

Terbit *Online* pada laman web : <http://jif.fmipa.unand.ac.id/>

Jurnal Ilmu Fisika

| ISSN (Print) 1979-4657 | ISSN (Online) 2614-7386 |



ANALISIS KELUARAN BERKAS RADIASI SINAR-X PESAWAT TERAPI LINAC BERDASARKAN TRS 398 IAEA PADA FANTOM AIR DI INSTALASI RADIOTERAPI RS UNIVERSITAS ANDALAS

Dian Milvita*, Alimin Mahyudin, Mona Vadila

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas
Kampus UNAND Limau Manis, Padang, 25163

*Korespondensi ke: dianmilvita74@gmail.com

(Diterima: 26 Juli 2018; Direvisi: 26 Agustus 2018; Diterbitkan: 01 September 2018)

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis keluaran berkas sinar-X 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 6 MV dan 10 MV dengan ukuran luas lapangan penyinaran (10 x 10) cm dan teknik penyinaran *Source to Surface Distance* (SSD) 100 cm. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada berkas sinar-X energi 6 MV dan 10 MV didapatkan nilai keluaran per 1 MU sebesar 1,026 cGy dan 1,025 cGy dengan deviasi pengukuran 2,60 % dan 2,56 %, nilai ini masih berada dalam rentang toleransi pengukuran yaitu ± 3 %. Dengan demikian, keluaran berkas radiasi sinar-X pesawat terapi LINAC di Rumah Sakit Universitas Andalas (RS Unand) telah sesuai standar TRS 398 IAEA.

Kata kunci: berkas sinar-X, fantom air, LINAC, RS Unand

ABSTRACT

An analysis of the radiation X-rays beam linear acceleration (LINAC) has been conducted on the water phantom. This analysis aims to determine the condition of the LINAC therapy during use with reference to the value of 1 cGy equal to 1 MU obtained from chamber ionization analysis, temperature, pressure, polarity effects and ion recombination. Research conducted with 6 MV and 10 MV energy variations with the size of the radiation field is (10 x 10) cm and radiation technique Source to Surface Distance (SSD) 100 cm. The result of the analysis showed that 6 MV and 10 MV X-ray beam obtained output value per 1 MU equal to 1.026 cGy and 1.025 cGy with deviation measurement 2.60 % and 2.56 %, this value is still in measurement tolerance range of ± 3 % . Thus, the radiotherapy X-ray beam output linear acceleration (LINAC) at Andalas University hospital has complied with standard TRS 398 IAEA.

Keywords: X-rays, water phantom, LINAC, RS UNAND

1. PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan metode pengobatan penyakit-penyakit keganasan dengan menggunakan radiasi pengion (Susworo, 2007). Proses ionisasi sebagai hasil interaksi radiasi pengion dengan sel kanker akan membuat rantai DNA kanker tersebut putus sehingga mematikan jaringan (Williams dan Thwaites, 1993). Oleh karena itu, diusahakan agar dosis radiasi yang diberikan pada sel kanker harus terdistribusi secara merata dan sebisa mungkin meminimalisir dosis radiasi yang jatuh di luar lapangan penyinaran. Keluaran berkas elektron dengan energi tinggi dapat digunakan untuk terapi kanker yang dekat pada permukaan atau ditembakkan ke sebuah target untuk menghasilkan sinar-X energi tinggi yang dapat digunakan untuk terapi kanker pada kedalaman tertentu.

Linear Accelerator (LINAC) adalah salah satu contoh pesawat teleterapi yang dirancang untuk mempercepat pergerakan elektron secara linier sehingga dapat menghasilkan berkas foton dan elektron (Khan, 2005). Berkas foton biasanya terdiri dari variasi energi 6 MV dan 10 MV, sedangkan berkas elektron biasanya terdiri dari variasi energi (4, 6, 9, 12, 15 dan 18) MeV. Berkas foton biasanya 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.

Pengukuran dosis radiasi pada radioterapi harus dilakukan dengan tepat dan sesuai standar. Perhitungan dosis juga harus mengikuti protokol *Technical Report Series* (TRS) 398 yang dikeluarkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) pada akhir tahun 2000. TRS 398 merupakan 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 radiasi yang diberikan dalam terapi pasien memiliki deviasi $\pm 3\%$.

Penelitian tentang analisis keluaran berkas radiasi pesawat terapi LINAC perlu dilakukan di Instalasi Radioterapi RS Unand, Padang. Pesawat terapi LINAC RS Unand diproduksi pada tahun 2017 dan belum pernah beroperasi. Jadi, sebelum LINAC di RS beroperasi maka perlu dilakukan analisis keluaran berkas radiasi terlebih dahulu agar dosis radiasi yang diterima pasien sesuai dengan yang dibutuhkan. Penelitian dibatasi pada variasi energi 6 MV dan 10 MV dengan luas lapangan penyinaran (10 x 10) cm dan teknik penyinaran *Source to Surface Distance* (SSD) 100 cm. Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan standar pada protokol TRS 398 IAEA.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan bahan penunjang dalam penelitian ini antara lain: pesawat terapi LINAC yang digunakan sebagai alat radioterapi untuk sumber radiasi sinar-X, fantom air yang digunakan sebagai pengganti pasien, bilik ionisasi farmer yang digunakan untuk mengukur keluaran berkas radiasi sinar-X, elektrometer yang digunakan sebagai pembaca muatan yang mengalir ke detektor bilik ionisasi, dan 10 liter *aquades* yang digunakan untuk mengisi fantom air dan *blue phantom*. Pengukuran keluaran berkas radiasi sinar-X pada pesawat terapi LINAC dilakukan pada energi 6 MV dan 10 MV dalam medium fantom air dengan kondisi SSD 100 cm dan luas lapangan penyinaran (10 x 10) cm.

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengukuran keluaran berkas radiasi sinar-X adalah sebagai berikut:

2.1. Pengukuran Faktor Koreksi Keluaran Berkas Sinar-X

Penentuan nilai keluaran berkas radiasi sinar-X 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).

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

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 kuadrat (a_0 , a_1 dan a_2). Nilai rekombinasi ion k_s dihitung menggunakan Persamaan (3)

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

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 di TRS 398 sebagai fungsi dari kualitas berkas R_{50} .

2.2 Pengukuran Keluaran Berkas Radiasi Sinar-X

Pengukuran keluaran berkas radiasi sinar-X 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 (10 x 10) cm dengan variasi energi 6 MV dan 10 MV. 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).

3. HASIL DAN DISKUSI

Nilai Pengukuran Faktor-faktor Koreksi Berkas Sinar-X

Nilai faktor-faktor koreksi digunakan sebagai parameter untuk menentukan keluaran berkas sinar-X pada kedalaman referensi ekuivalen dengan variasi energi 6 MV dan 10 MV. 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 sinar-X 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 sinar-X ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pengukuran faktor-faktor koreksi berkas sinar-X ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Data pengukuran jumlah muatan untuk berkas sinar-X pada tekanan 994 hPa, temperatur 19°C dan kelembaban 50%

No	Energi (MV)	V (Volt)	M (nC/100MU)
1	6	+300	14,07
		-300	14,11
		+100	13,98
2	10	+300	15,74
		-300	15,76
		+100	15,62

Berdasarkan Tabel 1 nilai jumlah muatan dengan koreksi suhu, tekanan dan kelembaban pada tegangan +300 V ($M_{(+300)}$) dan tegangan -300 V ($M_{(-300)}$) setiap energi sinar-X digunakan untuk menentukan nilai faktor koreksi polaritas (k_{pol}) menggunakan Persamaan 2. Selanjutnya untuk menentukan nilai faktor koreksi rekombinasi ion digunakan nilai jumlah muatan pada tegangan +300 V ($M_{(+300)}$) dan tegangan +100 V ($M_{(+100)}$). Nilai rekombinasi ion (k_s) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

Tabel 2 Nilai faktor-faktor koreksi keluaran berkas sinar-X

No	Faktor Koreksi	Energi (MV)	
		6	10
1	k_{TP}	1,016	1,016
2	k_{pol}	0,999	0,999
3	k_s	1,004	1,004
4	k_{elec}	1,000	1,000
5	k_{q,q_0}	0,993	0,985
6	$PDD_{z,ref}(\%)$	66,90	74,20

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai faktor koreksi suhu, tekanan 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 suhu, tekanan dan kelembaban yang memiliki nilai konstan. Jadi, karena nilai parameter yang digunakan tersebut sama dan konstan pada setiap energi, maka nilai k_{TP} yang diperoleh juga sama. Nilai k_{TP} dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1. Selanjutnya nilai faktor koreksi efek polaritas (k_{pol}) bernilai sama pada setiap energi yaitu 0,999. Hal ini dikarenakan perbandingan jumlah muatan berkas sinar-X (Tabel 1) yang diperoleh pada tegangan +300 V dan -300 V (energi 6 MV) hampir sama dengan perbandingan jumlah muatan berkas sinar-X energi 10 MV. Nilai faktor koreksi efek polaritas (k_{pol}) dihitung menggunakan Persamaan 2. Selanjutnya, nilai faktor koreksi rekombinasi ion (k_s) bernilai sama dengan pada setiap energi. Hal ini dikarenakan perbandingan jumlah muatan elektron yang mengalir ke detektor pada tegangan +300 V dan +100 V hampir sama pada setiap energi. Nilai k_s pada setiap energi dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 dengan nilai koefisien kuadrat yang digunakan dapat dilihat pada TRS 398 IAEA. Selanjutnya nilai faktor kalibrasi elektrometer (k_{elec}) adalah 1, berarti bahwa *ionisasi chamber* dikalibrasi bersamaan dengan elektrometer, dan nilai $PDD_{z,ref}$ berkas sinar-X pada setiap energi diperoleh dari pihak Rumah Sakit. Sedangkan nilai faktor koreksi respon detektor ionisasi (k_{q,q_0}) dapat dilihat pada Tabel 6.III TRS 398 IAEA. Detektor *ionisasi chamber* yang digunakan yaitu tipe Scdx-WellhÖfer IC 70 Farmer. Semua nilai faktor-faktor koreksi keluaran berkas sinar-X pada energi 6 MV dan 10 MV bernilai ≈ 1 . Hal ini berarti bahwa nilai faktor koreksi yang telah diperoleh pada penelitian telah sesuai dengan standar yang ditetapkan pada TRS 398 IAEA. Selanjutnya, nilai perhitungan faktor koreksi yang diperoleh digunakan sebagai parameter dalam perhitungan keluaran berkas radiasi sinar-X untuk variasi energi 6 MV dan 10 MV.

Nilai Pengukuran Keluaran Berkas Sinar-X

Pengukuran keluaran berkas radiasi sinar-X pada pesawat terapi LINAC dilakukan untuk mengetahui kondisi pesawat terapi LINAC selama digunakan tetap mengacu pada nilai 1 cGy sama dengan 1 MU, agar berkas radiasi yang keluar sesuai dengan kebutuhan pasien. Hasil pengukuran dan perhitungan keluaran berkas radiasi sinar-X dengan variasi energi 6 MV dan 10 MV dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Penentuan keluaran berkas sinar-X

No	Energi (MV)	Penentuan Keluaran pada z_{ref} (cGy/MU)	Penentuan Keluaran pada z_{max} (cGy/MU)	Deviasi Keluaran pada z_{max} terhadap MU (%)
1	6	0,686	1,026	2,60
2	10	0,761	1,025	2,56

Hasil perhitungan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pada energi 6 MV diperoleh nilai keluaran berkas sinar-X pada kedalaman z_{ref} sebesar 0,686 cGy/MU dan pada kedalaman

z_{max} sebesar 1,026 cGy/MU. Dari hasil yang diperoleh berarti bahwa nilai keluaran berkas sinar-X maksimal pada pesawat terapi LINAC di RS Unand adalah 1,026 cGy/MU. Berdasarkan TRS 398 IAEA nilai keluaran berkas sinar-X seharusnya 1cGy/MU, berarti nilai keluaran berkas sinar-X pada energi 6 MV memiliki penyimpangan sebesar 2,60 %. Selanjutnya, pada energi 10 MV diperoleh nilai keluaran berkas sinar-X pada kedalaman z_{ref} sebesar 0,761 cGy/MU dan pada kedalaman z_{max} sebesar 1,026 cGy/MU. Dari hasil yang diperoleh berarti bahwa nilai keluaran berkas sinar-X maksimal pada pesawat terapi LINAC di RS Unand adalah 1,025 cGy/MU. Berdasarkan TRS 398 IAEA nilai keluaran berkas sinar-X seharusnya 1 cGy/MU, berarti nilai keluaran berkas sinar-X pada energi 10 MV memiliki penyimpangan sebesar 2,56 %. Akan tetapi, hasil keluaran berkas sinar-X yang diperoleh masih berada dalam batas toleransi TRS No. 398 IAEA yaitu $\pm 3\%$.

4. KESIMPULAN

Keluaran berkas radiasi sinar-X pada pesawat terapi LINAC di RS Unand telah sesuai dengan standar TRS 398 IAEA. Hal ini dikarenakan keluaran berkas radiasi sinar-X masih mengacu pada nilai 1 cGy/MU dengan batas toleransi masih dalam rentang $\pm 3\%$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada FMIPA Unand yang telah membiayai penelitian melalui dana PNPB tahun Anggaran 2018 dan pihak Instalasi Radioterapi RS Unand untuk fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA Safety Report, "Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy", 2000, No 398, IAEA Library, Austria.
2. Khan, M.F., *The Physics of Radiation Therapy*, The 4th edition, (Lippincott Williams and Wilkins, New York, 2005), hal. 339.
3. Susworo, R., *Dasar-Dasar Radioterapi*, (UI Press, Jakarta, 2007), hal. 8-10.
4. Williams, J.R., dan Thwaites, D.I., *Radiotherapy Physics in Practice*, (Oxford University Press, New York, 1993), hal 2.