

Verifikasi Dosis Radiasi Berkas Foton 6 MV Pesawat Terapi LINAC CLINAC CX Menggunakan Detektor Bilik Ionisasi di RSP Universitas Andalas

Luthfia Aqila Abrar^{1,*}, Dian Milvita¹, Heru Prasetyo², Fiqi Diyona³

¹Laboratorium Fisika Nuklir, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163

²Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tangerang Selatan, Banten, 15314

³Instalasi Radioterapi, Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas, Limau Manis, Padang

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 28 September 2022
Direvisi: 19 Oktober 2022
Diterima: 19 Oktober 2022

Kata kunci:

Dosis radiasi
Foton
Luas lapangan
Slab fantom
Verifikasi

Keywords:

Radiation dose
Photon
Field area
Slab phantom
Verification

Penulis Korespondensi:

Luthfia Aqila Abrar
Email: luthfiaaqilaabrar@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan verifikasi dosis radiasi berkas foton 6 MV pesawat terapi LINAC tipe CLINAC CX menggunakan detektor bilik ionisasi di RSP Universitas Andalas. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui dosis radiasi pada tiap variasi luas lapangan penyinaran serta memverifikasi dosis radiasi pada *Treatment Planning System* (TPS) dengan dosis radiasi yang terukur. Penelitian dilakukan dengan pengukuran dosis radiasi pada slab fantom dengan kedalaman 10 cm dan variasi luas lapangan dengan ukuran (5×5) cm, (10×10) cm, (15×15) cm, (30×30) cm, (5×10) cm, (10×5) cm, (5×15) cm, dan (15×5) cm. Nilai dosis radiasi dihitung berdasarkan protokol TRS No.398 IAEA Selanjutnya dilakukan verifikasi dosis radiasi dengan membandingkan dosis radiasi pada TPS dengan dosis radiasi yang terukur dengan batas toleransi yang ditetapkan oleh TRS No.398 IAEA yaitu $\pm 2\%$. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin besar luas lapangan penyinaran, maka semakin kecil dosis radiasi yang didapatkan. Hasil verifikasi dosis radiasi pada TPS dengan dosis radiasi terukur masih memenuhi batas toleransi yang ditetapkan oleh protokol TRS No.398 IAEA yaitu 0,076% hingga 0,584%.

Verification of the radiation dose of 6 MV photon beam LINAC type CLINAC CX has been carried out using an ionization chamber detector at Andalas University Hospital. This study aims to determine the radiation dose in each variation of the irradiation field and to verify the radiation dose in the Treatment Planning System (TPS) with a measured radiation dose. The study was conducted by measuring radiation dose on a phantom slab with a depth of 10 cm and variations in field area with sizes (5×5) cm, (10×10) cm, (15×15) cm, (30×30) cm, (5×10) cm, (10×5) cm, (5×15) cm, and (15×5) cm. The radiation dose was calculated based on the TRS No.398 IAEA protocol. Next, the radiation dose was verified by comparing the radiation dose at the TPS with the radiation dose measured with the tolerance limit set by TRS No.398 IAEA, which is $\pm 2\%$. The measurement results show that the larger the irradiation field, the smaller the radiation dose obtained. The results of the radiation dose verification at TPS with the measured radiation dose still meet the tolerance limit set by the TRS protocol No. 398 IAEA, which is 0.076% to 0.584%.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Penggunaan radiasi sebagai salah satu pengobatan kanker sudah berkembang pesat. Pengobatan tersebut disebut dengan radioterapi. Radioterapi merupakan tindakan medis yang menggunakan radiasi pengion untuk mematikan sel kanker sebanyak mungkin dan kerusakan sel normal sekecil mungkin. Salah satu instrumen yang digunakan pada radioterapi adalah pesawat *Linear Accelerator* (LINAC). Pesawat terapi LINAC merupakan pesawat terapi yang dirancang untuk mempercepat pergerakan elektron untuk mematikan sel tumor ataupun kanker di dalam tubuh. Pesawat LINAC dirancang untuk menghasilkan berkas foton dan elektron. Berkas elektron digunakan pada kasus kanker pada permukaan tubuh, sedangkan berkas foton digunakan pada kanker yang di dalam jaringan tubuh, seperti pada kanker serviks.

Penggunaan pesawat terapi LINAC dalam pengobatan kanker harus tepat dan sesuai dengan kebutuhan pengobatan yang dilakukan. Apabila tidak tepat dan tidak sesuai akan menyebabkan kerusakan pada sel atau jaringan sehat di sekitar jaringan kanker. Oleh karena itu, diperlukan *quality assurance* (QA) sebagai jaminan kualitas untuk mengontrol ketepatan dan kesesuaian antara pengobatan yang direncanakan dengan pengobatan pada pasien. Salah satu QA yang dilakukan ialah verifikasi pesawat LINAC. Dalam verifikasi pesawat LINAC, terdapat dua komponen yang akan diverifikasi, yaitu verifikasi geometri dan verifikasi dosis radiasi. Verifikasi geometri bertujuan untuk memeriksa area penyinaran, sedangkan verifikasi dosis radiasi memeriksa ketepatan dosis radiasi (Podgorsak, 2005). Verifikasi dosis radiasi merupakan pemeriksaan kesesuaian antara dosis radiasi yang telah direncanakan pada *Treatment Planning System* (TPS) dengan dosis radiasi yang terukur. Verifikasi dosis radiasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan acuan TRS No.398 IAEA yaitu $\pm 2\%$ (IAEA, 2000).

Verifikasi geometri pada pesawat terapi LINAC telah dilakukan oleh Hadi & Milvita (2018) dengan menggunakan EPID. EPID merupakan perangkat detektor yang terintegrasi dengan LINAC untuk mendeteksi dosis radiasi penyinaran. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa pesawat terapi LINAC dapat digunakan secara optimal kepada pasien. Ramona et al (2020) juga telah melakukan verifikasi nilai dosis radiasi berkas elektron dengan luas lapangan blok *cerrobend* (6x6) cm² dan (8x8) cm² berdasarkan TRS No.398 IAEA. Penelitian tersebut melakukan verifikasi pada berkas elektron dengan variasi tanpa blok, blok (6x6) cm², dan (8x8) cm². Detektor yang digunakan adalah detektor bilik ionisasi. Hasil verifikasi dihitung dengan perhitungan pada TRS No.398 IAEA dan hasil verifikasi yang diperoleh memenuhi batas toleransi yaitu $\pm 2\%$.

Berdasarkan kedua penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa pesawat LINAC harus diverifikasi secara berkala agar *output* yang diberikan kepada pasien tetap stabil dan sesuai. Penelitian verifikasi dosis radiasi berkas foton 6 MV dilakukan menggunakan detektor bilik pengion. Verifikasi pesawat terapi menggunakan detektor bilik pengion dapat dilakukan dengan metode yang sederhana dan tidak memakan waktu yang lama, sehingga dapat dilakukan berulang kali. Penelitian ini juga menggunakan slab fantom sebagai pengganti pasien. Penelitian diawali dengan pengukuran dosis radiasi pada kedalaman 10 cm dan 8 variasi luas lapangan. Selanjutnya dilakukan verifikasi dengan menghitung ketidaksesuaian antara dosis radiasi pada TPS dengan dosis radiasi yang terukur.

II. METODE

Penelitian dilakukan di Instalasi Radioterapi RSP Universitas Andalas. Penelitian ini menggunakan LINAC tipe CLINAX CX sebagai sumber penghasil berkas foton 6 MV, slab fantom digunakan sebagai pengganti pasien pada pengukuran dosis radiasi, elektrometer digunakan sebagai alat pembaca muatan yang mengalir pada detektor bilik ionisasi *farmer*, detektor bilik ionisasi *farmer* digunakan sebagai detektor yang mendeteksi keluaran berkas foton dari LINAC. Pengukuran serta verifikasi dilakukan berdasarkan protokol TRS No. 398 IAEA (IAEA, 2000).

2.1 Penentuan Faktor Koreksi dan Keluaran Berkas Foton 6 MV

Penentuan nilai keluaran berkas foton 6 MV memerlukan beberapa faktor koreksi. Faktor koreksi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Faktor koreksi temperatur dan tekanan (k_{TP})

Perhitungan faktor koreksi temperatur dan tekanan (k_{TP}) terlebih dahulu dilakukan sebelum penyinaran. Faktor koreksi temperatur dan tekanan diambil dari nilai temperatur pada saat penyinaran (T) dengan nilai temperatur referensi (T_0) yaitu 20°C serta nilai tekanan saat penyinaran (P) dengan nilai tekanan referensi (P_0) yaitu 101,325 kPa. Nilai faktor koreksi temperatur dan tekanan dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$k_{TP} = \frac{273,2+T}{273,2+T_0} \times \frac{P_0}{P} \quad (1)$$

2. Faktor koreksi elektrometer (k_{elec})

Faktor koreksi elektrometer biasanya bernilai 1. Hal ini menunjukkan bahwa detektor bilik ionisasi dikalibrasi bersamaan dengan elektrometer.

3. Faktor koreksi efek polaritas (k_{pol})

Faktor koreksi efek polaritas merupakan faktor koreksi respon detektor bilik ionisasi terhadap efek pergantian polaritas yang diberikan pada detektor. Nilai k_{pol} dihitung menggunakan nilai muatan pada polaritas positif (M_+), muatan pada polaritas negatif (M_-), dan muatan pada polaritas yang rutin digunakan (M). Faktor koreksi k_{pol} dapat dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2 \times M} \quad (2)$$

4. Faktor koreksi rekombinasi ion (k_s)

Faktor koreksi rekombinasi ion merupakan faktor koreksi respon detektor terhadap kurang lengkapnya pengumpulan muatan pada ionisasi di udara. Nilai k_s ditentukan dari hasil bacaan muatan yang rutin digunakan (M_1) dan muatan pada polaritas referensi (M_2) serta dipengaruhi oleh nilai koefisien kuadrat (a_0 , a_1 , dan a_2) yang diperoleh dari Tabel 4.VII TRS No. 398 IAEA. Faktor koreksi k_s dapat dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$k_s = a_0 + a_1 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + a_2 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \quad (3)$$

5. Faktor koreksi respon detektor ionisasi (k_{Q,Q_0})

Faktor koreksi k_{Q,Q_0} merupakan respon perbedaan antara respon bilik ionisasi dalam kualitas berkas yang digunakan sebagai kalibrasi detektor (Co-60) terhadap kualitas berkas foton. Nilai k_{Q,Q_0} diperoleh dari Tabel 6.III TRS No. 398 IAEA. Pengukuran keluaran berkas foton 6 MV dilakukan menggunakan detektor bilik ionisasi *farmer* luas lapangan (10x10) cm dan SSD 100 cm pada slab fantom dengan polaritas +300 V, -300 V, dan +100 V. Nilai dosis keluaran berkas foton 6 MV ($D_{w,Q}$) dihitung menggunakan Persamaan (4)

$$D_{w,Q} = M_Q \times N_{D,w,Q_0} \times k_{Q,Q_0} \quad (4)$$

Nilai M_Q dihitung menggunakan Persamaan (5)

$$M_Q = M \times k_{TP} \times k_{elec} \times k_{pol} \times k_s \quad (5)$$

Nilai N_{D,w,Q_0} merupakan koefisien kalibrasi pada dosis serap air pada kualitas referensi Q_0 . Nilai N_{D,w,Q_0} pada bilik ionisasi tipe *farmer* adalah $4,809 \times 10^7$ Gy/C. Nilai M_Q dan $D_{w,Q}$ digunakan sebagai referensi bacaan untuk menghitung nilai dosis radiasi pada slab fantom.

2.2 Pengukuran Dosis Radiasi pada Slab Fantom

Pengukuran dosis radiasi pada slab fantom dilakukan pada variasi luas lapangan sebesar (5×5) cm, (10×10) cm, (15×15) cm, (30×30) cm, (5×10) cm, (10×5) cm, (5×15) cm, dan (15×5) cm. Penyinaran dilakukan pada berkas foton 6 MV. Hasil muatan yang ditangkap oleh detektor ditampilkan pada elektrometer. Nilai muatan tersebut digunakan untuk perhitungan dosis radiasi (Gy) menggunakan referensi bacaan pada Persamaan (6).

$$D_{\text{terukur}} = \frac{M_{\text{terukur}}}{M_Q} \times D_{w,Q} \quad (6)$$

2.3 Verifikasi Dosis Radiasi Berkas Foton 6 MV

Hasil verifikasi didapatkan dari hasil perhitungan diskrepansi dosis. Diskrepansi dosis merupakan nilai ketidaksesuaian antara dosis yang telah dirancang pada TPS dengan dosis radiasi yang terukur. Diskrepansi dosis dihitung menggunakan Persamaan (7).

$$\text{Diskrepansi} = \left| \frac{D_{\text{terukur}} - D_{\text{TPS}}}{D_{\text{TPS}}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

Nilai diskrepansi dosis yang telah diperoleh dibandingkan dengan acuan protokol TRS No.398 IAEA yaitu $\pm 2\%$.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Faktor Koreksi dan Hasil Keluaran Berkas Foton 6 MV

Hasil faktor koreksi yang telah diperoleh digunakan pada perhitungan dosis keluaran berkas foton 6 MV pada kedalaman 10 cm dan luas lapangan (10×10) cm. Semua nilai faktor koreksi pada berkas foton yang telah diperoleh bernilai ± 1 . Hal ini menunjukkan bahwa nilai faktor-faktor koreksi tersebut telah sesuai dengan TRS No.398 IAEA. Nilai-nilai faktor koreksi yang diperoleh digunakan sebagai parameter dalam perhitungan keluaran *output* berkas foton 6 MV pada LINAC. Hasil faktor koreksi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil faktor koreksi pada berkas foton 6 MV

No	Faktor Koreksi	Nilai Faktor Koreksi
1	k_{TP}	1,016
2	k_{elec}	0,999
3	k_{pot}	1,004
4	k_s	1,000
5	k_{Q,Q_0}	0,993

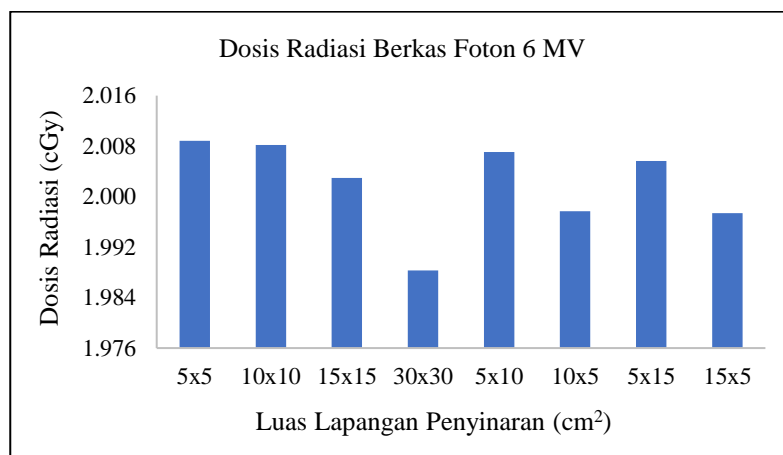
Hasil keluaran berkas foton 6 MV yang dihitung ialah muatan dan dosis keluaran berkas foton 6 MV. Hasil keluaran tersebut ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai muatan dan dosis yang telah diperoleh digunakan sebagai referensi bacaan dosis pengukuran pada perencanaan yang telah dibuat di TPS sebelumnya.

Tabel 2 Hasil keluaran berkas foton 6 MV

No	Parameter	Hasil Perhitungan
1	M_Q	31,818 nC
2	$D_{w,Q}$	1,515 Gy

3.2 Pengukuran Dosis Radiasi pada Slab Fantom

Penyinaran berkas foton 6 MV pada slab fantom oleh LINAC dilakukan dengan kedalaman 10 cm dan 8 variasi luas lapangan penyinaran. Hasil muatan yang terukur oleh detektor ditampilkan pada elektrometer. Hasil muatan tersebut digunakan untuk menghitung dosis radiasi pada slab fantom. Dosis radiasi pada slab fantom dihitung menggunakan referensi bacaan pada Persamaan (6).



Gambar 1 Nilai dosis radiasi berkas foton 6 MV pada kedalaman 10 cm

Pengukuran dosis radiasi dilakukan pada lapangan penyinaran berbentuk persegi dan persegi panjang. Berdasarkan Gambar 1, diperoleh nilai dosis radiasi pada lapangan penyinaran persegi menurun seiring bertambahnya luas lapangan. Hal tersebut dikarenakan adanya *inverse square law* yaitu hubungan antara besarnya sumber radiasi dengan jarak atau luas lapangan berbanding terbalik. Adanya perbedaan luas lapangan penyinaran juga menyebabkan adanya radiasi hambur yang terjadi saat penyinaran. Menurut (Susworo, 2007) semakin besar luas lapangan penyinaran maka semakin rendah dosis radiasi yang diterima. Namun pada lapangan penyinaran berbentuk persegi panjang, diperoleh nilai dosis radiasi yang berbeda. Pada lapangan penyinaran dengan panjang 5 cm, nilai dosis radiasi yang diterima lebih besar daripada lapangan penyinaran dengan panjang 10 cm.

3.3 Verifikasi Dosis Radiasi Berkas Foton 6 MV

Verifikasi dosis radiasi merupakan kesesuaian antara dosis radiasi pada TPS dengan dosis radiasi yang terukur. Kesesuaian dosis radiasi tersebut diperoleh dengan perhitungan diskrepansi dosis. Hasil perhitungan diskrepansi dosis radiasi tersebut dibandingkan terhadap standar protokol TRS No. 398 IAEA yaitu $\pm 2\%$. Nilai diskrepansi dosis radiasi pada TPS dengan dosis radiasi yang terukur ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai diskrepansi dosis radiasi

Luas Lapangan (cm ²)	Dosis Radiasi Terukur (Gy)	Dosis Radiasi TPS (Gy)	Diskrepansi Dosis (%)
5x5	2,009	2,000	0,441
10x10	2,008		0,410
15x15	2,003		0,147
30x30	1,988		0,584
5x10	2,011		0,561
10x5	2,002		0,092
5x15	2,010		0,489
15x5	2,002		0,076

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh adanya diskrepansi dosis pada tiap variasi luas lapangan. Hal tersebut dikarenakan saat penyinaran elektron mengalami interaksi dengan *flattening filter*, kolimator, dan fantom sehingga elektron yang diterima detektor pada fantom akan berkurang. Nilai diskrepansi

dosis terendah berada pada luas lapangan (30×30) cm yaitu -0,584%, sedangkan nilai diskrepansi dosis tertinggi pada luas lapangan (5×10) cm yaitu 0,561%. Nilai diskrepansi dosis yang diperoleh masih memenuhi batas toleransi standar protokol IAEA yaitu $\pm 2\%$. Nilai diskrepansi dosis negatif menunjukkan dosis radiasi pengukuran lebih kecil daripada dosis radiasi TPS atau disebut *underdose*. Sedangkan nilai diskrepansi dosis positif menunjukkan dosis radiasi pengukuran lebih besar daripada dosis radiasi TPS atau disebut *overdose* (Ramona *et al.*, 2020).

IV. KESIMPULAN

Dosis radiasi yang diterima akan semakin menurun seiring bertambah luasnya lapangan penyinaran. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya interaksi elektron dengan materi dan radiasi hambur. Nilai diskrepansi dosis radiasi pada slab fantom terhadap dosis radiasi pada TPS masih memenuhi batas toleransi standar protokol IAEA No.398 yaitu $\pm 2\%$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas yang telah menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan terima kasih untuk semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi, B.S.W. and Milvita, D. (2018), "Verifikasi Luas Lapangan Radiasi penyinaran Linac Tipe Clinac CX Terintegrasi Electronic Portal Imaging Device (EPID) Menggunakan Teknik IMRT Di RSP Universitas Andalas", *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 7 No. 4, pp. 334–338.
- IAEA. (2000), *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*, Technical Reports Series 398, IAEA, IAEA, Vienna.
- Podgorsak, E.. (2005), *Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, IAEA, Vol. 5, IAEA, Vienna, available at:<https://doi.org/10.1120/jacmp.2021.25315>.
- Ramona, F., Milvita, D. and Diyona, F. (2020), "Verifikasi Nilai Dosis Radiasi Berkas Elektron Pesawat LINAC dengan Luas Lapangan Blok Cerrobend (6×6) cm² dan (8×8) cm² Berdasarkan Protokol IAEA TRS 398", *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 9 No. 2, pp. 238–243.
- Susworo, R. (2007), *Dasar-Dasar Radioterapi*, UI Press, Jakarta.