu paruhnya panjang (5,27 tahun). Ketiga radioisotop ini merupakan radioisotop yang perlu diperhitungkan dampaknya pada sel tubuh pada pembuatan *stent* radioaktif melalui aktivasi neutron.

Di dalam penelitian ini telah dilakukan perhitungan jenis radioisotop yang terbentuk beserta radioaktivitasnya. Radioisotop yang dihasilkan dari iradiasi selama 5 menit dengan fluks neutron $4 \times 10^{13} \text{ ns}^{-1}\text{cm}^{-2}$ pada saat akhir iradiasi (EOI) ditunjukkan pada Tabel 3. Radioisotop dengan waktu paruh yang pendek kurang dari 1 jam tidak ditunjukkan karena radioisotop tersebut akan segera habis meluruh dalam waktu singkat.

Dari Tabel 3 diketahui bahwa ^{56}Mn merupakan radioisotop dengan radioaktivitas terbesar 12162 Bq/mg. Namun, karena waktu paruh yang pendek sebesar 2,58 jam, radioaktivitasnya telah mengecil menjadi kurang dari 1 Bq/mg setelah 40 jam. Demikian pula dengan ^{31}Si yang dihasilkan sebesar 6703 Bq/mg pada saat akhir iradiasi. Setelah 40 jam, radioaktivitasnya kurang dari 1 Bq/mg. Radioisotop ^{99}Mo dihasilkan sebesar 192 Bq/mg. Radioisotop ini pun segera meluruh dengan cepat karena waktu paruhnya sebesar 66 jam. Radioaktivitas ^{99}Mo tinggal 15,5 Bq/mg setelah 10 hari dan 1,2 Bq/mg setelah 20 hari. Jadi tinggal 3 radioisotop yang tersisa di dalam SS316 dalam jangka panjang yaitu ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{60}Co .

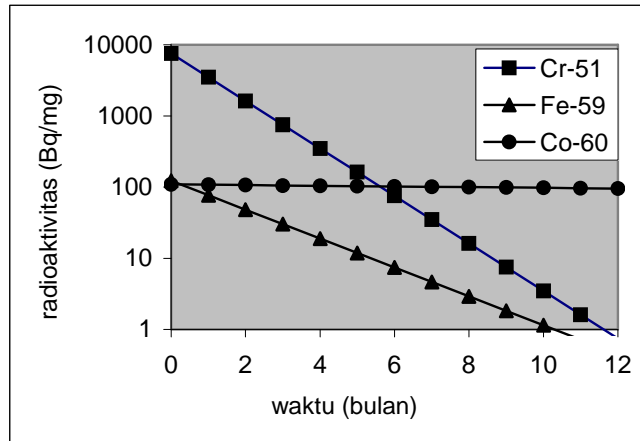
Perubahan radioaktivitas ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{60}Co dalam waktu satu tahun seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah 1 tahun diketahui bahwa radioisotop ^{51}Cr dan ^{59}Fe telah meluruh menjadi kurang dari 1 Bq/mg, sedangkan radioaktivitas ^{60}Co sebesar 85 Bq/mg.



Gambar 1. Hasil pengukuran menggunakan spektrometer *gamma*. Angka menunjukkan energi-energi puncak yang diperoleh.

Tabel 2. Jenis radioisotop, waktu paruh dan intensitas radiasi *gamma* yang dipancarkan SS316 setelah diiradiasi

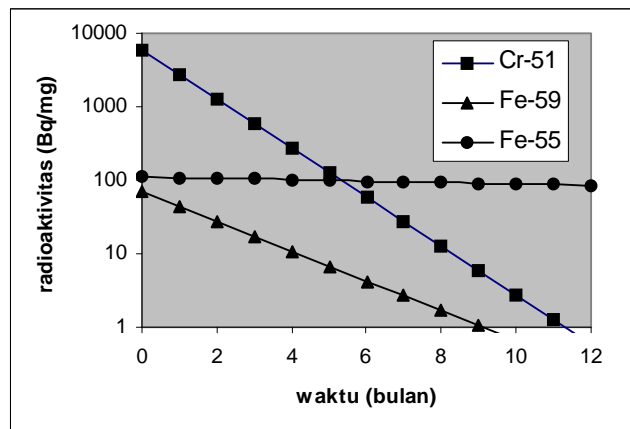
Radioisotop	Waktu paruh	Energi γ (keV) dan intensitasnya (%)
⁵¹ Cr	27,7 hari	320 (10%)
⁵⁹ Fe	44,5 hari	1099 (57%) 1292 (43%)
⁶⁰ Co	5,27 tahun	1173 (100%) 1333 (100%)



Gambar 2. Radioaktivitas radioisotop ⁵¹Cr, ⁶⁰Co dan ⁵⁹Fe sejalan dengan waktu peluruhan sampai dengan 12 bulan dihitung berdasarkan radioaktivitas hasil pengukuran spektrometer *gamma*

Tabel 3. Radioaktivitas hasil perhitungan pada saat akhir iradiasi setelah iradiasi selama 5 menit dengan fluks neutron $4 \times 10^{13} \text{ ns}^{-1}\text{cm}^{-2}$

Jenis	Radioaktivitas (Bq/mg)	Waktu paruh	Jenis peluruhan	Isotop hasil peluruhan
⁵⁶ Mn	12162	2,58 jam	β^-	⁵⁶ Fe (stabil)
³¹ Si	6703	2,62 jam	β^-	³¹ P (stabil)
⁵¹ Cr	6051	27,7 hari	EC	⁵¹ V (stabil)
⁹⁹ Mo	192	66 jam	β^-	^{99m} Tc (radioisotop)
⁵⁵ Fe	110	2,73 tahun	EC	⁵⁵ Mn (stabil)
⁵⁹ Fe	70	44,5 hari	β^-	⁵⁹ Co (stabil)



Gambar 3. Radioaktivitas ⁵¹Cr, ⁵⁹Fe dan ⁵⁵Fe selama 12 bulan setelah iradiasi dari hasil perhitungan

Dari hasil iradiasi, radioaktivitas ^{55}Fe tidak terdeteksi pada pengukuran menggunakan spektrometer *gamma* sedangkan secara teoritis radioisotop tersebut dihasilkan di dalam SS316. Hal ini dikarenakan radioisotop ini meluruh dengan peluruhan *electron capture* dan hanya memancarkan radiasi dengan energi yang kecil (5,9 keV) [8]. Oleh karenanya, meskipun dari hasil pengukuran tidak terdeteksi adanya ^{55}Fe , namun layak diduga bahwa sesungguhnya radioisotop ^{55}Fe juga terbentuk di dalam SS316 hasil iradiasi. Sedangkan di dalam hasil iradiasi diperoleh ^{60}Co , namun tidak diperoleh dari hasil perhitungan. Hal ini diduga bahwa sesungguhnya di dalam *stent* mengandung unsur kobal dalam kandungan yang kecil sekali sebagai pengotor material SS316. Unsur kobal dalam jumlah yang kecil pun dapat menghasilkan ^{60}Co dalam jumlah yang berarti karena 100% kobal alam tersusun dari ^{59}Co . Selain itu, tampang lintang reaksi pembentukan ^{60}Co dari isotop ^{59}Co pun relatif besar (37,2 barn) [8].

Dari hasil iradiasi dan perhitungan secara teoritis diketahui bahwa *endovascular stent* radioaktif memungkinkan dibuat dari *endovascular stent* berbahan SS316. Radioisotop yang terkandung di dalamnya adalah ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{55}Fe . Namun perlu diperhatikan bahwa jika SS316 penyusun *endovascular stent* mengandung unsur kobal, di dalam *endovascular stent* akan dihasilkan radioisotop ^{60}Co yang merupakan radioisotop pemancar *gamma* berenergi tinggi dan memiliki waktu paruh panjang (5,27 tahun).

4. Kesimpulan

Dari iradiasi SS316 bahan penyusun *endovascular stent* selama 5 menit di posisi PRS reaktor G.A. Siwabessy dihasilkan 3 radioisotop yaitu ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{60}Co . Radioisotop ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{60}Co masing-masing memiliki radioaktivitas 5990, 107 dan 109 Bq/mg setelah peluruhan selama 10 hari. Jika dihitung ke saat EOI, ketiganya memiliki radioaktivitas 7542, 123, dan 109 Bq/mg. Setelah masa peluruhan selama 1 tahun, radioaktivitas ^{51}Cr dan ^{59}Fe tinggal kurang dari 1 Bq/mg, sedangkan radioaktivitas ^{60}Co hampir tidak berubah karena waktu paruhnya panjang (5,27 tahun).

Dari perhitungan secara teoritis diketahui bahwa ada 6 jenis radioisotop yang dihasilkan dari iradiasi SS316, yaitu ^{56}Mn , ^{31}Si , ^{51}Cr , ^{99}Mo , ^{55}Fe dan ^{59}Fe dengan

radioaktivitas sebesar 12162, 6703, 6051, 192, 110 dan 70 Bq/mg pada saat akhir iradiasi. Setelah peluruhan selama 10 hari, radioisotop yang masih tersisa dengan radioaktivitas lebih dari 10 Bq/mg adalah ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{55}Fe . Setelah peluruhan selama 1 tahun, radioisotop ^{51}Cr dan ^{59}Fe meluruh menjadi sekitar 1 Bq/mg, sedangkan radioaktivitas ^{55}Fe hampir tidak berubah karena waktu paruhnya panjang (2,7 tahun).

Pada hasil pengukuran menggunakan spektrometer *gamma* tidak terdeteksi ^{55}Fe karena radioisotop tersebut memancarkan radiasi dengan energi rendah (5,9 keV). Sedangkan radioisotop ^{60}Co yang terdeteksi dari hasil pengukuran diduga dihasilkan dari pengotor unsur kobal di dalam SS316.

Endovascular stent radioaktif memungkinkan dibuat dari *endovascular stent* berbahan SS316. Radioisotop yang terkandung di dalamnya adalah ^{51}Cr , ^{59}Fe dan ^{55}Fe . Namun jika SS316 penyusun *endovascular stent* mengandung unsur kobal, di dalam *endovascular stent* akan dihasilkan pula radioisotop ^{60}Co .

Daftar Acuan

- [1] Watanabe S., Research Activities, Japan Atomic Energy Research Institute. 1999.
- [2] Teirtein P.S., *et al*, Catheter-based Radiotherapy to Inhibit Restenosis after Coronary Stenting, Washington Hospital Center. 1997.
- [3] Editorials, European Heart Journal. 22 (2001) 1245-1247.
- [4] Hehrlein C., Kovacs A., Wolf G.K., European Heart Journal. 21(2000) 2056-2062.
- [5] Fiscell T.A., Hehrlein C., J. Invas Cardiol. 12 (2000) 162-167.
- [6] Watanabe S., *et al*, Appl. Radiat. Isot. 50 (1999).
- [7] Albiero R., Colombo A., Columbus C.C., J. Invas Cardiol. 12 (2000) 416-421.
- [8] Saitoh N. *et al*, Handbook of Radioisotope, Maruzen, 1996.
- [9] Genka T., Komunikasi Pribadi, 2001.
- [10] Helus F, Colombetti L.G., Radionuclides Production, CRC Press, 1984.
- [11] Soenarjo S., Tamat S.R., Suparman I., Purwadi B, *Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka*. 6 (2003) 33-43.