

Analisis Keluaran Berkas Elektron Pesawat Terapi LINAC Tipe Varian CX 6264 di Rumah Sakit Universitas Andalas

Mona Vadila^{*}, Dian Milvita

Laboratorium Fisika Nuklir, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas
Kampus UNAND Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia
**monavadila9@gmail.com*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis keluaran berkas elektron pesawat terapi *linear acceleration* (LINAC) pada fantom air. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kondisi pesawat terapi LINAC selama digunakan dengan mengacu pada nilai 1 cGy sama dengan 1 MU. Penelitian dilakukan dengan cara menganalisis muatan yang ditangkap oleh detektor *ionisasi chamber* dengan faktor koreksi suhu, tekanan, efek polaritas dan rekombinasi ion. Penelitian dilakukan dengan variasi energi 4 MeV, 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 15 MeV dan 18 MeV dengan teknik penyinaran *Source to Surface Distance* (SSD) 100 cm. Ukuran luas lapangan penyinaran yang digunakan adalah (10 x 10) cm. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada berkas elektron energi 4 MeV, 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 15 MeV dan 18 MeV didapatkan nilai keluaran per 1 MU sebesar 0,981 cGy, 1,005 cGy, 1,019 cGy, 1,013 cGy, 1,017 cGy dan 1,007 cGy dengan deviasi pengukuran 1,92 %, 0,54 %, 1,90 %, 1,30 %, 1,73 % dan 0,72 %, nilai ini masih berada dalam rentang toleransi pengukuran yaitu ± 3 %. Dengan demikian, keluaran berkas radiasi elektron pesawat terapi LINAC di Rumah Sakit Universitas Andalas (RS Unand) telah sesuai standar TRS 398 IAEA.

Kata kunci: berkas elektron, berkas foton, fantom air, LINAC, RS Unand

ABSTRACT

The radiotherapy electron beam output linear acceleration (LINAC) on the water phantom has been analysed. The analysis aims to determine the condition of LINAC when it is operated the with reference value of 1 cGy equal to 1 MU obtained from chamber ionization analysis, temperature, pressure, polarity effects and ion recombination. Research was conducted with 6 MV and 10 MV energy variations for photon beam and 4 MeV, 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 15 MeV and 18 MeV for electron beam. The size of the radiation field used is (10 x 10) cm with radiation technique Source to Surface Distance (SSD) of 100 cm. The result of showed that 4 MeV, 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 15 MeV and 18 MeV electron beam obtained output value per 1 MU are 0.981 cGy, 1.005 cGy, 1.019 cGy, 1.013 cGy, 1.017 cGy and 1.007 cGy with measurement deviation 1.92 %, 0.54 %, 1.90 %, 1.30 %, 1.73 % and 0.72 % correspondingly. These values are within the measurement tolerance range of 3 %. Thus, the radiotherapy electron beam output linear acceleration (LINAC) at Andalas University hospital (RS Unand) has complied with standard TRS 398 IAEA.

Keywords: electron beam, photon beam, water phantom, LINAC, RS Unand

I. PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan metode pengobatan penyakit-penyakit keganasan seperti kanker dengan menggunakan radiasi pengion (Susworo, 2007). Proses ionisasi sebagai hasil interaksi radiasi pengion dengan sel kanker akan membuat rantai DNA kanker putus sehingga mematikan jaringan tersebut (Williams dan Thwaites, 1993). Dosis radiasi yang diberikan pada sel kanker harus terdistribusi secara merata dan sebisa mungkin minim dosis radiasi yang jatuh di luar lapangan penyinaran. Rentang energi elektron untuk keperluan radioterapi adalah (6-29) MeV (Khan, 2005).

Linear Accelerator (LINAC) adalah salah satu pesawat teleterapi yang dirancang untuk mempercepat pergerakan elektron secara linier sehingga dapat menghasilkan berkas foton dan elektron (Khan, 2005). Berkas foton biasanya memiliki energi 6 MV dan 10 MV, sedangkan berkas elektron memiliki energi (4, 6, 9, 12, 15 dan 18) MeV. Berkas foton digunakan untuk menyinari kanker yang berada di dalam jaringan tubuh misalnya kanker payudara, kanker servix dan kanker nasofaring, sedangkan berkas elektron biasanya digunakan untuk menyinari kasus kanker kulit (Pratiwi, 2010).

Pengukuran dan perhitungan dosis pada radioterapi harus dilakukan dengan tepat dan sesuai standar pada protokol *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. IAEA merekomendasikan agar dosis yang diberikan pada terapi pasien memiliki ketidakakuratan yang dapat ditoleransi pada jangkauan $\pm 5\%$, bahkan keluaran radiasinya bisa sampai $\pm 3\%$. Jika keluaran radiasi yang diperoleh $> 3\%$, maka akan memberikan dampak negatif pada pasien.

Rahayu dkk. (2015) telah melakukan penelitian tentang analisis keluaran berkas radiasi elektron LINAC. Analisis dilakukan dengan variasi energi 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV menggunakan protokol TRS 398. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kedalaman maksimum berkas elektron 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV pada luas lapangan (10×10) cm mengalami penyimpangan yang bervariasi namun masih dalam batas toleransi yang ditetapkan yaitu $\pm 3\%$.

Penelitian tentang analisis keluaran berkas elektron pesawat terapi LINAC perlu dilakukan di RS Unand Padang. Hal ini dikarenakan pesawat terapi LINAC di RS Unand diproduksi pada tahun 2017 dan belum pernah digunakan untuk pengobatan pasien. Sebelum LINAC digunakan, maka perlu dilakukan analisis keluaran berkas radiasi terlebih dahulu agar dosis radiasi yang diterima pasien sesuai dengan yang dibutuhkan dan sesuai dengan asas proteksi radiasi. Analisis dilakukan dengan mengukur keluaran berkas elektron pesawat terapi LINAC (tipe CX 6264) pada energi 4, 6, 9, 12, 15 dan 18 MeV dan membandingkan hasilnya dengan protokol TRS 398 IAEA dimana 1 cGy sama dengan 1 *Monitor Unit* (MU) dengan batas toleransi $\pm 3\%$.

II. METODE

Penelitian dilakukan di Instalasi Radioterapi RS Unand dan Laboratorium Nuklir Jurusan Fisika Unand. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah pesawat terapi LINAC tipe CX 6264 sebagai sumber untuk menghasilkan berkas elektron, fantom air sebagai pengganti pasien untuk mengukur keluaran berkas elektron, *blue phantom* digunakan sebagai pengganti pasien pada pengukuran *Percentage Depth Dose* (PDD). Elektrometer digunakan sebagai pembaca besar muatan yang mengalir pada *ion chamber plane parallel*. *Ion chamber* digunakan untuk mengukur keluaran berkas radiasi elektron. Selanjutnya *ion chamber reference* dan *field* sebagai detektor dalam pengukuran PDD dan *Computer Control Unit* (CCU) sebagai pengontrol sekaligus penghubung antara detektor *ion chamber reference* dan *field* dengan komputer pembaca pada saat pengukuran PDD.

2.1 Pengukuran PDD Berkas Elektron

Pengukuran PDD dilakukan menggunakan *blue phantom* yang telah berisi *aquades*. *Blue phantom* tersebut dihubungkan dengan *reference detector* dan *field detector*. Kedua detektor disambungkan ke *Computer Control Unit* (CCU) yang telah terhubung ke komputer pembaca. Selanjutnya dilakukan penyinaran pada variasi energi (4, 6, 9, 12, 15 dan 18) MeV. Pengukuran PDD dilakukan untuk menentukan nilai-nilai kedalaman referensi ekuivalen (z_{ref}) yang digunakan dalam pengukuran keluaran berkas elektron.

2.2 Pengukuran Faktor Koreksi

Penentuan nilai keluaran berkas radiasi elektron pada pesawat terapi LINAC memerlukan beberapa faktor koreksi. Faktor koreksi tersebut antara lain:

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

Pengukuran faktor koreksi ini dilakukan dengan cara mengukur nilai tekanan udara pada saat pengukuran berlangsung (P) dengan tekanan referensi (P_0) sebesar 101,325 kPa dan nilai temperatur rongga *chamber* (T) dengan temperatur referensi (T_0) sebesar 20°C. Nilai faktor koreksi k_{TP} dihitung menggunakan Persamaan (1)

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

2. Elektrometer (k_{elec})

Faktor kalibrasi elektrometer biasanya bernilai 1 yang berarti bahwa *chamber* dikalibrasi bersamaan dengan elektrometer.

3. Efek polaritas (k_{pol})

Pada berkas elektron energi tinggi dilakukan pengukuran pada polaritas positif (M_+), polaritas negatif (M_-) dan polaritas yang rutin digunakan (M). Nilai efek polaritas k_{pol} dihitung menggunakan Persamaan (2)

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \tag{2}$$

4. Rekombinasi ion (k_s)

Faktor rekombinasi ion ditentukan dengan mengukur jumlah muatan pada tegangan yang biasa digunakan (M_1) beserta tegangan referensinya (M_2). Faktor rekombinasi ion juga dipengaruhi oleh nilai koefisien kuadratik (a_0 , a_1 dan a_2). Nilai rekombinasi ion k_s dihitung menggunakan Persamaan (3)

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

5. Faktor koreksi respon detektor ionisasi ($k_{Q,Q0}$)

Faktor koreksi respon detektor ionisasi adalah perbedaan antara respon detektor ionisasi dalam kualitas berkas yang digunakan sebagai kalibrasi detektor terhadap kualitas berkas elektron. Faktor koreksi ini dapat dilihat pada Tabel 7.III TRS 398 sebagai fungsi dari kualitas berkas R_{50} .

2.3 Pengukuran Keluaran Berkas Radiasi Elektron

Pengukuran keluaran berkas radiasi elektron pada pesawat terapi LINAC dilakukan menggunakan detektor *ion chamber plane parallel* pada fantom air yang diatur dengan *Source to Surface Distance* (SSD) 100 cm. Pengukuran dilakukan pada luas lapangan penyinaran dan perangkat aplikator (10 x 10) cm dengan variasi energi (4, 6, 9, 12, 15 dan 18) MeV. Penyinaran dilakukan sebanyak lima kali pada tegangan +300 V, -300 V dan +100 V. Nilai keluaran berkas elektron pada kedalaman referensi (z_{ref}) dihitung menggunakan Persamaan (4) dan pada kedalaman maksimum (z_{max}) dihitung menggunakan Persamaan (5)

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w,Q0} \cdot k_{q,Q0} \tag{4}$$

$$D_{w,Q(max)} = 100 D_{w,Q} / PDD_{(z_{ref})} \tag{5}$$

$D_{w,Q}$ adalah dosis serap pada kedalaman z_{ref} (cGy/MU), M_Q adalah dosimeter pembaca (nC/MU), $N_{D,w,Q0}$ adalah koefisien kalibrasi dalam hal dosis serap air pada kualitas referensi $Q0$. Nilai $N_{D,w,Q0}$ pada ion chamber plane parallel adalah $8,663 \times 10^7$ Gy/C. $PDD_{(z_{ref})}$ adalah nilai persentase untuk pengukuran di kedalaman z_{ref} (%) dan $D_{w,Q(max)}$ adalah dosis serap pada kedalaman maksimum (cGy/MU).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Nilai Pengukuran PDD pada Kedalaman Referensi Ekuivalen

Hasil pengukuran nilai PDD pada berkas elektron ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pengukuran menunjukkan nilai PDD pada masing-masing kedalaman referensi berbeda-beda. Nilai PDD yang diperoleh berbanding lurus terhadap kedalaman referensi. Semakin besar nilai kedalaman referensi suatu berkas elektron, maka semakin besar nilai PDD yang diperoleh. Sebaliknya, semakin kecil nilai kedalaman referensi suatu berkas elektron, maka semakin kecil nilai PDD yang diperoleh (Khan, 2005).

Tabel 1 Nilai PDD elektron pada kedalaman referensi ekuivalen (z_{ref})

No	Energi (MeV)	z_{ref} (g/cm ²)	PDD(%)
1	4	0,728	96,56
2	6	1,358	96,91
3	9	2,066	96,85
4	12	2,912	98,65
5	15	3,686	98,76
6	18	4,412	98,92

3.2 Nilai Pengukuran Faktor-faktor Koreksi Berkas Elektron

Nilai faktor-faktor koreksi digunakan sebagai parameter untuk menentukan keluaran berkas elektron pada kedalaman referensi ekuivalen dengan variasi energi (4, 6, 9, 12, 15 dan 18) MeV. Akan tetapi, tidak semua nilai faktor koreksi terdapat pada TRS 398 IAEA. Faktor koreksi yang tidak terdapat pada TRS 398 IAEA yaitu efek polaritas (k_{pol}) dan rekombinasi ion (k_s). Oleh karena itu, dilakukan pengukuran jumlah muatan berkas elektron rata-rata terlebih dahulu untuk menentukan nilai faktor koreksi efek polaritas dan rekombinasi ion. Nilai faktor koreksi efek polaritas menggunakan nilai muatan pada tegangan +300 V dan -300 V, sedangkan nilai faktor koreksi rekombinasi ion menggunakan nilai muatan pada tegangan +300 V dan +100 V. Data pengukuran jumlah muatan rata-rata berkas elektron ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil pengukuran faktor-faktor koreksi berkas elektron ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2 Data pengukuran jumlah muatan untuk berkas elektron pada tekanan 994 hPa, temperatur 19°C dan kelembaban 50%

No	Energi (MeV)	V (Volt)	M (nC/100MU)
1	4	+300	11,22
		-300	11,21
		+100	11,09
2	6	+300	11,78
		-300	11,76
		+100	11,62
3	9	+300	12,10
		-300	12,13
		+100	11,98
4	12	+300	12,35
		-300	12,38
		+100	12,21
5	15	+300	12,54
		-300	12,56
		+100	12,41
6	18	+300	12,59
		-300	12,56
		+100	12,46

Nilai faktor koreksi tekanan, temperatur dan kelembaban (k_{TP}) yang telah diperoleh pada setiap energi bernilai sama yaitu 1,016. Hal ini dikarenakan nilai k_{TP} hanya dipengaruhi oleh parameter tekanan, temperatur dan kelembaban yang ketiganya bernilai konstan dalam penelitian ini. Selanjutnya nilai faktor koreksi efek polaritas (k_{pol}) bernilai sama pada energi (6, 9, 12, 15 dan 18) MeV yaitu 0,999 dan berbeda pada energi 4 MeV. Hal ini dikarenakan jumlah muatan berkas elektron pada energi 4 MeV jauh lebih kecil dibandingkan energi (6, 9, 12, 15 dan 18) MeV, sehingga nilai k_{pol} pada energi 4 MeV menjadi lebih besar. Selanjutnya nilai faktor rekombinasi ion (k_s) yang telah diperoleh berbeda pada setiap energi. Hal ini dikarenakan jumlah muatan elektron yang mengalir ke detektor pada setiap energi berbeda. Nilai k_s juga dipengaruhi oleh nilai koefisien kuadrat yang dapat dilihat pada Tabel 4. VII TRS 398 IAEA.

Tabel 3 Nilai faktor-faktor koreksi keluaran berkas elektron

No	Faktor Koreksi	Energi (MeV)					
		4	6	9	12	15	18
1	k_{TP}	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016
2	k_{pol}	1,001	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
3	k_s	1,005	1,006	1,006	1,007	1,006	1,007
4	k_{elec}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5	k_{q,q_0}	0,955	0,937	0,920	0,912	0,904	0,892
6	$PDDz_{ref}$	96,56	96,91	96,85	98,65	98,76	98,92

Semua nilai faktor-faktor koreksi keluaran berkas elektron bernilai ≈ 1 . Hal ini berarti bahwa nilai faktor-faktor koreksi pada penelitian telah sesuai dengan standar yang diterapkan pada TRS 398 IAEA yaitu ≈ 1 .

3.3 Nilai Pengukuran Keluaran Berkas Elektron

Hasil pengukuran keluaran berkas elektron pada variasi energi (4, 6, 9, 12, 15 dan 18) MeV ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai kedalaman referensi yang digunakan pada setiap energi berbeda dan dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil keluaran berkas elektron yang telah diperoleh pada energi (4, 6, 9, 12, 15 dan 18) MeV menunjukkan bahwa hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Rahayu (2015). Keluaran berkas elektron pada setiap energi sekitar 1 cGy/MU. Nilai minimal deviasi keluaran berkas elektron diperoleh pada energi 6 MeV (0,54 %) dan nilai maksimal pada energi 4 MeV (1,92 %). Akan tetapi, secara keseluruhan nilai deviasi keluaran berkas elektron pada setiap energi masih berada dalam batas toleransi TRS 398 IAEA yaitu ± 3 %.

Tabel 4 Penentuan keluaran berkas elektron

No	Energi (MeV)	Penentuan Keluaran pada z_{ref} (cGy/MU)	Penentuan Keluaran pada z_{max} (cGy/MU)	Deviasi Keluaran pada z_{max} terhadap MU (%)
1	4	0,947	0,981	1,92
2	6	0,974	1,005	0,54
3	9	0,987	1,019	1,90
4	12	0,999	1,013	1,30
5	15	1,004	1,017	1,73
6	18	0,996	1,007	0,72

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa keluaran berkas radiasi elektron pesawat terapi LINAC di RS Universitas Andalas telah sesuai dengan standar TRS 398 IAEA. Nilai keluaran berkas elektron yang diperoleh per 1 MU dengan variasi energi (4, 6, 9, 12, 15 dan 18) MeV masing-masing adalah (0,981, 1,005, 1,019, 1,013, 1,017 dan 1,007) cGy dengan penyimpangan pengukuran 1,92%, 0,54%, 1,90%, 1,30%, 1,73% dan 0,72%. Penyimpangan masing-masing berkas masih dalam batas toleransi TRS 398 IAEA yaitu ± 3 %.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of Physicists in Medicine, "Comprehensive QA for Radiation Oncology : Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group-40", 1994, Medical Physics, New York.
- IAEA Safety Report, "Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy", 2000, No 398, IAEA Library, Austria.
- Khan, M.F., *The Physics of Radiation Therapy The 4th edition*, (Lippincott Williams and Wilkins, New York, 2005), hal. 339.
- Pratiwi, R.F, "Analisis Keluaran Berkas Radiasi Foton 10 MV pada Pesawat Teleterapi Linear Accelerator", Skripsi S1, Universitas Diponegoro, 2010.

Rahayu, I.I., Nurdin, W.B., dan Samad, B.A., “Analisis Dosis Output Berkas Elektron Pesawat Teleterapi Linear Accelerator (Linac) Tipe Varian HCX 6540 Menggunakan TRS 398”, Skripsi S1, UNHAS, 2015.

Susworo, R., *Dasar-Dasar Radioterapi*, (UI Press, Jakarta, 2007), hal. 8-10.

Williams, J.R., dan Thwaites, D.I., *Radiotherapy Physics in Practice*, (Oxford University Press, New York, 1993), hal 2.