

Pengukuran Produk Aktivasi Pesawat *Medical Linear Accelerator iX*

Aditya Surya Hartanti¹, Bunawas², Johan A.E. Noor¹

¹Jurusan Fisika FMIPA Univ. Brawijaya

²PTKMR-BATAN

Email: tyaiam4ever@gmail.com

Abstrak

Pengukuran produk aktivasi dari komponen akselerator linear untuk terapi radiasi merupakan upaya untuk proteksi radiasi pada umumnya dan *decommisioning* pada khususnya. Produk aktivasi dalam pesawat *LINAC* berasal dari proses efek fotonuklir dan penangkapan neutron yang dapat mengaktivasi komponen kepala akselerator. Spektrum energi sinar gamma yang dipancarkan akibat aktivasi produk yang berasal dari kepala akselerator model *Clinac iX* diukur menggunakan spektroskopi gamma in situ di *isocenter*. Setelah analisis spektrum didapatkan isotop yang teraktivasi sebanyak tiga belas, yaitu ²⁴Na, ²⁸Al, ⁵⁶Mn, ⁵⁷Ni, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁶⁴Cu, ⁸²Br, ¹⁰²Rh, ¹²²Sb, ¹²⁴Sb, ¹⁸⁷W, dan ¹⁹⁶Au. Dari isotop yang telah terdeteksi aktivitas yang paling besar diberikan oleh ²⁸Al sebesar 9,7 MBq dengan laju dosis 2,289 μ Sv/jam.

Kata kunci: Clinac iX, produk aktivasi, spektrometer gamma

Abstract

Measurement of product activation component linear accelerator for radiation therapy is an attempt to radiation protection in general, and in particular *decommisioning*. Activation products in *LINAC* machine derived from the photonuclear effects and neutron capture effects that can activate components of the accelerator head. Energy spectrum of gamma rays emitted due to activation products from accelerator head *Clinac iX* models were measured using gamma spectroscopy in situ at the *isocenter*. After the analysis of the spectrum, the activated isotopes obtained thirteen, namely, ²⁸Al, ⁵⁶Mn, ⁵⁷Ni, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁶⁴Cu, ⁸²Br, ¹⁰²Rh, ¹²²Sb, ¹²⁴Sb, ¹⁸⁷W, dan ¹⁹⁶Au. The isotopes that have been detected most of the activity is given by ²⁸Al of 9.7 MBq with a dose rate of 2.289 μ Sv/h.

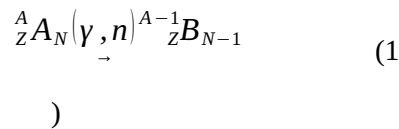
Keywords: Clinac iX, Product Activation, Gamma spectrometer

di Laboratorium Cavendish, Universitas Cambridge pada tahun 1929. Akselerator itu sendiri adalah alat yang dipakai untuk mempercepat gerak partikel bermuatan seperti elektron, proton, inti-inti ringan, dan inti atom lainnya [4]. Pemercepatan gerak partikel bertujuan agar partikel tersebut bergerak sangat cepat sehingga memiliki energi kinetik yang sangat tinggi. Dilihat dari jenis gerakan partikel, ada dua jenis akselerator, yaitu akselerator dengan gerak partikelnya lurus (lebih dikenal dengan sebutan akselerator linier) dan gerak partikelnya melingkar (akselerator magnetik) [8].

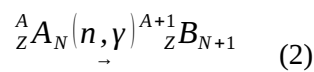
isotop dan angka laju dosis yang dihasilkan [7]. Produk aktivasi *LINAC* dihasilkan dari interaksi neutron dengan material akselerator linear medis.

Neutron dengan energi lebih dari 8 MeV diproduksi terutama di *treatment head* akselerator. Radiasi elektromagnetik yang diproduksi di akselerator ditandai dengan spektrum dengan distribusi energi kontinu. Energi maksimum spektrum yang dihasilkan sesuai dengan energi maksimum elektron yang menumbuk target [9]. Dalam rentang energi yang dicakup oleh akselerator linear medis, terdapat dua proses utama yang terlibat dalam pembangkitan produk aktivasi.

Yang pertama adalah reaksi efek foto nuklir (γ, n) dan yang kedua adalah reaksi penangkapan neutron (n, γ). Reaksi (γ, n) akan menghasilkan inti yang terletak satu bidang di sebelah kiri inti induk pada tabel isotop, yaitu dari unsur yang sama dengan jumlah neutron berkurang satu. Di kebanyakan kasus isotop anak akan menjadi emitor e^+ atau peluruhan oleh penangkapan elektron [5].



Reaksi (n, γ) juga disebut penangkapan neutron, yaitu penyerapan neutron oleh inti, diikuti oleh emisi dari kelebihan energi dalam bentuk foton. Di sini, neutron dalam kasus LINAC dihasilkan oleh reaksi (γ, n) sebelumnya. Inti dihasilkan terletak langsung dari inti induk, dan akan menjadi emitor e^- dalam mode peluruhan β^- karena kelebihan neutron [5].



Jumlah atom dari radionuklida selama periode iradiasi diatur dalam persamaan diferensial berikut:

$$\frac{dn(t)}{dt} = -\lambda n(t) + N\sigma\phi \quad (3)$$

dimana $n(t)$ adalah atom-atom dari radionuklida per cm^3 pada waktu t . N adalah nomor atom target per cm^3 , σ adalah interaksi cross section dalam unit ϕ

cm^2 , dan ϕ adalah densitas fluks ($\text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$) dari partikel. Di sisi lain persamaan tersebut mewakili hilangnya radionuklida melalui peluruhan selama iradiasi dan merupakan gain dari radionuklida melalui reaksi produksi [5].

Radiasi gamma (γ) merupakan gelombang elektromagnetik jenis monokromatik berasal dari pancaran inti-inti atom yang mengalami aktivasi setelah transformasi radioaktif. Kelebihan

energi yang lebih besar dari energi terendah untuk memancarkan radiasi alpha maupun radiasi beta pada inti atom ini yang dipakai untuk memancarkan radiasi gamma. Radiasi gamma (γ) dapat juga berasal dari inti atom dalam keadaan tereksitasi. Radiasi gamma dapat diukur aktivitasnya menggunakan spektrometer gamma dengan detektor HpGe [1].

Metode

Pada penelitian ini alat dan bahan penelitian yang digunakan adalah Surveimeter Exploranium model GR-130 Spektrometer gamma dengan detektor HPGe model GC2020 dan pesawat Clinac iX. Set-up rangkaian alat dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Pesawat LINAC iX, Spektrometer Gamma, dan Surveimeter

Untuk pengambilan data, pertama kali dilakukan kalibrasi spektrometer gamma dengan mengkalibrasi energi dan efisiensinya. Kalibrasi energi dilakukan dengan cara mencocokkan antara energi dan nomor kanal. Hal ini dilakukan agar energi yang terdeteksi dari produk aktivasi tidak bergeser atau sesuai dengan energi isotopnya. Satu kanal pada detektor mewakili energi 2 keV. Sedangkan kalibrasi efisiensi dilakukan untuk mendapatkan nilai efisiensi dari detektor [3]. Nilai efisiensi yang diinginkan adalah nilai efisiensi yang tinggi dengan nilai error yang rendah. Nilai efisiensi detektor diambil dari kurva kalibrasi dengan R^2 yang tinggi.

- Kalibrasi Energi

$$Y = aX + b \quad (4)$$

dimana:

Y : Tenaga (keV)

X : Nomor salur

a : Gradien

b : Titik potong

- Kalibrasi Efisiensi

$$\epsilon_{avg} = \frac{N_s - N_{BG}}{A_t \cdot P_\gamma} \quad (5)$$

Dengan:

N_s

: Laju cacah standar (cps)

N_{BG}

: Laju cacah latar (cps)

A_t

: Aktivitas pada saat pencacahan (Bq)

P_γ

: *Yield* dari radiasi gamma (%)

Sebuah kalibrasi efisiensi detektor diperoleh dengan menggunakan sumber titik ^{152}Eu terletak radial pada 24 cm jarak dari pusat detektor setelah dilakukan koreksi jarak 100 cm dan koreksi geometri berikut [2]:

$$= 2\pi \left[1 - \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right)^{-1/2} \right] \quad \text{faktor koreksi jarak} \quad (6)$$

$$= \left[1 - \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right)^{-1/2} \right] - \left[1 - \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right)^{-5/2} \right] \quad \text{faktor geometri}$$

$$= \left[1 - \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right)^{-1/2} \right] - \left[1 - \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right)^{-5/2} \right] \quad (7)$$

$$= \left[1 - \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right)^{-1/2} \right] - \left[1 - \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right)^{-5/2} \right] \quad (8)$$

koreksi serap diri

Pengukuran dilakukan setelah semua peralatan terkalibrasi dan jam kerja usai. Pesawat *LINAC iX* yang telah selesai dioperasikan diukur produk aktivasi dan laju paparannya, dimana spektrometer gamma diletakkan di bawah kepala akselerator dengan jarak 100 cm (SSD). Pengukuran produk aktivasi diawali dengan pengukuran *background* selama 10 menit menggunakan spektrometer gamma CANBERRA portabel dengan detektor HPGe. Kemudian dilanjutkan dengan pengukuran produk aktivasi dengan waktu *counting* 30 menit (karena paparan radiasi di ruangan *LINAC* cukup tinggi). Hasil pengukuran kemudian di simpan dalam format CNF pada *software* Genie2020. Setelah itu, dilakukan analisis spektrum dan identifikasi isotop yang teraktivasi menggunakan *software* Y-Spect versi 4.00 maka langkah selanjutnya adalah menghitung aktivitas dari masing-masing isotop yang teraktivasi dengan persamaan (9) [6]:

$$A_{st} = \frac{R_n}{\lambda \cdot \epsilon \cdot P_\gamma \cdot t \cdot t_i} \quad (9)$$

dimana:

R_n : Laju cacah isotop x (cps)

λ : Konstanta peluruhan isotop x (1/jam)

ϵ : Efisiensi detector (cps/dps)

P_γ : *Yield* (%)

t : Waktu pengukuran (jam)

t_i : Waktu antara *beam-off* dan waktu pengukuran (jam).

Hasil dan Pembahasan

Hasil kalibrasi spektrometer gamma untuk energi dan efisiensi dapat dilihat pada gambar 2a dan gambar 2b, dengan koefisien koreksi $R^2 = 1$ dan $R^2 = 0,99$.

^{24}Na , ^{28}Al , ^{56}Mn , ^{57}Ni , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{64}Cu , ^{82}Br , ^{102}Rh , ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{187}W , dan ^{196}Au .

karakteristik masing-masing isotop [10] hasilnya ditampilkan pada tabel 1.

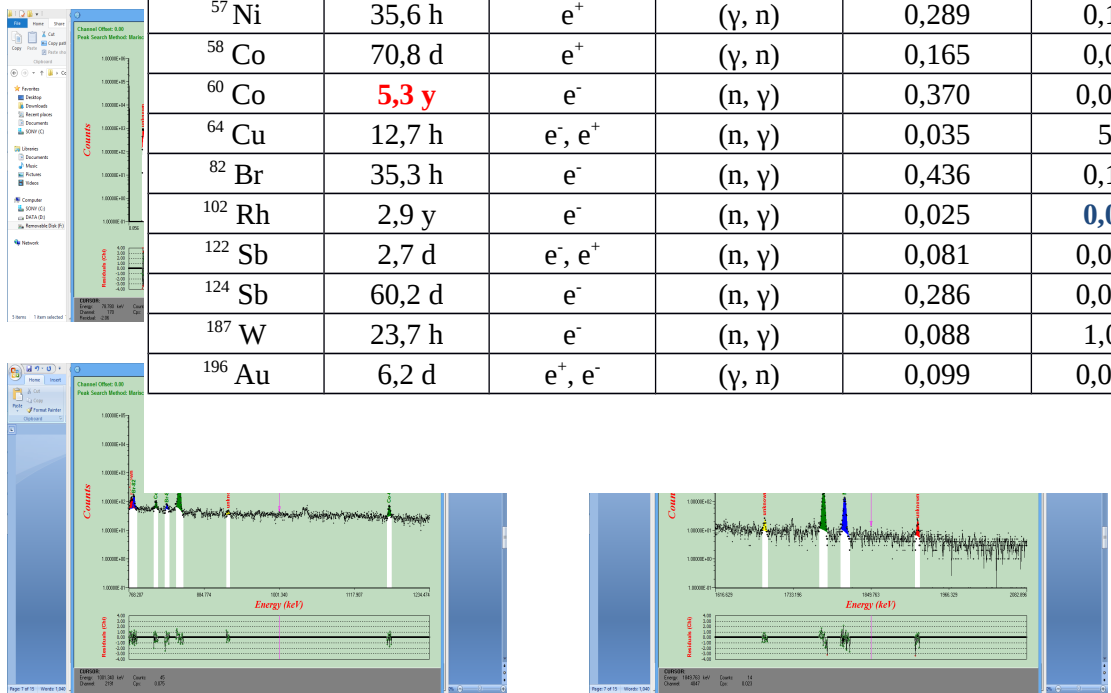
Ketiga belas isotop tersebut kemudian dihitung aktivitas dan laju dosis masing-masing disertai dengan

(b)
Gambar 2. a. Kurva Kalibrasi Energi
 b. Kurva Kalibrasi Efisiensi

Produk aktivasi yang teridentifikasi dalam rentang diperoleh gambar 3.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Aktivitas dan

Isotop	$T_{1/2}$	Mode Peluruhan	Reaksi Produksi	Γ (mGy ^{m²} h ⁻¹ G Bq ⁻¹)	A (MBq)	Laju Dosis (μSv/h)
^{24}Na	14,7 h	e^-	(n, γ)	0,512	0,038	0,019
^{28}Al	2,2 m	e^-	(n, γ)	0,236	9,7	2,289
^{56}Mn	2,6 h	e^-	(n, γ)	0,248	0,67	0,166
^{57}Ni	35,6 h	e^+	(γ, n)	0,289	0,164	0,047
^{58}Co	70,8 d	e^+	(γ, n)	0,165	0,058	0,010
^{60}Co	5,3 y	e^-	(n, γ)	0,370	0,0099	0,004
^{64}Cu	12,7 h	e^-, e^+	(n, γ)	0,035	5,8	0,203
^{82}Br	35,3 h	e^-	(n, γ)	0,436	0,108	0,047
^{102}Rh	2,9 y	e^-	(n, γ)	0,025	0,007	0,0002
^{122}Sb	2,7 d	e^-, e^+	(n, γ)	0,081	0,087	0,007
^{124}Sb	60,2 d	e^-	(n, γ)	0,286	0,028	0,008
^{187}W	23,7 h	e^-	(n, γ)	0,088	1,06	0,093
^{196}Au	6,2 d	e^+, e^-	(γ, n)	0,099	0,008	0,001



Gambar 3. Spektrum isotop yang teraktivasi dari komponen *Clinac iX*.

Dari hasil analisis spektrum yang telah dilakukan, diperoleh hasil identifikasi isotop dari produk aktivasi. Ditemukan tiga belas isotop yang teraktivasi dari pesawat LINAC

Dari tabel 1 diperoleh tiga belas produk aktivasi LINAC iX dengan aktivitas antara 0,007 – 9,7 MBq yang memberikan laju paparan radiasi antara 0,0002 – 2,289 $\mu\text{Sv/jam}$.

Dari hasil aktivitas yang telah dihitung maka laju dosis dari masing-masing isotop yang teraktivasi dapat ditentukan. Hal ini berkaitan dengan proteksi radiasi untuk pekerja medis. Dimana isotop yang teraktivasi dapat memberikan paparan yang sangat berpengaruh terhadap dosis yang diterima oleh pekerja radiasi.

Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar material dari komponen kepala akselerator linear iX adalah aluminium. Dalam perhitungan laju dosis didapatkan hasil bahwa isotop yang menghasilkan paparan radiasi tertinggi adalah aluminium. Karena laju dosis nilainya sebanding dengan aktivitasnya. Semakin tinggi aktivitas dari suatu isotop maka laju dosisnya juga semakin besar.

Simpulan

Produk aktivasi dari pesawat LINAC iX yang teridentifikasi menggunakan spektrometer gamma ada 13 isotop yaitu ^{24}Na , ^{28}Al , ^{56}Mn , ^{57}Ni , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{64}Cu , ^{82}Br , ^{102}Rh , ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{187}W , dan ^{196}Au dengan aktivitas antara 0,007 – 9,7 MBq. Paparan radiasi dari produk aktivasi antara 0,0002 – 2,289 $\mu\text{Sv/jam}$ dengan laju paparan total sebesar 2,894 $\mu\text{Sv/jam}$. Temuan ini dapat dijadikan referensi untuk proteksi radiasi dari staf dalam pusat radioterapi.

Saran

Perlunya optimasi waktu masuk dalam ruang LINAC mengingat adanya produk aktivasi yang memancarkan radiasi gamma.

Daftar Pustaka

- [1] Akhadi, M. (2000). *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- [2] Candra, H., Pujadi, dan Gatot W. (2010). *Pengaruh Efek Geometri Pada Kalibrasi Efisiensi Detektor Semikonduktor HPGe menggunakan Spektrometer Gamma*. PTKMR-BATAN Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng dan DIY.
- [3] Debertin, K., dan Helmer, R.G. (1988). *Gamma-Ray and X-Ray Spectrometry with*

Semiconductor Detectors. North-Holland Company, Amsterdam.

- [4] Facure, A., Falcao, R.C., Silva, A.X., Crispim, V.R., Vitorelli, J.C. (2005). *A study of neutron spectra from medical linear accelerators*. Applied Radiation and Isotopes, 62: 69-72.
- [5] Fischer W. H., Tabot B. E., dan Poppe B. (2006) *Activation Process in a Medical Linear Accelerators and Spatial Distribution of Activation Products*. Phys. Med. Biol. 52, N461-N466.
- [6] Fischer, W. H., Tabot B., dan Poppe B. (2008) *Comparison of Activation Products and Induced Dose Rate in Different high-energy Medical Linear Accelerators*. Health Phys. 94, 272-278.
- [7] Fujibuchi, Toshioh, Satoshi Obara, Ichiro Yamaguchi, Masaya Oyama, Hiroshi Watanabe, Takeji Sakae dan Kazuaki Katoh. (2012). *Induced Radioactive Nuclides of 10 MeV Radiotherapy Accelerators Detected by Using a Portable HP-Ge Surveyrometer*. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 148, No. 2, pp. 168-173.
- [8] Grenee D. dan Williams P.C. (2001). *Linear Accelerators for Radiation Therapy Second Edition*. Bristol: Medical Science Series, institute of Physics Publishing.
- [9] Metcalfe P., Kron T., Hoban P. (2007). *The Physics of Radiotherapy X-Rays and Electrons*. Madison, Wisconsin: Medical Physics Publishing.
- [10] TOI (2006) *www Table of isotopes* (<http://ie.lbl.gov/toi/>)