

Fraksi Aktivitas Produk dan Teoritis bagi ^{192}Ir Sebagai Sumber Radiasi Mikro-Kapsul Brakiterapi

Sriyono*, Moch. Subechi, Anung Pujiyanto, Hambali, & Abidin
Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka – BATAN
Gedung 11, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314
Telp. 021-7564131, Fax. 021-7564131, e-mail : srimono@gmail.com

Abstrak

Brakiterapi adalah jenis radioterapi untuk mengobati kanker prostat, serviks, payudara dan jenis kanker lainnya. Sebagai sumber radiasi digunakan radioisotop iridium-192 yang dikemas dalam mikro-kapsul dari bahan *stainless steel 316L* dengan ukuran diameter dalam 0,6 mm; diameter luar 1,2 mm dan panjang 4,5 mm yang dikenal dengan nama brakiterapi laju dosis tinggi. Iridium-192 merupakan radioisotop pemancar beta pada energi 530 - 670 keV dan juga memancarkan radiasi *gamma* (γ) pada energi rata-rata 370 keV dengan waktu paro ($t_{1/2}$) 73,83 hari. Iridium-192 diperoleh dari hasil iradiasi sasaran kawat iridium alam di dalam reaktor nuklir. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk menentukan waktu iradiasi maksimal sehingga diperoleh radioaktivitas Ir-192 yang memenuhi syarat brakiterapi laju dosis tinggi yaitu 10 Ci. Iradiasi 2 buah kawat iridium alam 99,9% telah dilakukan di reaktor G.A. Siwabessy selama ± 4 bulan dengan fluks *neutron* $1,2 \times 10^{14}$ n/cm²/detik. Hasil iradiasi tersebut diperoleh radioisotop ^{192}Ir dengan radioaktivitas (aktivitas jenis) rata-rata 4,85 Ci (308 Ci/g) dengan *yield* rata-rata 33,6 % yang ditentukan sebagai fraksi aktivitas hasil produksi dan aktivitas hasil perhitungan teoritis. Radioaktivitas Ir-192 yang dihasilkan belum memenuhi syarat sebagai sumber radiasi brakiterapi laju dosis tinggi yaitu sebesar 10 Ci.

Abstract

Brachytherapy is a type of radiotherapy used to treat prostate, cervical, breast and other cancers. As a radiation source, iridium-192 radioisotope is packaged in micro-capsules of 316L stainless steel with an inner diameter of 0.6 mm; an outer diameter of 1.2 mm and a length of 4.5 mm known as a high dose rate brachytherapy. Iridium-192 is a beta transmitter radioisotope with energies of 530 - 670 keV and also emits gamma radiation (γ) at average energy of 370 keV with a half-life ($t_{1/2}$) of 73.83 days. The iridium-192 was produced from irradiation of the natural iridium wire target in nuclear reactor. The aim of this study is to determine the maximum irradiation time in order to obtain Ir-192 radioactivity in the amount of 10 Ci which meets the requirements for high dose rate brachytherapy. The irradiation of 2 pieces of 99.9% natural iridium wire has been carried out in the G.A. Siwabessy reactor for ± 4 months with a 1.2×10^{14} n/cm²/second neutron flux. The irradiation resulted in Ir-192 with average radioactivity (specific activity) of 4.85 Ci (308 Ci/g) and average yield of 33.6 % which was determined as a fraction of the activity results of production and activities of theoretical calculations. The ^{192}Ir radioactivity obtained do not yet meet the requirements as a high dose rate brachytherapy radiation source of 10 Ci.

PENDAHULUAN

Berdasarkan Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC = *International Agency for Research on Cancer*) tentang kasus dan kematian akibat kanker yang dilaporkan oleh GLOBOCAN bahwa pada tahun 2018 terdapat 18,1 juta kasus kanker di seluruh dunia dan 9,6 juta meninggal dunia. Ada 36 jenis kanker yang dilaporkan diantaranya adalah kanker payudara

yang menempati urutan kedua dengan 2,1 juta kasus dan 0,6 juta meninggal dunia, kanker prostat urutan ketiga dengan 1,3 juta kasus 0,4 juta meninggal dan kanker leher rahim (*serviks*) urutan kesepuluh dengan 0,6 juta kasus 0,3 juta meninggal (Freddie Bray, dkk., 2018).

Kasus kanker tersebut bisa diatasi dengan menggunakan brakiterapi laju dosis tinggi yaitu salah satu cara pengobatan kanker yang sudah banyak dilakukan dan telah terbukti

keberhasilannya sebagai pengobatan untuk kanker payudara, prostat, leher rahim (*servix*), dan beberapa jenis kanker lainnya (Stefan Strohmaier, dkk., 2011). *Brakiterapi* adalah jenis radioterapi yang digunakan untuk mengobati kanker dengan cara menaruh sumber radiasi secara langsung di dalam atau di dekat tumor ganas. Brakiterapi memberikan pengobatan yang lebih tepat dan mengurangi kerusakan di daerah jaringan yang sehat di sekitar tumor. Brakiterapi bisa menjadi pilihan pengobatan yang berdiri sendiri atau bisa digabungkan dengan pengobatan lain, seperti radioterapi eksternal atau operasi (<https://www.bumrungrad.com/id/treatments/brachytherapy>). Pada umumnya brakiterapi diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu laju dosis rendah (LDR) dengan laju dosis 0,4-2 Gy/jam, laju dosis sedang (MDR) 2-12 Gy/jam, dan laju dosis tinggi (HDR) yang mempunyai laju dosis >12 Gy/jam. Dari ketiga jenis brakiterapi tersebut yang biasa digunakan adalah LDR (*Low Dose Rate*) dan HDR (*High Dose Rate*). (N. Suntharalingam, dkk., website:www-naweb.iaea.org/nahu/DMRP/documents/chapter13.pdf)

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) khususnya Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) telah mampu melakukan pembuatan mikro kapsul *brakiterapi laju dosis tinggi* untuk pengobatan kanker dengan sumber radiasi dari radioisotop iridium-192 (Anung Pujiyanto, dkk., 2013). Iridium-192 merupakan radioisotop pemancar negatron (β^-) pada energi 259 keV (5,6 %); 539 keV (41,6 %); 675 keV (47,9 %) dan juga memancarkan radiasi gamma (γ) pada energi 296 keV (28,7 %); 308 keV (30,0 %); 317 keV (82,8 %); 468 keV (47,8 %) dengan waktu paro ($t_{1/2}$) 73,83 hari (*Radioisotope Pocket Data Book 11th Edition*, ISBN978-4-89073-211-1 C3040, 2011). Penyiapan sumber radiasi ^{192}Ir tersebut dilakukan melalui proses iradiasi menggunakan *neutron thermal* terhadap sasaran kawat iridium-191 alam di dalam teras reaktor nuklir G.A. Siwabessy. Batasan aktivitas sumber brakiterapi laju dosis tinggi adalah 10 Ci (DA. Wilkinson, PhD., 2006) maka pada pembuatan Ir-192 ini ditargetkan untuk memperoleh sumber Ir-192 dengan aktivitas 10 Ci.

Pada penelitian ini telah dilakukan proses iradiasi terhadap dua buah kawat iridium-191 alam (99,9%) dengan berat sasaran 15,3 dan 16,3 mg. Proses iradiasi dilakukan di dalam reaktor nuklir G.A. Siwabessy di kawasan nuklir Serpong dengan fluks *neutron thermal* sebesar $1,2 \times 10^{14}$

n/cm²/detik selama ± 4 bulan (13 siklus operasi reaktor G.A. Siwabessy) melalui reaksi nuklir $^{191}\text{Ir} (n, \gamma) ^{192}\text{Ir}$. Hasil dari penelitian ini diharapkan bisa diperoleh *yield* (hasil) produksi radioisotop ^{192}Ir yang maksimal sehingga bisa menjadi dasar untuk memprediksi jumlah aktivitas yang dihasilkan dari iradiasi *neutron* di reaktor G.A. Siwabessy.

METODE

Bahan dan Peralatan

Bahan sasaran untuk pembuatan radioisotop iridium-192 adalah kawat iridium alam dengan kemurnian 99,9% logam iridium yang diperoleh dari *Sigma-Aldrich* dengan ukuran masing-masing panjang 3,5 mm x diameter 0,5 mm. Wadah sasaran dari bahan karbon grafit berbentuk silinder ukuran diameter 20 mm dan panjang 40 mm dengan 12 buah lubang diperoleh dari dalam negeri digunakan untuk wadah kawat sasaran Iridium. *Inner* kapsul dari bahan pipa aluminium seri 1050 (pasokan dari Syo-wa Aluminium Co. Ltd. Jepang) yang kedua ujungnya ditutup dengan pengelasan digunakan sebagai wadah mandrel karbon grafit serta *outer* kapsul (kapsul iradiasi) juga dari bahan aluminium seri 1050 sebagai wadah *inner* kapsul.

Las tig argon TELWIN Type Super Tic 180 AC/DC digunakan untuk penutupan *inner* kapsul dan kapsul iradiasi. Untuk pengujian kebocoran *inner* kapsul digunakan alat *bubble test* (tes gelembung) yang terdiri dari bejana gelas dengan tutup yang tersambung ke pompa vakum *Varian DD-20*, dan untuk pengukuran aktivitas kawat iridium-192 yang dihasilkan digunakan *Dose calibrator ATOMLAB 400^{plus}* dari *BIODEX*.

Tata Kerja

Preparasi Sasaran

Dua buah kawat Iridium alam dengan kemurnian 99,9% logam iridium dicuci dengan isopropanol sampai bersih kemudian dibilas dengan aquabidest dan dikeringkan menggunakan lampu infra merah. Masing-masing kawat sasaran tersebut dimasukkan ke dalam lubang yang terdapat pada mandrel grafit kemudian dipasang tutupnya dan dibungkus dengan *aluminium foil*, lalu dimasukkan ke dalam *inner* kapsul dan ditutup dengan pengelasan. Sebelum dikemas dalam kapsul iradiasi, *inner* kapsul diuji kebocorannya dengan cara uji gelembung. Selanjutnya kapsul iradiasi diserahkan ke Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) – BATAN untuk diiradiasi di reaktor G.A. Siwabessy selama 4 bulan dengan melampirkan formulir permohonan

iradiasi dan sertifikat hasil pengujian kapsul iradiasi.

Proses Iradiasi Sasaran

Kapsul iradiasi selanjutnya diiradiasi di fasilitas *central irradiation position (CIP)* di dalam teras reaktor G.A. Siwabessy pada fluks *neutron thermal* $1,2 \times 10^{14}$ n/cm²/detik selama 4 bulan dengan mengikuti siklus operasi reaktor (iradiasi dilakukan sebanyak 13 siklus operasi reaktor, satu siklus 4 hari operasi 3 hari *shutdown*).

Proses Paska Iradiasi

Setelah proses iradiasi selesai, kapsul iradiasi diangkat dari teras reaktor dan dipindahkan ke fasilitas *hotcell* radioisotop untuk dilakukan pembongkaran. Kawat iridium teriradiasi dikeluarkan dari kemasan kapsul iradiasi dan dimasukkan ke dalam botol *V-vial* yang telah diberi No. 1 dan 2 (setiap botol *V-vial* berisi satu kawat iridium). Selanjutnya kawat iridium dalam botol *V-vial* masing-masing diukur aktivitasnya menggunakan *dose callibrator* yang berada di dalam *hotcell*, dan hasil pengukurannya dicatat dalam *log book*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai sasaran untuk pembuatan radioisotop iridium-192 digunakan dua buah kawat iridium dengan kemurnian 99,9 % logam iridium dengan ukuran yang sama masing-masing panjang 3,5 mm dan diameter 0,5 mm. Unsur Iridium (Ir) alam mengandung isotop ^{191}Ir dengan kelimpahan 37,4 % dan isotop ^{193}Ir (62,7 %). Secara teori isotop-isotop tersebut jika diiradiasi dengan *neutron thermal* membentuk radioisotop berupa ^{192}Ir ($t_{1/2} = 73,83$ hari) dan ^{194}Ir ($t_{1/2} = 0,8$ hari) seperti pada Tabel 1. Reaksi-reaksi inti tersebut memiliki tampang lintang untuk reaksi (n, γ) masing-masing sebesar 924 barn dan 110 barn.

Pada Tabel 1 ada 2 jenis radioisotop yang terbentuk dan hanya satu radioisotop yang waktu paronya panjang (73,83 hari) yaitu ^{192}Ir yang akan dimanfaatkan sebagai sumber radiasi pada *mikro-kapsul brakiterapi laju dosis tinggi* untuk terapi kanker, sedangkan radioisotop lainnya hanya mempunyai waktu paro pendek (< 1 hari) dan akan meluruh habis pada saat pembongkaran kapsul iradiasi sehingga tidak berpengaruh terhadap kinerja dari radioisotop ^{192}Ir .

Tabel 1. Kelimpahan isotop pada iridium alam dan reaksi penangkapan *neutron* yang terjadi dari sasaran isotop-isotopnya.

Isotop Sasaran	^{191}Ir	^{193}Ir
Kelimpahan	37,3 %	62,7 %
Tampang Lintang	924 barn	110 barn
Reaksi Nuklir	$^{191}\text{Ir} (n, \gamma)$ ^{192}Ir	$^{193}\text{Ir} (n, \gamma)$ ^{194}Ir
Radioisotop	^{192}Ir	^{194}Ir
Waktu Paro	73,83 hari	0,80 hari
Metode Peluruhan		
EC (%)	4,8	-
Energi β^- (keV)	259 (5,6 %)	980 (1,8 %)
	539 (41,6 %)	1625 (1,4 %)
	675 (47,9 %)	1918 (9,2 %)
		2247 (85,4 %)
Energi β^+ (keV)	-	-
Energi γ (keV)	292 (28,7 %)	294 (2,6 %)
	308 (30,0 %)	328 (13,1 %)
	317 (82,8 %)	645 (1,2 %)
	468 (47,8 %)	
	589 (4,5 %)	
	604 (8,2 %)	
	612 (5,3 %)	

Penentuan *yield* hasil pembuatan radioisotop ^{192}Ir ditentukan secara perhitungan teoritis berdasarkan data Tabel 1 dengan menggunakan hubungan persamaan 1).

$$A_{\text{Ir-192}} = N_{\text{Ir-191}} \sigma \Phi_{\text{th}} (1 - e^{-\lambda t}) \dots\dots\dots 1)$$

dengan,

- $A_{\text{Ir-192}}$: Aktivitas produk Ir-192 yang diperoleh
- $N_{\text{Ir-191}}$: Jumlah atom sasaran Ir-191
- $\sigma_{\text{Ir-191}}$: Tampang lintang atom sasaran Ir-191
- Φ_{th} : Fluks *neutron thermal*
- $\lambda_{\text{Ir-192}}$: Tetapan peluruhan Ir-192
- t : Waktu iradiasi sasaran

Aktivasi neutron pada dua buah kawat iridium alam dengan kemurnian 99,9 % iridium dengan berat sasaran (masing-masing) 15,3 dan 16,3 mg dan fluks *neutron thermal* sebesar $1,2 \times 10^{14}$ n/cm²/detik dilakukan selama kurun waktu 4 bulan iradiasi. Pasca aktivasi, diperoleh aktivitas ^{192}Ir (masing-masing) sebesar 14,3 dan 14,5 Ci seperti dipaparkan Tabel 2.

Aktivitas yang dihasilkan secara teoritis menjadi dasar perhitungan untuk menentukan *yield* yang dihasilkan. Perhitungan *yield* dihitung berdasarkan persamaan 2)

$$\% \text{ yield} = \frac{A_{\text{hasil produksi}}}{A_{\text{teoritis}}} \times 100 \% \dots\dots\dots 2)$$

Berdasarkan persamaan 2) tersebut diperoleh prosentase *yield* ^{192}Ir seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perolehan *yield* radioaktivitas produk ^{192}Ir dari perhitungan teoritis

No. Sasaran Ir-191	Wire-1	Wire-2	Rata-rata
Kemurnian	99,9 %	99,9 %	99,9 %
Berat sasaran	15,3 mg	16,3 mg	15,8 mg
Aktivitas Teoritis	14,298 Ci	14,550 Ci	14,42 Ci
Aktivitas Praktis	4,838 Ci	4,872 Ci	4,85 Ci
Aktivitas Jenis Praktis	316 Ci/g	299 Ci/g	308 Ci/g
Yiled	33,84 %	33,48 %	33,66 %

Tabel 2 menunjukkan bahwa *yield* radioaktivitas ^{192}Ir yang diperoleh rata-rata hanya 33,66 % dengan kata lain radioaktivitas ^{192}Ir yang dihasilkan kurang dari 10 Ci sehingga tidak memenuhi syarat untuk digunakan sebagai sumber radiasi *mikro-kapsul brakiterapi laju dosis tinggi*.

Rendahnya aktivitas ^{192}Ir yang dihasilkan disebabkan karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi pada saat iradiasi di reaktor diantaranya adalah waktu iradiasi yang terputus-putus atau tidak kontinyu dan wadah sasaran kawat iridium terbuat dari karbon grafit yang merupakan material penyerap neutron sehingga sebelum mengenai sasaran sebagian neutron sudah terserap oleh karbon grafit terlebih dahulu (Michael I. Ojovan & Anthony J. Wickham, 2016; Tumpal Pandiangan, dkk., 2002) Sehingga proses iradiasi tidak optimal.

Masalah ini bisa diatasi dengan mengganti wadah sasaran kawat iridium dari bahan karbon grafit dengan bahan aluminium seri 1050 disamping itu juga waktu iradiasi perlu ditambah menjadi lebih dari 13 siklus operasi reaktor atau dilakukan secara kontinyu, dengan harapan

supaya target untuk menghasilkan ^{192}Ir aktivitas 10 Ci bisa tercapai.

KESIMPULAN

Penyiapan radioisotop ^{192}Ir sebagai sumber radiasi dari mikro-kapsul brakiterapi laju dosis tinggi telah bisa dilakukan dengan mengiradasi sasaran iridium alam dengan kemurnian 99,9% iridium dengan *neutron thermal* di dalam fasilitas iradiasi reaktor G.A. Siwabessy di kawasan nuklir Serpong. Dari kegiatan ini diperoleh sumber radiasi berupa ^{192}Ir dari dua buah sasaran tersebut dengan radioaktivitas masing-masing sebesar 4,84 dan 4,87 Ci. Dari kedua sumber radiasi ini tidak ada yang memenuhi syarat sebagai sumber radiasi untuk mikro-kapsul brakiterapi laju dosis tinggi sehingga perlu dikaji lebih lanjut supaya radioisotop ^{192}Ir tersebut memenuhi persyaratannya diperlukan yaitu radioisotop ^{192}Ir aktivitas 10 Ci.

Perlu dikaji ulang mengenai waktu iradiasi dan jenis bahan dari wadah sasaran yang akan digunakan. Disarankan adanya penambahan waktu iradasi atau dilakukan iradiasi secara kontinyu, penggantian wadah sasaran dari bahan karbon grafit menjadi bahan aluminium murni seri 1050.

DAFTAR RUJUKAN

Freddie Bray, Jacques Ferlay, Isabelle Soerjomataram, Rebecca L. Siegel, Lindsey A. Torre, Ahmedin Jemal. 2018. Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. doi: 10.3322/caac.21492. Available online at cacancerjournal.com.

Stefan Strohmaier, Grzegorz Zwierzchowski. 2011. Comparison of ^{60}Co and ^{192}Ir sources in HDR brachytherapy., *Journal of Contemporary Brachytherapy* (2011/volume 3/number 4) 199-208, DOI: 10.5114/jcb.2011.26471

<https://www.bumrungrad.com/id/treatments/brachytherapy>, diakses 8 Agustus 2019

N. Suntharalingam, E.B. Podgorsok, H. Tolli. Chapter 13 Brachytherapy: Physical And Clinical Aspects. Website: www-naweb.iaea.org/nahu/DMRP/documents/chafter13.pdf.

Anung Pujiyanto, Moch Subechi, Hotman Lubis, Diandono KY. 2013. Penentuan Parameter Pengelasan Las Laser untuk Pembuatan Sumber Iridium-192 (Ir-192) *High Dose Rate* (HDR), Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, ISSN 1410-8178, PTAPB-BATAN Yogyakarta Sept. 2013

Radioisotope Pocket Data Book 11th Edition, The Japan Radioisotope Association, 2011, ISBN978-4-89073-211-1 C3040.

DA. Wilkinson. 2006. High dose rate (HDR) brachytherapy quality assurance: a practical guide, *Biomedical Imaging and Intervention Journal*, 2(2) doi: 10.2349/bij.2.2.e34.

Michael I. Ojovan; Anthony J. Wickham.; Radiation Effects In Graphite.; International Centre for Theoretical Physics; 60 years IAEA Atom for Peace and Development.

Tumpal Pandiangan, Suwoto, As Natio Lasman. 2002. Studi Bahan Grafit sebagai Moderator dan Reflektor pada Reaktor Temperatur Tinggi.; Prosiding Seminar ke-7 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, ISSN : 0854 – 2910.