

ANALISIS KUALITAS DATA KELUARAN HARIAN ELEKTRON AKSELERATOR LINIER

Heru Santoso*, Muhammad Hamdi, Saktioto

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau

*E-mail korespondensi: heru.santoso@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Linac radiotherapy measurement often experience instability. One of the irradiation errors with Linac can occur because the radiation beam that comes out is not expected properly. Determination of the correction factor and linearity is important to analyze the charge output of the electron energy emitted by Linac's modality to see the stability of the emitted charge. This study uses Electron Linear Accelerator Electron beam daily output data with a 10 cm × 10 cm applicator, 100 cm SSD, 0.125 cc cylindrical ionization detector PTW type 31010 Semiflek and uses a slab solid phantom with energy variations of 6 MeV, 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV and 15 MeV. The measurement results are calculated using the IAEA TRS 398 protocol. The result of linearity correction factor of 96.87% which shows the stability value of the electron beam load output is very good, and the results of the correction factor show the enumeration values of each energy 6 MeV, 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV and 15 MeV namely 0.030342129 nC, 0.03034 nC, 0.03034 nC, 0.03034 nC and 0.03034 nC values respectively still within the tolerance range of measurement ± 1. The correction factor that has been obtained is used as a parameter in calculating the absorbance dose to the maximum depth.

Keywords: Linac, Electron, Correction factor, TRS 398

ABSTRAK

Pengukuran radioterapi Linac sering mengalami ketidakstabilan. Salah satu kesalahan penyinaran dengan Linac terjadi karena berkas radiasi yang keluar mengalami gangguan. Penentuan faktor koreksi dan linieritas penting dilakukan untuk menganalisis keluaran muatan dari energi elektron yang dipancarkan oleh modalitas Linac untuk melihat kestabilan dari muatan yang dipancarkan. Penelitian ini menggunakan data keluaran harian berkas elektron Linier Accelerator Elekta dengan aplikator 10 cm × 10 cm, SSD 100 cm, detektor ionisasi silindris 0,125 cc tipe Semiflek PTW 31010 dan menggunakan slab solid phantom dengan variasi energi 6 MeV, 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV dan 15 MeV. Hasil pengukuran dihitung dengan menggunakan protokol TRS 398 IAEA. Hasil linieritas faktor koreksi sebesar 96,87% yang menunjukkan nilai kestabilan keluaran muatan berkas electron yang sangat baik, dan hasil faktor koreksi menunjukkan nilai pencacahan dari setiap energi 6 MeV, 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV dan 15 MeV yaitu 0,030342129 nC, 0,03034 nC, 0,03034 nC, 0,03034 nC dan 0,03034 nC nilai masih berada dalam rentang toleransi pengukuran ±1. Faktor koreksi yang telah diperoleh digunakan sebagai parameter dalam perhitungan dosis serap pada kedalaman maksimum.

Kata kunci: Linac, Elektron, Faktor koreksi, TRS 398

Diterima 17-07-2020 | Disetujui 18-11-2020 | Dipublikasi 30-11-2020

PENDAHULUAN

Radiasi pengion banyak digunakan dalam radioterapi untuk pengobatan kanker dengan meradiasi sel kanker dan meminimalisir sel sehat dari efek radiasi dengan memberikan dosis radiasi yang tepat (akurasi ataupun

presisi) [1]. Salah satu modalitas yang digunakan dalam radioterapi adalah *Linear Accelerator* (Linac). Alat ini digunakan untuk menyinari sel kanker yang berada di dalam maupun permukaan tubuh. Linac dapat menghasilkan berkas penyinaran salah satunya berkas elektron. Berkas elektron

biasanya digunakan untuk menyinari kasus kanker di permukaan atau kanker kulit [2].

Pesawat Linac sering mengalami ketidakstabilan keluaran karena Linac terbuat dari rangkaian alat elektronik [3]. Salah satu kesalahan dalam penyinaran radioterapi dengan Linac dapat terjadi karena berkas radiasi yang keluar tidak sesuai [2]. Dianjurkan untuk melakukan koreksi sesuai dengan *Quality Control* (QC) setiap data pengukuran energi [4]. Perhitungan faktor koreksi dilakukan untuk melihat muatan keluaran berkas electron agar kestabilan tetap sesuai yang diharapkan.

Pengukuran dosis radiasi pada radioterapi harus dilakukan dengan tepat dan sesuai standar karena sangat penting untuk memeriksa besaran dosis radiasi dan kualitas alat yang digunakan untuk memastikan keberhasilan dari proses radioterapi. Pengukuran dosis harus sesuai standar protokol *Technical Report Series* (TRS) 398 yang dikeluarkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dan sebelum melakukan pengukuran dosis sangat penting terlebih dahulu melakukan faktor koreksi [5].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan faktor koreksi dan linieritas untuk menganalisis keluaran muatan dari energi elektron yang dipancarkan oleh modalitas Linac untuk melihat stabilitas dari muatan yang dipancarkan. Faktor koreksi yang telah diperoleh digunakan sebagai parameter dalam perhitungan dosis serap pada kedalaman maksimum.

TINJAUAN PUSTAKA

Radiasi merupakan emisi dan perambatan energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik⁶. Transmisi radiasi dapat bersumber dari radiasi pengion dan non pengion. Radiasi dapat menyebabkan proses ionisasi apabila berinteraksi dengan materi [7].

Radiasi pengion dalam bentuk elektron digunakan dalam terapi radiasi pada kanker yang dekat dengan permukaan karena

energinya tidak dapat menembus jaringan bagian dalam tubuh. Hal ini terjadi karena elektron berinteraksi dengan bahan maka energinya akan menyebar sehingga semakin jauh jaraknya maka energinya akan semakin kecil [8]. Radiasi eksternal merupakan metode terapi radiasi diluar tubuh dimana sumber radiasi berada pada jarak tertentu dari target tubuh yang akan diradiasi [9]. Sumber yang dipakai pesawat terapi Co-60 dan Linear Accelerator (Linac).

TRS 398 merupakan kode praktis klinis yang diaplikasikan pada pada berkas elektron berenergi tinggi dengan kisaran 4 MeV hingga 22 MeV. TRS 398 menggunakan standar dosis serap air dalam menentukan dosis serap berkas radiasi terapi eksternal. Beberapa faktor koreksi untuk menentukan laju dosis serap berkas elektron dalam fantom [5]. Nilai faktor koreksi harus sesuai standar TRS 398 dengannya standar yang ditetapkan yaitu ± 1 [10]. Faktor koreksi tersebut tersebut adalah sebagai berikut.

Faktor Temperatur dan Tekanan (K_{TP})

Faktor koreksi temperatur dan tekanan udara terhadap referensi 20 °C dan 101,325 kPa, besar koreksi ini dapat ditentukan dengan Persamaan 1.

$$K_{TP} = \frac{273,15 + T P_0}{273,15 + T_0 P} \quad (1)$$

Elektrometer (K_{elec})

K_{elec} adalah faktor klibrasi elektrometer, jika dalam sertifikat tidak dicantumkan nilainya, maka faktor kalibrasi bernilai 1.

Efek Polaritas (K_{pol})

K_{pol} adalah faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap efek pergantian polaritas yang diberikan pada detektor. Nilai K_{pol} dapat ditentukan dengan Persamaan 2.

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

Rekomendasi Ion (K_s)

Rekomendasi ion (K_s) adalah faktor koreksi respon dektektor ionisasi terhadap kurang lengkapnya pengumpulan muatan pada ionisasi di udara. Nilai K_s dapat dihitung dengan Persamaan 3.

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

Ionisasi chamber atau bilik ionisasi adalah modalitas dalam mengukur jumlah ionisasi yang terjadi didalam rongga detektor. Bilik ionisasi digunakan dalam proses radioterapi untuk menentukan dosis radiasi. Pembacaan bilik ionisasi dipengaruhi oleh jumlah suhu, tekanan, kalibrasi elektrometer, efek polaritas dan rekombinasi ion [11]. Pembacaan nilai pada bilik ionisasi dapat ditentukan oleh Persamaan 4.

$$M_Q = (M_{un} - M_0) \cdot K_{TP} \cdot K_{esc} \cdot K_{pol} \cdot K_s \quad (4)$$

METODE PENELITIAN

Menganalisis data keluaran harian berkas elektron sangat penting dilakukan untuk melihat linieritas dari masing-masing data keluaran. Melihat linieritas sini dimulai dari membuat grafik dengan excel dari masing-masing data harian. Selanjutnya melihat faktor korelasi masing-masing data dan menjumlahkannya lalu mendapatkan rata-rata faktor korelasinya.

Pengukuran faktor koreksi dimulai dari pengukuran tekanan dan temperatur yang dilakukan dengan cara mengukur nilai tekanan udara saat pengukuran berlangsung dengan menggunakan barometer dan suhu menggunakan termometer. Selanjutnya data

pengukuran tekanan dan suhu yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung K_{TP} pada Persamaan 1.

Pada pengukuran efek polaritas berkas elektron dilakukan pada polaritas positif dan polaritas negatif. Polaritas positif diperoleh dari tegangan yang diberikan bernilai positif dan polaritas negatif diberikan pada tegangan bernilai negative. Selanjutnya data hasil pengukuran dapat digunakan untuk menghitung K_{pol} dengan Persamaan 2.

Faktor koreksi rekombinasi ion ditentukan dengan mengukur tegangan yang biasa digunakan di rumah sakit dan tegangan referensi. Selanjutnya dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

Menentukan pencacahan berkas muatan (M_Q) dengan mengalikan semua perhitungan rata-rata faktor koreksi menggunakan Persamaan 4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

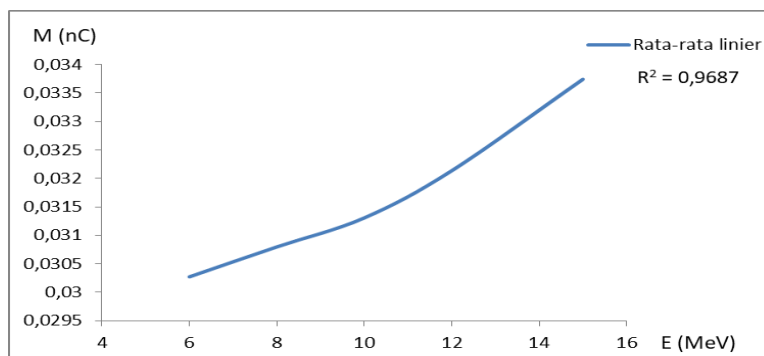
Faktor Korelasi

Faktor korelasi digunakan untuk melihat kestabilan dari masing-masing data keluaran harian elektron, dari 24 data pengukuran harian Linac didapatkan tiga data terbaik ditunjukkan pada Tabel 1.

Data Tabel 1 merupakan data rata-rata muatan elektron dari 24 datadan didapatkan tiga data terbaik pada pengukuran tanggal 01 Januari, 09 Januari dan 02 Februari dengan nilai rata-rata muatan elektron 0,03027111 nC pada energi 6 MeV, 0,03079722 nC pada 8 Mev, 0,03130667 nC pada 10 MeV, 0,03213611 pada 12 MeV dan 0,03374333 pada 15 MeV.

Tabel 1. Rata-rata muatan elektron pada data mendekati liner.

E (MeV)	M (nC)			Rata-rata
	01 Januari	09 Januari	02 Februari	
6	0,03035	0,03016	0,030303333	0,03027111
8	0,0308733	0,030715	0,030803333	0,03079722
10	0,0313867	0,03122	0,031313333	0,03130667
12	0,03225	0,032015	0,032143333	0,03213611
15	0,03384	0,03363	0,03376	0,03374333



Gambar 1 Rata-rata muatan elektron pada data mendekati linier.

Gambar 1 menunjukkan rata-rata muatan elektron mendekati linier. Pada energi 10 MeV merupakan energi dengan kemiringan yang cenderung kebawah. Hal ini karena nilai muatan pada energi 15 MeV naik secara signifikan dibandingkan dengan energi sebelumnya. Perbedaan nilai keluaran nilai berkas electron ini terjadi karena adanya fluktuasi yang terjadi pada alat. Interaksi radiasi pengion dengan tubuh terjadi dengan proses ionisasi. Proses ionisasi elektron akan berinteraksi dengan molekul dalam sel yang

dituju (kanker) dengan *deoxyribo nucleic acid* (DNA). Kerusakan pada DNA dapat mencegah kemampuan reproduksi sel kanker kembali. Salah satu efek radiasi yang timbul dari penyinaran partikel electron adalah efek deterministic. Efek ini muncul seketika penyinaran atau beberapa waktu setelah penyinaran [12]. Semakin besar nilai dosis radiasi yang diterima maka semakin besar pula efek deterministic, sehingga dampak negatif radiasi sebanding dengan jumlah radiasi yang diterima [13].

Tabel 2. Nilai faktor koreksi rata-rata elektron.

No	Faktor Koreksi	Energi (MeV)				
		6	8	10	12	15
1	Rh (%)	50	50	50	50	50
2	P (KPa)	101,117	101,117	101,117	101,117	101,117
3	T (°C)	21,1333	21,1333	21,1333	21,1333	21,1333
4	K_{TP}	1,00569	1,00569	1,00569	1,00569	1,00569
5	M (nC)	0,030170625	0,0307192	0,0312056	0,0320294	0,0336396
6	K_{Elec}	1	1	1	1	1
7	K_{Pol}	1	1	1	1	1
8	K_S	1	1	1	1	1
9	M_Q (nC)	0,030342129	0,03034	0,03034	0,03034	0,03034

Nilai Faktor koreksi digunakan sebagai parameter untuk menentukan nilai dosis keluaran berkas elektron dan deviasi dari keluaran berkas dari Linac. Perhitungan untuk mencari nilai pencacahan dipengaruhi oleh hasil perhitungan parameter faktor koreksi sebelumnya. Nilai rata-rata faktor koreksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan data Tabel 2 nilai rata-rata dari perhitungan factor koreksi, didapat hasil

pengukuran kelembaban (Rh), temperatur (T) dan tekanan (P) yaitu sebesar 50%, 21,1333 °C dan 101,117 KPa. Kelembaban, temperatur dan tekanan semua bernilai konstan pada masing-masing energi. Hal ini terjadi karena pengukuran dilakukan pada awal kalibrasi dan untuk semua energi. Perhitungan faktor koreksi temperatur dan tekanan (K_{TP}) mendapatkan nilai 1,00569 pada setiap energi. Nilai K_{TP} dapat dihitung menggunakan Persamaan 1. Nilai

muatan rata-rata (M) Tabel 1 pada setiap energi (6, 8, 10, 12,15) MeV diperoleh dari bacaan alat yaitu 0,030170625 nC, 0,0307192 nC, 0,0312056 nC, 0,0320294 nC dan 0,0336396 nC. Nilai faktor koreksi kalibrasi elektrometer (K_{elec}) bernilai 1 dimana chamber dikalibrasi dengan elektrometer¹⁵. Dan faktor K_{elec} tidak bergantung pada ukuran aplikator, energi dan dosis [14].

Nilai perhitungan faktor koreksi efek polaritas (K_{Pol}) bernilai 1 untuk tiap energi ini dikarenakan parameter yang digunakan adalah muatan dengan hanya satu tegangan yaitu 100 Volt. Menentukan nilai K_{Pol} menggunakan Persamaan 2.

Faktor koreksi rekombinasi ion (K_S) diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3 nilai yang diperoleh adalah 1 pada setiap energi. Nilai ini dipengaruhi oleh parameter muatan elektron (M) dimana hanya terdapat nilai muatan pada satu tegangan dan koefisien kuadrat yang digunakan, dapat dilihat pada Tabel 4.III TRS 398 IAEA

Nilai muatan bacaan pencacahan pada tegangan 100 yang telah dikoreksi oleh faktor kuantitas temperatur, tekanan, efek polaritas, kalibrasi elektrometer dan rekombinasi ion⁵. dihitung menggunakan Persamaan 4. Nilai dari setiap energi (6, 8,10, 12 dan 15) MeV yaitu (0,030342129, 0,03034, 0,03034, 0,03034 dan 0,03034) nC nilai masih berada dalam rentang toleransi pengukuran ± 1 . Faktor koreksi yang telah diperoleh digunakan sebagai parameter dalam perhitungan dosis serap pada kedalaman maksimum.

KESIMPULAN

Hasil dari muatan variasi energi elektron (6, 8, 10, 12 dan 15) MeV dari 24 data pengukuran harian terdapat tiga pengukuran dengan hasil nilai mendekati linier yaitu pengukuran 01 Januari, 09 Januari dan 02 Februari dengan nilai faktor korelasi 96,99%, 96,97% dan 96,63%. Semakin besar energi elektron maka semakin tinggi nilai muatannya berdasarkan faktor korelasi sebesar 96,87% sehingga

linieritas ini memenuhi nilai kestabilan. Berdasarkan dari hasil perhitungan faktor koreksi diperoleh nilai bacaan pencacahan pada tegangan 100 Volt (M_Q) pada setiap energi (6, 8,10, 12 dan 15) MeV yaitu (0,030342129, 0,03034, 0,03034, 0,03034 dan 0,03034) nC. Nilai faktor koreksi keluaran berkas elektron sesuai standar TRS 398 yaitu ± 1 .

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Riri Yulianti, Sp. Onk. Rad, selaku kepala Radioterapi Kanker Terpadu RSUD Arifin Achmad Pekanbaru atas izin dalam mengambil data. Fiet Fatra Yosandha dan Veni Setyowati, S.Si, selaku Fisikawan Medis Radioterapi RSUD Arifin Achmad Pekanbaru atas bimbingannya.

REFERENSI

1. Yeslem, A. E. M. O. M., Cheibetta, M. O., Ghassoun, J., Hakam, O. K., Semghouli, S., & Choukri, A. (2017, October). Quality control results for linear accelerator at Oncology Center in Nouakchott. *Proceedings of the Mediterranean Symposium on Smart City Applications*, 759–765.
2. Pratiwi, U. (2010). *Aplikasi analisis citra detail phantom dengan metode konversi data digital ke data matrik untuk meningkatkan kontras citra menggunakan Film Imaging Plate*. Skripsi, Fisika, Universitas Sebelas Maret.
3. Suharni, S., Kusminarto, K., & Anggraita, P. (2013). Analisis Hasil pengukuran Percentage Depth Dose (PDD) berkas elektron LINAC Elekta RSUP Dr. Sardjito. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, ISSN 1411-1349.
4. Nazaroh, N. Sunaryati, S. I., & Rajagukguk, N. (2006). Penerapan untuk jaminan kualitas radioterapi pusat teknologi keselamatan dan metrologi

- radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional. *Seminar Keselamatan Nuklir*.
5. IAEA. (2000). *Technical Report Series No. 398 Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*. Vienna.
 6. Liauw, S. L., Connell, P. P., & Weichselbaum, R. R. (2013). New paradigms and future challenges in radiation oncology: an update of biological targets and technology. *Science translational medicine*, **5**(173).
 7. Podgorsak, E. B. (2005). *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Vienna: IAEA.
 8. Malicki, J. (2015). Medical physics in radiotherapy: The importance of preserving clinical responsibilities and expanding the profession's role in research, education, and quality control. *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*, **20**(3), 161–169.
 9. Rödel, C., Trojan, J., Bechstein, W. O., & Woeste, G. (2012). Neoadjuvant short-or long-term radio (chemo) therapy for rectal cancer: how and who should be treated?. *Digestive Diseases*, **30**(2), 102–108.
 10. Andreo, P. (2000). *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*. Vienna: IAEA.
 11. Rusli, M. (2017). *Uji Keselamatan Paparan Radiasi Dental Sinar-X di Radiologi Atro Muhammadiyah Makasar*. Skripsi Fisika, Universitas Hasanudin.
 12. Fauziah, A. S. & Dwijananti, P. (2013). Pengaruh Radiasi Sinar-X terhadap Mortalitas Sperma pada Tikus Mencit (Mus Musculus). *Unnes Physics Journal*, **2**(2), 1–5.
 13. Vadila, M. (2018). *Analisis Keluaran Berkas Radiasi Pesawat Terapi Linac Tipe Varian CX 6264 di RS Unand*. Skripsi Fisika, Universitas Andalas.
 14. Güngör, G., Aydın, G., Mustafayev, T. Z., & Özyar, E. (2019). Output factors of ionization chambers and solid state detectors for mobile intraoperative radiotherapy (IORT) accelerator electron beams. *Journal of applied clinical medical physics*, **20**(2), 13–23.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)