

Analisis Dosis Keluaran Berkas Sinar-X Pesawat Linac Varian Clinac CX Berdasarkan Protokol Dosimetri IAEA TRS 398

¹Komang Sugiarta, ²Ni Nyoman Ratini, ³Hery Suyanto, ⁴Syarifuddin

^{1,2,3}Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

⁴Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara, Jl. Bypass Ngurah Rai no. 548, Sanur Kauh, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali

Email Korespondensi: ¹⁾komangsugiarta452@gmail.com; ²⁾nymratini@unud.ac.id; ³⁾hery@unud.ac.id; ⁴⁾Syarifradiologi@gmail.com

Article Info	Abstract
<p>Article History Received: 09 Augst 2022 Revised: 25 Dec 2022 Published: 30 Dec 2022</p> <p>Keywords Radiotherapy; Linac; X-ray; TRS 398 IAEA; Output Dose</p>	<p>X-Ray Beam Output Analysis of the Linac Variant Clinac CX Aircraft Based on the IAEA TRS 398 Dosimetry Protocol. Research has been conducted on the Analysis of the X-ray beam output of the Linac varian Clinac CX based on the TRS 398 IAEA. This analysis aims to determine the condition of Linac in Bali Mandara Hospital with reference to the value of 1 cGy equal to 1 MU obtained from the analysis of the ionization chamber, temperature, pressure, polarity effect and ion recombination. The research was conducted with variations of X-ray energy 6 MV and 10 MV. The size of the irradiation field used is (10 x 10) cm with a Source to Surface Distance (SSD) of 100 cm. Based on the results of absolute measurements of the output dose of the Linac Varian Clinac CX X-ray beam at the Radiation Oncology Sub-Installation of the Bali Mandara Hospital with two variations of energy used, the output dose value at 6 MV energy is 1,00138 cGy/MU and at 10 MV energy 0,99456 cGy/MU with a large deviation of 0,138 % and 0,544 %, respectively, with the obtained deviation meeting the TRS 398 IAEA tolerance limit of $\pm 3\%$.</p>
Informasi Artikel	Abstrak
<p>Sejarah Artikel Diterima: 09 Agust 2022 Direvisi: 25 Des 2022 Dipublikasi: 30 Des 2022</p> <p>Kata kunci Radioterapi; Linac; Sinar-X; IAEA TRS 398; Dosis Keluaran</p>	<p>Telah dilakukan penelitian mengenai Analisis Dosis Keluaran Berkas Sinar-X Pesawat Linac Varian Clinac CX Berdasarkan Protokol Dosimetri IAEA TRS 398. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kondisi dari pesawat terapi Linac yang berada di RSUD Bali Mandara dengan mengacu pada nilai 1 cGy sama dengan 1 MU yang diperoleh dari analisis <i>ionisasi chamber</i>, suhu, tekanan, efek polaritas dan rekombinasi ion. Penelitian dilakukan dengan variasi energi sinar-X yaitu 6 MV dan 10 MV. Ukuran luas lapangan penyinaran yang digunakan adalah (10 x 10) cm dengan <i>Source to Surface Distance</i> (SSD) 100 cm. Berdasarkan hasil pengukuran absolut dosis keluaran berkas sinar-X pesawat Linac Varian Clinac CX di Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara dengan dua variasi energi yang digunakan, diperoleh nilai dosis keluaran pada energi 6 MV yaitu 1,00138 cGy/MU dan pada energi 10 MV yaitu 0,99456 cGy/MU dengan besar deviasi masing-masing adalah 0,138 % dan 0,544 %, dengan deviasi yang diperoleh telah memenuhi batas toleransi IAEA TRS 398 yaitu $\pm 3\%$.</p>
<p>Sitasi: Sugiarta, K., Ratini, N. N., Suyanto, H., & Syarifuddin, S. (2022), Analisis Dosis Keluaran Berkas Sinar-X Pesawat Linac Varian Clinac CX Berdasarkan Protokol Dosimetri IAEA TRS 398, <i>Kappa Journal</i>. 6(2), 366-372.</p>	

PENDAHULUAN

Linac adalah salah satu contoh pesawat radioterapi berupa suatu sistem (mesin) yang digunakan untuk mempercepat partikel bermuatan melalui lintasan lurus (linier) dengan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi yang dapat menghasilkan berkas foton (sinar-X) dan berkas elektron yang digunakan dalam bidang kesehatan khususnya untuk keperluan radioterapi (Alesini, 2016). Sinar-X pada Linac diproduksi dari berkas elektron berkecepatan tinggi yang diperoleh dari hasil percepatan elektron oleh pandu gelombang percepatan (*accelerating waveguide*). Sinar-X yang dihasilkan adalah sinar-X yang terdistribusi kontinyu (*Bremsstrahlung*) (Pipman, 2017). Berkas sinar-X terdiri dari variasi energi 6 MV dan 10 MV untuk pesawat radioterapi Linac Varian Clinac CX, yang digunakan untuk menyinari kanker yang berada di dalam jaringan tubuh misalnya kanker payudara, kanker serviks, dan kanker nasofaring (Puspitasari, et al., 2020).

Kasus kesalahan penyinaran sehubungan dengan pesawat radioterapi Linac biasanya berawal dari berkas radiasi yang keluar tidak sesuai harapan saat akan menyinari pasien (Paningaran, 2015). Variasi tegangan tabung sinar-X adalah faktor dominan dalam menghasilkan tingkat energi sinar-X yang digunakan untuk menembus objek (Satwika, dkk.). Dosis radiasi dari radiasi pengion yang diberikan pada sel tumor harus terdistribusi merata dan homogen sesuai dengan aturan ICRU (*International Commission on Radiation Units and Measurements*) yaitu dosis yang diberikan dalam terapi pasien mempunyai ketidakakuratan yang diperbolehkan berada pada jangkauan -5 % sampai +7 % (Handoko, et al., 2018).

Pengukuran dosis keluaran pesawat Linac merupakan bagian dari program *Quality assurance* (QA) dan *Quality Control* (QC) fasilitas radioterapi. Sehingga untuk menjamin kualitas instrumen Linac, maka diperlukan QA dan untuk membuktikan adanya jaminan kualitas memerlukan QC (Suharmono, et al., 2020). QA adalah suatu program atau langkah teratur yang bertujuan untuk menjamin konsistensi tahapan medik. Sedangkan QC adalah suatu tindakan pengukuran yang rutin dilakukan untuk memonitor performa visual dan uji kinerja dari peralatan sehingga kualitas keluarannya dapat dijamin. Salah satu rangkaian QA dan QC yaitu kalibrasi atau pengukuran dosis itu sendiri, meliputi QC harian, QC mingguan, dan QC bulanan (Setiawan, et al., 2016)

Pada penelitian ini, pengukuran dosis keluaran Linac yang dikaji adalah salah satu bentuk dari QC bulanan di Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara. QC bulanan yang akan dilakukan yaitu pengukuran dosis absolut (dosimetri absolut). Dosimetri absolut akan menghasilkan informasi mengenai dosis keluaran. Perhitungan dosis mengikuti protokol dosimetri *Technical Report Series* (TRS) 398 yang dikeluarkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) pada akhir tahun 2000. TRS 398 adalah suatu kode praktis Internasional untuk dosimetri berdasarkan standar dosis serap air yang dijadikan sebagai pedoman dalam penentuan dosis serap berkas radiasi pesawat terapi eksternal (Vadila, 2018). IAEA merekomendasikan ketidak akuratan dosis keluaran berkas radiasi yang diperbolehkan yaitu $\pm 3\%$ dengan mengacu pada nilai 1 cGy sama dengan 1 MU (Rahayu, 2015).

Rahma Ajeng Puspitasari dkk. (2020) telah melakukan penelitian mengenai analisis kualitas berkas radiasi Linac untuk efektivitas radioterapi. Metode dilakukan dengan observasi dan membandingkannya dengan batas toleransi IAEA TRS 398. Dari hasil pengukuran dan perhitungan terhadap keluaran berkas radiasi pesawat Linac didapatkan: pada berkas sinar-X dengan variasi energi 6 MV didapatkan nilai keluaran per 1 MU adalah 0,9938 cGy dengan

penyimpangan pengukuran 1,173%. Kualitas keluaran berkas radiasi (berkas sinar-X dan elektron) pesawat terapi Linac di RSAL Dr Ramelan Surabaya telah sesuai dengan standar IAEA TRS 398.

Berdasarkan informasi di atas, maka akan dilakukan penelitian mengenai analisis konsistensi keluaran berkas sinar-X pada pesawat *Linear Accelerator* (Linac) Varian Clinac CX di Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara dengan melakukan pengukuran absolut terlebih dahulu berdasarkan protokol IAEA TRS 398, untuk mengetahui kelayakan dari pesawat Linac di Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara.

METODE

Analisa yang dilakukan bertujuan untuk dapat mengetahui besarnya dosis keluaran berkas sinar-X pada pengukuran absolut mengacu pada nilai 1 cGy sama dengan 1 MU dengan berdasarkan protokol dosimetri IAEA TRS 398. Pada tahun 2000, *International Atomic Energy Agency* (IAEA) mempublikasikan protokol kalibrasi terbaru yaitu *Technical Report Series* (TRS) No.398 (Khan, 2014). TRS 398 merupakan kode praktis yang diaplikasikan pada berkas sinar-X berenergi tinggi dengan kisaran 6 MV hingga 18 MV. *water phantom* yang digunakan harus 5 cm lebih panjang pada setiap sisinya daripada lapangan yang digunakan dan sekurang-kurangnya 5 g.cm⁻² melebihi kedalaman pengukuran maksimum. Chamber ionisasi yang direkomendasikan dalam pengukuran absolut berkas sinar-X yaitu detektor *ionisasi chamber farmer*.

Khusus sinar-X berenergi tinggi yang dihasilkan oleh Linac, kualitas berkas ditentukan melalui rasio jaringan *phantom Tissue Phantom Ratio* (TPR_{20,10}). TPR_{20,10} dapat ditentukan melalui hubungan sederhana pada persamaan berikut: (IAEA, 2006)

$$TPR_{20,10} = 1,2661 PDD_{20,10} - 0,0595 \quad (1)$$

dimana $PDD_{20,10}$ adalah Rasio dari dosis (dalam persen) pada kedalaman 20 cm dan 10 cm untuk lapangan (10×10) cm² yang ditetapkan pada permukaan *phantom* dengan SSD 100 cm.

Persamaan dasar yang digunakan untuk menentukan dosis serap di air pada suatu berkas dengan kualitas Q berdasarkan protokol IAEA TRS 398 diberikan oleh persamaan berikut (IAEA, 2006):

$$D_{w,Q}(z_{ref}) = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (2)$$

dimana $D_{w,Q}$ adalah dosis serap di air untuk suatu berkas dengan kualitas Q yang dipilih pengguna pada kedalaman referensi (Gy/MU), N_{D,w,Q_0} adalah koefisien kalibrasi dalam hal dosis serap air pada kualitas referensi Q_0 , k_{Q,Q_0} adalah faktor koreksi perbedaan antara respon detektor ionisasi dalam kualitas berkas yang digunakan sebagai kalibrasi dosimeter (Co-60) terhadap kualitas berkas sinar-X, dan M_Q adalah bacaan dosimetri terkoreksi pada saat pengukuran (nC/MU). Nilai M_Q diberikan oleh persamaan:

$$M_Q = M_1 \cdot k_{TP} \cdot k_{elec} \cdot k_{pol} \cdot k_s \quad (3)$$

dengan M_1 adalah bacaan dosimeter pada tegangan V_1 (nC/MU), k_{TP} adalah faktor koreksi temperatur dan tekanan udara terhadap keadaan referensi 20 °C dan 101,3 kPa, besarnya koreksi k_{TP} dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$k_{TP} = \left(\frac{273,2 + T}{273,2 + T_0} \right) \frac{P_0}{P} \quad (4)$$

k_{elec} adalah faktor kalibrasi elektrometer, jika dalam sertifikat tidak dicantumkan faktor tersebut maka nilai k_{elec} adalah 1, k_{pol} adalah faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap efek pergantian polaritas yang diberikan pada detektor. Nilai k_{pol} dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \quad (5)$$

dimana M_+ adalah bacaan pengukuran pada polaritas positif (nC/MU), M_- adalah bacaan pengukuran pada polaritas negatif (nC/MU), dan M adalah adalah pembacaan saat tegangan operasi dosimeter kamar pengion (polaritas negatif atau positif). Sementara itu faktor k_s adalah faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap kurang lengkapnya pengumpulan muatan pada ionisasi di udara yang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$k_s = a_0 + a_1 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) + a_2 \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \text{ atau } k_s = \frac{(V_1/V_2)^2 - 1}{(V_1/V_2)^2 - (M_1/M_2)} \quad (6)$$

dimana a_0 , a_1 , dan a_2 adalah nilai koefisien yang terbentuk pada tegangan normal, V_1 dan V_2 adalah tegangan yang digunakan (volt), serta M_1 dan M_2 adalah bacaan dosimeter pada tegangan V_1 dan V_2 (nC/MU).

Setelah ditentukan kelauran berkas sinar-X pada kedalaman referensi maka dapat ditentukan keluaran berkas sinar-X pada saat kedalaman maksimum. Penentuan dosis serap pada kedalaman maksimum dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$D_{w,Q}(z_{max}) = \frac{100D_{w,Q}(z_{ref})}{PDD(z_{ref})} \quad (7)$$

dimana 100 adalah nilai 100%, $D_{w,Q}(z_{ref})$ adalah dosis serap pada kedalaman Z_{ref} , dan $PDD(z_{ref})$ adalah nilai presentase untuk pengukuran di kedalaman Z_{ref} . Penentuan keluaran berkas sinar-X pada kedalaman maksimum bertujuan untuk mengatur bacaan detektor monitor dalam satuan MU sehingga 1 cGy sama dengan 1 MU (Paningaran, 2015).

Adapun keadaan dasar pada saat pengukuran untuk dua variasi energi berkas sinar-X diperlihatkan pada Tabel berikut:

Tabel 1. Keadaan dasar dan kondisi pengukuran untuk dua variasi energi berkas sinar-X

Parameter	Energi Sinar-X		Satuan
	6 MV	10 MV	
Dose Rate	400	400	MU/min
Field Size	10×10	10×10	cm ²
Z_{ref}	10	10	g.cm ⁻²
Z_{max}	1,6	2,3	g.cm ⁻²
SSD	100	100	cm
Tekanan Referensi (P_0)	101,3	101,3	kPa
Temperatur Referensi (T_0)	20	20	°C
Tegangan Polaritas (V_1)	400	400	V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran absolut dilakukan dengan mengukur jumlah muatan berkas sinar-X untuk menentukan nilai faktor koreksi efek polaritas (k_{pol}) dan rekombinasi ion (k_s), yang selanjutnya digunakan untuk menentukan bacaan dosimetri terkoreksi pada saat pengukuran

(M_Q). Berdasarkan pengukuran absolut yang telah dilakukan pada berkas sinar-X pesawat Linac Varian Clinac CX diperoleh data-data seperti disajikan pada Tabel .2 sebagai berikut:

Tabel 2. Data bacaan elektrometer untuk berkas sinar-X dengan variasi energi 6 MV dan 10 MV

Energi (MV)	V (volt)	P (kPa)	T (°C)	Muatan yang terbaca pada dosimetri (M) (nC)
6	+400	101,2	22,0	24,89000
	-400			-24,71000
	+100			24,90333
10	+400	101,2	22,0	27,54000
	-400			-27,52330
	+100			27,32333

Berdasarkan data jumlah muatan yang diperoleh selanjutnya dapat ditentukan nilai faktor koreksi dan nilai parameter-parameter kalibrasi pada kedua variasi energi berkas sinar-X yang dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Nilai faktor koreksi dan nilai parameter-parameter kalibrasi pada kedua variasi energi berkas sinar-X

Faktor Koreksi dan Parameter	Energi Sinar-X		Satuan
	6 MV	10 MV	
$PDD_{20,10}$	0,5710	0,6315	-
$TPR_{20,10}$	0,663	0,740	-
k_{Q,Q_0}	0,9922	0,9800	-
k_{TP}	1,0078	1,0078	-
k_{elec}	1,000	1,000	-
k_{pol}	0,99638	0,99970	-
V_1	400	4000	V
V_2	100	100	V
V_1/V_2	4	4	-
a_0	1,022	1,022	-
a_1	-0,3632	-0,3632	-
a_2	0,3413	0,3413	-
M_1	24,89	27,54	nC
M_2	24,90333	27,32333	nC
k_s	0,9999	1,0027	-
M_Q	0,12495	0,13911	nC/MU
N_{D,w,Q_0}	0,05373	0,05373	Gy/nC
$D_{w,Q_{zref}}$	$6,6612 \times 10^{-1}$	$7,3249 \times 10^{-1}$	cGy/MU
$PDD_{zref} (\%)$	66,520	73,650	%

Dengan demikian, diperoleh dosis keluaran berkas sinar-X pada pesawat Linac di kedalaman maksimum yang menjadi objek pengukuran untuk dua variasi energi yang digunakan, yang ditampilkan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Dosis serap pada kedua variasi energi berkas sinar-X

Energi (MV)	$D_{w,Qz_{max}}$ (cGy/MU)	Deviasi Keluaran pada z_{max} terhadap MU (%)
6	1,00138	0,138
10	0,99456	0,544

Berdasarkan data yang ditunjukkan oleh Tabel 4, hasil dosis keluaran berkas sinar-X yang diperoleh pada energi 6 MV dan 10 MV, nilai deviasi yang diperoleh telah memenuhi batas toleransi IAEA TRS 398 yaitu $\pm 3\%$. Maka pesawat Linac Varian Clinac CX di Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara masih layak untuk beroperasi. Pada dasarnya, apabila terdapat penyimpangan yang signifikan dosis keluaran berkas sinar-X, maka wajib dilakukan *adjustment* untuk penyesuaian pada *panel control software* Linac agar didapat nilai dengan deviasi yang lebih rendah dan memenuhi batas toleransi yang direkomendasikan IAEA.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran absolut dosis keluaran berkas sinar-X pesawat Linac Varian Clinac CX di Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara dengan dua variasi energi yaitu 6 MV dan 10 MV, diperoleh nilai dosis keluaran masing-masing 1,00138 cGy/MU dan 0,99456 cGy/MU dengan besar deviasi masing-masing adalah 0,138 % dan 0,544 %. Deviasi yang terjadi telah memenuhi batas toleransi IAEA TRS 398 yaitu $\pm 3\%$.

SARAN

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh staf di Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara atas izin dan bantuan dalam pelaksanaan penelitian, serta staf dosen program studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana yang telah memberikan dukungan sehingga publikasi ini dapat selesai sebagaimana mestinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh staf di Sub Instalasi Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara atas izin dan bantuan dalam pelaksanaan penelitian, serta staf dosen program studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana yang telah memberikan dukungan sehingga publikasi ini dapat selesai sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alesini, D. (2016, Oktober 14). *Linear Accelerators, The CERN accerator School*. Retrieved from Budafest: https://indico.cern.ch/event/532397/contributions/2170633/attachments/1343755/2049275/Alesini_LINEAR_ACCELERATORS.pdf
- Handoko, A., Hidayatullah, Hidayanto, E., & Richardina, V. (2018). Analisis keakuratan verifikasi dosis dengan menggunakan perbandingan phantom standar dan phantom replika. *Youngster Physics Journal*. Vol. 07, 1-10.
- IAEA. (2000). *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water*. Vienna: Austria.
- Khan, F. M. (2014). *THE PHYSICS OF RADIATION THERAPY THIRD EDITION*. New York: LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS .

- Paningaran, I. (2015). Analisis Dosis *Output* Sinar-X Pesawat *Linear Accelerator* (LINAC) Menggunakan *Water Phantom*. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Pipman, Y. (2017, April 7). *Linear Accelerators For Radiothera: Part 2- Sub-Systems*. Retrieved from ICTP School on Medical Physics for Radiation Therapy: <https://indico.ictp.it/event/7955/session/2/contribution/18/material/slides/0.pdf>
- Puspitasari, R. A., Pertiwi, W. I., Sholihah, P. M., Fariqoh, W. H., Kavilani, N., & Astuti, S. D. (2020). Analisis Kualitas Berkas Radiasi LINAC Untuk Efektivitas Radioterapi. *Jurnal Biosains Pascasarjana Vol. 22*, 11-19.
- Rahayu, I.I. (2015). Analisis Dosis *Output* Berkas Elektron Pesawat Teleterapi *Linear Accelerator* (Linac) Tipe Varian HCX 6540 Menggunakan TRS 398. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Satwika, L. G. P., Ratini, N. N., & Iffah, M. (2021). Pengaruh Variasi Tegangan Tabung Sinar-X terhadap Signal to Noise Ratio (SNR) dengan Penerapan Anode Heel Effect menggunakan Stepwedge. *Buletin Fisika Vol, 22(1)*,20-28.
- Setiawan, H., & Widita, R. (2016). Analisis Dosis Keluaran Berkas Foton dan Elektron Energi Tinggi Pesawat Linac Elekta Precise 5991 Berdasarkan Code of Practice IAEA TRS 398. *Institut Teknologi Bandung* (pp. 180-186). Bandung: Prosiding SKF 2016.
- Suharmono, B. H., Anggraini, I. Y., Hilmaniyya, & Astuti, S. D. (2020). Quality Assurance (QA) Dan Quality Control (QC) Pada Instrumen Radioterapi Pesawat LINAC. *Jurnal Biosains Pascasarjana Vol.22*, 73-80.
- Vadila, M. (2018). Analisis Keluaran Berkas Radiasi Pesawat Terapi Linac Tipe Varian CX 6264 Di RS UNAND. *Skripsi*. Universitas Andalas.