

HUBUNGAN ANTARA LAJU DOSIS SERAP AIR DENGAN LAPANGAN RADIASI BERKAS ELEKTRON

C. Tuti Budiantari, Nurman R.

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN

ABSTRAK

Makalah ini menguraikan hubungan antara laju dosis serap air dengan lapangan radiasi untuk berkas elektron dengan energi nominal 10, 12 dan 15 MeV dari pesawat pemercepat linear medik Elekta nomor seri 151614 milik Rumah Sakit Adam Malik, Medan. Pengukuran persentase dosis di kedalaman dilakukan di dalam fantom air menggunakan sistem dosimeter PTW Tandem dengan detektor ionisasi volume 0,125 cc pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm. Penentuan laju dosis serap di air dan faktor koreksi rekombinasi ion ditentukan menggunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe NE 2571 nomor seri 2491 yang dirangkaikan dengan elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B nomor seri 1182 pada jarak sumber radiasi ke permukaan 100 cm dengan lapangan radiasi yang dibentuk oleh aplikator 6 cm × 6 cm, 10 cm × 10 cm, 14 cm × 14 cm dan 20 cm × 20 cm. Hasil pengukuran dihitung berdasarkan publikasi IAEA Technical Report Series no. 277. Hasil yang diperoleh menunjukkan laju dosis serap berubah dalam 4 % dengan lapangan radiasi

Kata kunci : laju dosis serap air; Technical Report Series no. 277, pesawat pemercepat linier medik, protokol dosimetri, detektor ionisasi dan elektrometer

ABSTRACT

RELATIONSHIPS BETWEEN ABSORBED DOSE TO WATER RATE AND FIELD SIZE FOR ELECTRON BEAM FROM AN ELEKTA LINEAR ACCELERATOR MACHINE. This paper describes the relationships between absorbed dose to water rate and field sizes for electron beams with nominal energies of 10, 12 and 15 MeV from an Elekta S/N15614 linear accelerator machine owned by Adam Malik hospital. Measurement of percentage depth doses for every electron beam energy was carried out inside a water phantom using a PTW Tandem dosimeter with a 0.125 cc ionization chamber at a constant source to surface distance of 100 cm. Measurement of ionization to determine absorbed dose to water rate and ion recombination correction factor has been carried out by using a 0.6 cc ionization chamber type of NE 2571 serial number 2491 connected to a Farmer electrometer type of 2570/1 B serial number 1182 at the source to the phantom surface distance of 100 cm with field sizes defined by 6 cm × 6 cm, 10 cm × 10 cm, 14 cm × 14 cm and 20 cm × 20 cm applicators. The measurement results were calculated based on the IAEA publication Technical Reports Series no. 277. The result obtained showed that the absorbed doses rate changed of 4 % with the field sizes .

Keywords : absorbed dose rate to water; Technical Report Series no. 277, linear accelerator machine, dosimetry protocol, ionization chamber and electrometer

PENDAHULUAN

Berkas foton dan elektron untuk keperluan radioterapi dapat dihasilkan dari sebuah pesawat pemercepat linear medik. Tidak seperti halnya dengan berkas foton yang diperoleh dari berkas elektron yang diarahkan ke suatu target, berkas elektron dapat digunakan langsung. Dengan

demikian produksi berkas elektron memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada berkas foton.

Karena berkas elektron tidak berinteraksi dengan target, maka spektrumnya mendekati berkas monoenergi. Elektron sebagai partikel bermuatan lebih banyak berinteraksi dengan udara dibanding dengan berkas foton. Hal ini menyebabkan terjadinya degradasi energi ketika elektron

merambat melewati filter perata (*flattening filter*) dan juga bertambahnya hamburan sudut (*angular scattering*).¹

Untuk memperoleh berkas radiasi pada bagian tepi yang relatif baik, maka berkas elektron tersebut perlu dikolimasi sedekat mungkin dengan permukaan kulit pasien menggunakan sebuah aplikator elektron. Aplikator mempunyai beberapa bidang datar untuk mengkolimasi elektron dalam beberapa tingkat. Berkas elektron biasanya digunakan pada pasien dengan jarak sumber radiasi ke permukaan tubuh yang tetap yaitu 100 cm dengan jarak ujung aplikator ke permukaan tubuh sekitar 5 cm. Pada umumnya pesawat pemercepat linier medik memiliki beberapa buah aplikator dengan ukuran yang bervariasi. Beberapa laporan menyatakan tidak ada kecenderungan yang umum mengenai pengaruh lapangan radiasi terhadap keluaran. Sebagian besar laporan menyatakan bahwa perubahan laju dosis serap air terhadap lapangan radiasi adalah $\pm 5\%$. Namun ada laporan yang mengungkapkan variasi yang lebih besar, bergantung pada pesawat dan pemilihan aplikator.²

Pesawat pemercepat linear Elekta nomor seri 151614 adalah pesawat teleterapi yang dimiliki oleh Rumah Sakit Adam Malik, Medan. Pesawat ini dilengkapi dengan aplikator pembentuk lapangan radiasi 6 cm \times 6 cm, 10 cm \times 10 cm, 14 cm \times 14 cm dan 20 cm \times 20 cm.

Makalah ini menguraikan hubungan antara laju dosis serap air dengan lapangan radiasi untuk energi nominal berkas elektron 10, 12 dan 15 MeV yang dipancarkan dari pesawat pemercepat linier medik Elekta/151614 milik Rumah Sakit Adam Malik, Medan. Selain itu diuraikan juga perbandingan hubungan tersebut di atas untuk berkas elektron dengan energi nominal yang sama dari pesawat pemercepat linier medik Elekta nomor seri 1123 dan 151731, masing-masing milik Rumah Sakit Kanker Dharmais dan Rumah Sakit Umum Pusat Nasional dr. Cipto Mangunkusumo.

Kualitas Radiasi Berkas Elektron

Untuk mengetahui distribusi masing-masing energi berkas elektron di dalam tubuh maka dilakukan pengukuran kurva persentase ionisasi berkas elektron di dalam air. Dengan kurva ini maka akan diperoleh parameter dosimetri penting yang digunakan dalam radioterapi. Parameter tersebut antara lain kedalaman ionisasi mencapai maksimum R_{100} , kedalaman ionisasi mencapai 80 % dari nilai maksimum R_{50} , kedalaman ionisasi mencapai 50 % dari nilai maksimum R_{50} dan rentang praktis elektron R_p .

Berdasarkan parameter R_{50} dan R_p maka dengan

persamaan empiris akan diperoleh energi yang paling mungkin E_{p0} , energi rata-rata E_0 dan energi di kedalaman E_z . Persamaan tersebut dapat dilihat pada Persamaan 1-3.³

$$E_{p0} = 0,22 + 1,98R_p + 0,0025R_p^2 \text{ MeV} \quad (1)$$

$$E_0 = 2,33R_{50} \text{ MeV} \quad (2)$$

$$E_z = E_0(1 - z/R_p) \text{ MeV} \quad (3)$$

Laju Dosis Serap Air Berkas Elektron

Di samping parameter tersebut parameter dosimetri lain yang sangat penting adalah laju dosis serap air dari berkas elektron pada kedalaman acuan. Untuk itu maka keluaran dari pesawat tersebut harus diukur menggunakan dosimeter yang memiliki ketertelusuran ke laboratorium standar primer. Laju dosis serap suatu berkas elektron pada kedalaman acuan dapat ditentukan menggunakan persamaan⁴

$$D_w(P_{eff}) = M_u N_D S_{(w,air)_u} P_u \quad (4)$$

dengan

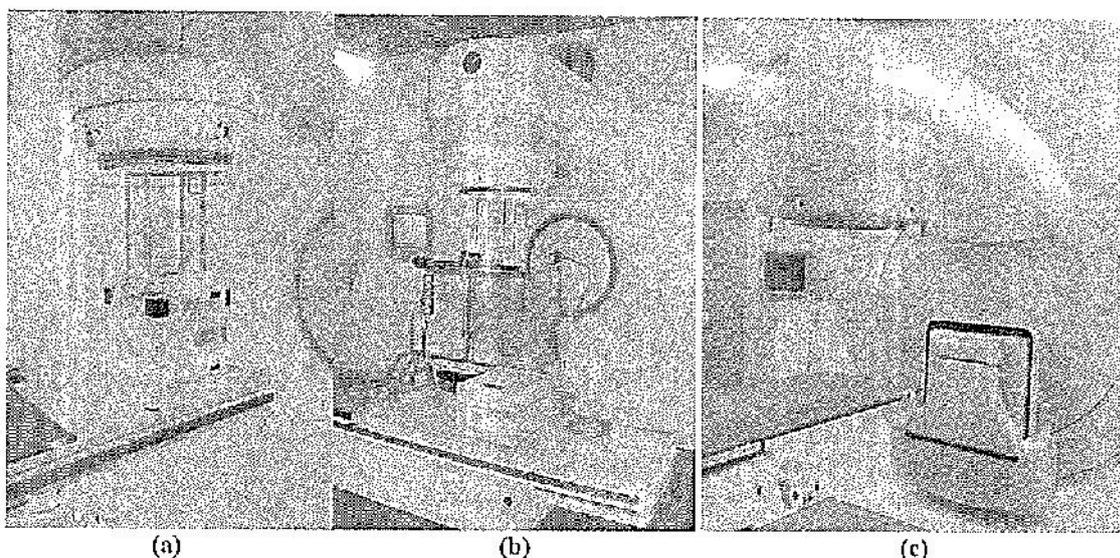
- $D_w(P_{eff})$: laju dosis serap pada titik efektif (cGy/MU)
- M_u : bacaan dosimeter terkoreksi rekombinasi ion, tekanan udara dan temperatur (nC/Mu)
- N_D : faktor kalibrasi dosis serap rongga udara detektor (cGy/nC)
- $S_{(w,air)_u}$: nisbah daya henti masa air terhadap udara berkas elektron
- P_u : faktor koreksi perturbasi

Kedalaman acuan menggunakan protokol TRS no. 277 ini adalah pada kedalaman dosis mencapai maksimum, $R_{100} + \frac{1}{2}$ jari-jari detektor

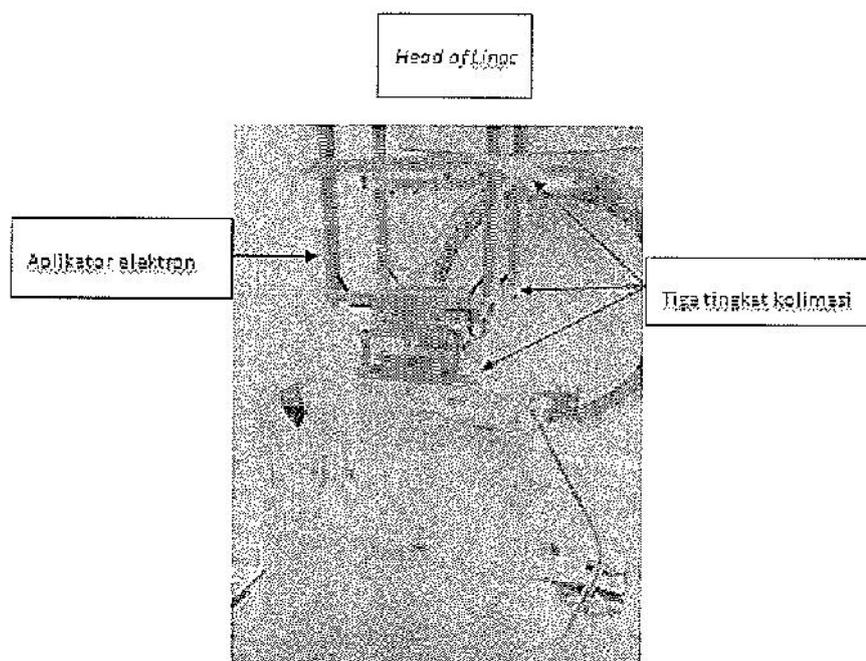
METODE

Peralatan

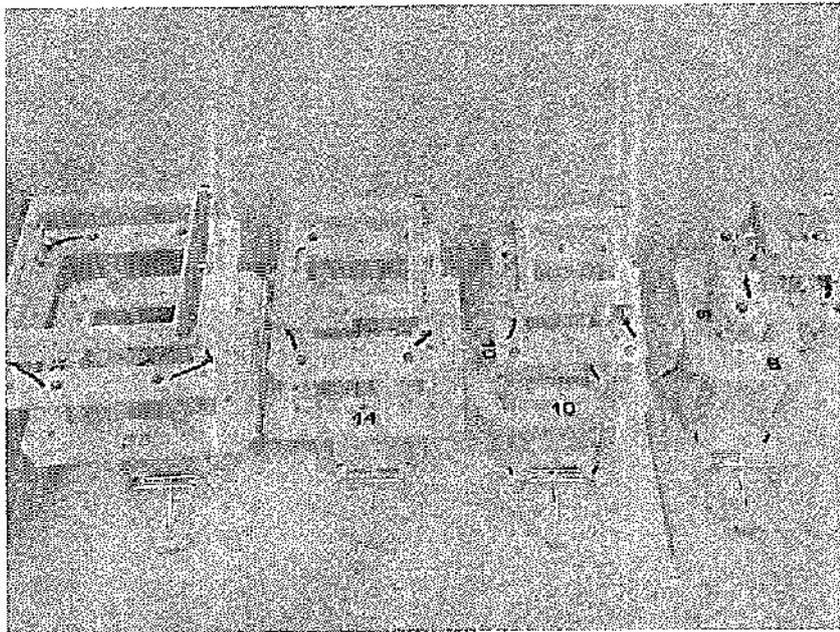
Sebagai sumber radiasi digunakan pesawat pemercepat linier medik Elekta nomor seri 151614. Pesawat ini dapat memancarkan berkas elektron dengan energi nominal 6, 8, 10, 12 dan 15 MeV. Sebagai perbandingan digunakan juga pesawat pemercepat linier Elekta nomor seri 1123 milik Rumah Sakit Kanker Dharmais dan Elekta Synergy Platform nomor seri 151731 milik Rumah Sakit Umum Pusat Nasional dr. Cipto Mangunkusumo. Ketiga pesawat pemercepat linier medik Elekta tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



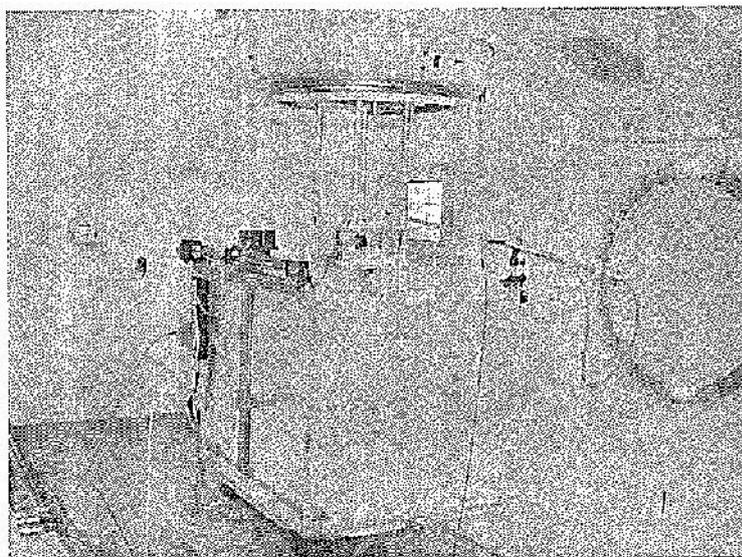
Gambar 1. Tiga buah pesawat pemercepat linier medik Elekta nomor seri 151614, 1123 dan 151731, masing-masing milik Rumah Sakit Adam Malik (a), Rumah Sakit Kanker Dharmais (b), dan Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Cipto Mangunkusumo (c)



Gambar 2. Aplikator yang digunakan untuk mengkolimasi berkas elektron. Jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm. Jarak ujung aplikator ke permukaan air 5 cm.



Gambar 3. Empat buah aplikator pembentuk lapangan radiasi herkas elektron dari pesawat pemercepat linier medik Elekta 151614 , masing-masing aplikator 6 cm × 6 cm, 10 cm × 10 cm, 14 cm × 14 cm, dan 20 cm × 20 cm



Gambar 4. Susunan peralatan pada pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas elektron dari pesawat pemercepat linear Elekta. Jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm.

Selain itu, pesawat pemercepat linier medik ini dilengkapi dengan empat buah aplikator yang digunakan untuk mengkolimasi berkas electron yaitu aplikator 6 cm × 6 cm, 10 cm × 10 cm, 14 cm × 14 cm, dan 20 cm × 20 cm yang dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

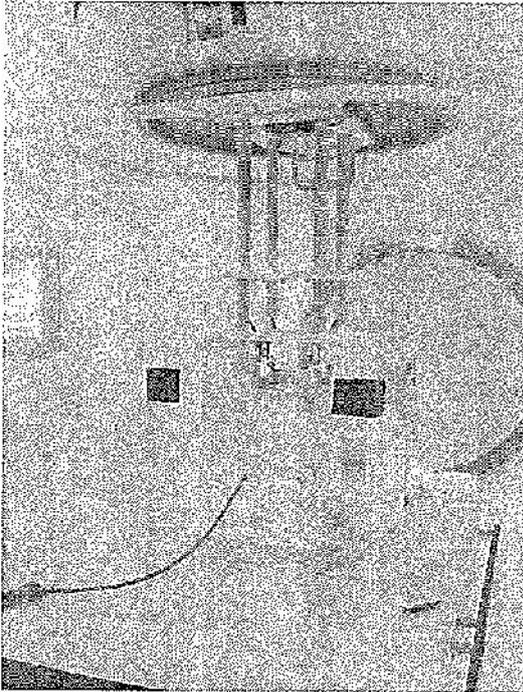
Sebagai alat ukur radiasi digunakan dosimeter Farmer yang terdiri atas elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1182 yang dirangkaikan dengan detektor ionisasi silindris dengan volume 0,6 cc tipe NE 2571 no. seri 2491. Sistem dosimeter

ini dikalibrasi di Laboratorium Meterologi Radiasi Nasional dalam besaran kerma udara dengan $N_K = (41,3 \pm 0,3)$ mGy/digit dan dalam besaran dosis serap di air dengan $N_{D,w} = (45,4 \pm 0,5)$ mGy/digit.⁵

Sebagai alat ukur relatif untuk mengukur persentase dosis di kedalaman digunakan sistem dosimeter PTW Tandem dengan detektor ionisasi Semiflex volume 0,125 cc dan fantom air.

Tata Kerja

Pertama dilakukan pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas elektron untuk energi nominal 10, 12, dan 15 MeV. Pengukuran berkas elektron dengan energi nominal ini karena detektor ionisasi silindris bisa digunakan untuk menentukan laju dosis serap di air dari pesawat pemercepat medik tersebut. Pengukuran dilakukan pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dengan menggunakan aplikator yang ada. Susunan peralatan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Susunan peralatan untuk

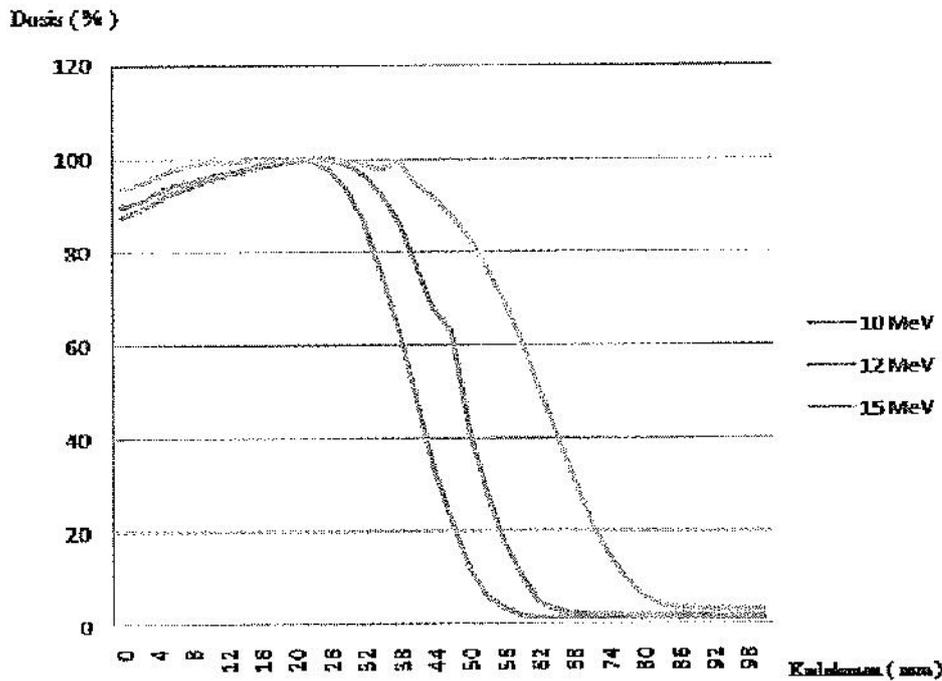
penentuan laju dosis serap air berkas electron dan faktor rekombinasi ion. Jarak sumber radiasi ke permukaan air adalah 100 cm dengan aplikator 6 cm × 6 cm. Detektor ionisasi silindris diletakkan pada kedalaman yang sesuai dengan energi berkas elektron

Setelah itu dilakukan pengukuran untuk menentukan laju dosis serap beserta faktor koreksi rekombinasi ion menggunakan detektor ionisasi silindris volume 0,6 cc tipe 2571 no. seri 2491 yang dirangkaikan dengan elektrometer Farmer tipe NE 2570/1B no. seri 1182. Pengukuran dilakukan pada jarak sumber radiasi 100 cm dengan lapangan radiasi sesuai dengan aplikator yang digunakan.

Kedalaman detektor untuk protokol TRS no. 277 adalah di kedalaman dosis mencapai maksimum untuk energi nominal yang diukur. Untuk memperoleh faktor koreksi rekombinasi ion pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan kerja normal V_1 dan tegangan kerja V_2 yg nilainya $V_2/V_1 \geq 3$. Susunan peralatan untuk menentukan laju dosis serap maupun faktor koreksi rekombinasi ion dapat dilihat pada Gambar 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kurva persentase dosis di kedalaman berkas elektron dengan energi nominal 10, 12 dan 15 MeV dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan kurva pada Gambar 6 dapat ditentukan parameter dosimetri yang penting dalam penentuan laju dosis serap berkas elektron tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 1. Selanjutnya berdasarkan tabel ini dapat ditentukan juga kedalaman pengukuran berkas elektron yang dapat dilihat pada tabel yang sama.



Gambar 6. Kurva persentase dosis di kedalaman berkas elektron energi nominal 10, 12 dan 15 MeV dari pesawat pemercepat linear medik Elekta 151614.

Tabel 1. Parameter dosimetri beberapa energi nominal berkas elektron dari pesawat pemercepat linier medik Elekta 151614.

| Energi nominal MeV | E_{p0} MeV | E_0 MeV | E_z MeV | R_{100} cm | R_{50} cm | R_p cm | S_{wa} | P_u |
|--------------------|--------------|-----------|-----------|--------------|-------------|----------|----------|-------|
| 10 | 10,25 | 9,59 | 4,27 | 2,19 | 4,117 | 5,032 | 1,054 | 0,960 |
| 12 | 12,05 | 11,32 | 5,06 | 2,58 | 4,858 | 5,93 | 1,045 | 0,963 |
| 15 | 14,93 | 14,11 | 7,31 | 2,58 | 6,055 | 7,357 | 1,017 | 0,972 |

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin besar energi berkas elektron kedalaman dosis mencapai maksimum semakin dalam, di samping itu kurva kedalaman maksimum menjadi lebih lebar karena semakin besarnya hamburan berkas elektron oleh air. Namun pada kedalaman tertentu berkas elektron kehilangan energi sehingga kedalaman dosis mencapai maksimum akan sama atau lebih rendah dari energi berkas elektron yang lebih rendah.

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa semua berkas elektron memiliki kecenderungan yang sama yaitu dari lapangan radiasi yang dibentuk oleh aplikator 6 cm x 6 cm ke 10 cm x 10 cm, laju dosis serap menunjukkan adanya kenaikan, namun semakin besar lapangan radiasi, laju dosis serap menunjukkan kecenderungan menurun.

Kenaikan untuk energi nominal 10 MeV sebesar 3,7 %, untuk energi nominal 12 MeV sebesar 1,8 % dan untuk energi nominal 15 MeV sebesar 0,7 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar energi, kenaikannya semakin kecil. sedangkan dari lapangan radiasi 10 cm x 10 cm ke 20 cm x 20 cm penurunannya adalah untuk energi nominal 10 MeV sebesar 3,8 %, untuk energi nominal 12 MeV sebesar 2,3 % dan untuk energi nominal 15 MeV sebesar 2,9 %. Di sini tampak adanya ketidak-teraturan. Penurunan laju dosis serap untuk kenaikan lapangan radiasi yang besar ini disebabkan oleh komponen elektron yang terhambur dengan energi yang lebih kecil tidak dapat mencapai detektor.

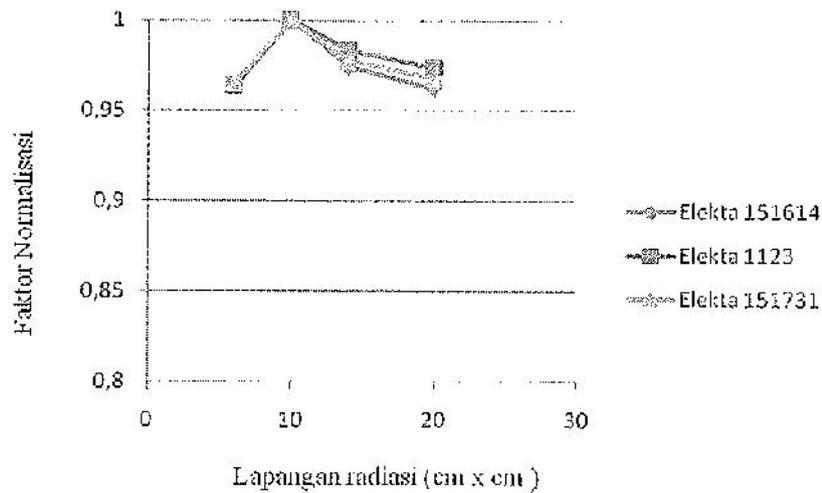
Perbandingan hubungan laju dosis serap dengan lapangan radiasi untuk pesawat pemercepat linier

medik Elekta nomor seri 151614, 1123 dan 151731 untuk berkas elektron dengan energi nominal 10 MeV, 12 MeV dan 15 MeV dapat dilihat pada Gambar 7, 8, dan 9. Ketiga gambar ini menunjukkan bahwa hubungan antara laju dosis serap dengan lapangan radiasi memiliki pola yang sama yaitu pada lapangan radiasi yang besar laju dosis serap akan berkurang dengan lapangan radiasi yang lebih kecil.^{5,6}

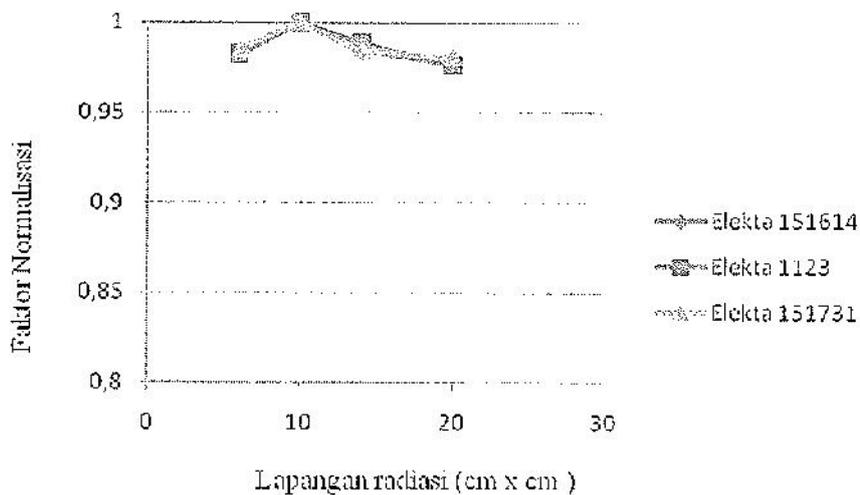
dari pesawat pemercepat linier medik Elekta nomor seri 151614.

| Aplikator cm × cm | Laju Dosis Serap (cGy/200 MU) | | |
|----------------------|-------------------------------|--------|--------|
| | 10 MeV | 12 MeV | 15 MeV |
| 6 × 6 | 192,06 | 197,30 | 196,23 |
| 10 × 10 | 199,34 | 200,99 | 197,51 |
| 14 × 14 | 194,20 | 197,92 | 192,82 |
| 20 × 20 | 191,84 | 196,28 | 191,69 |

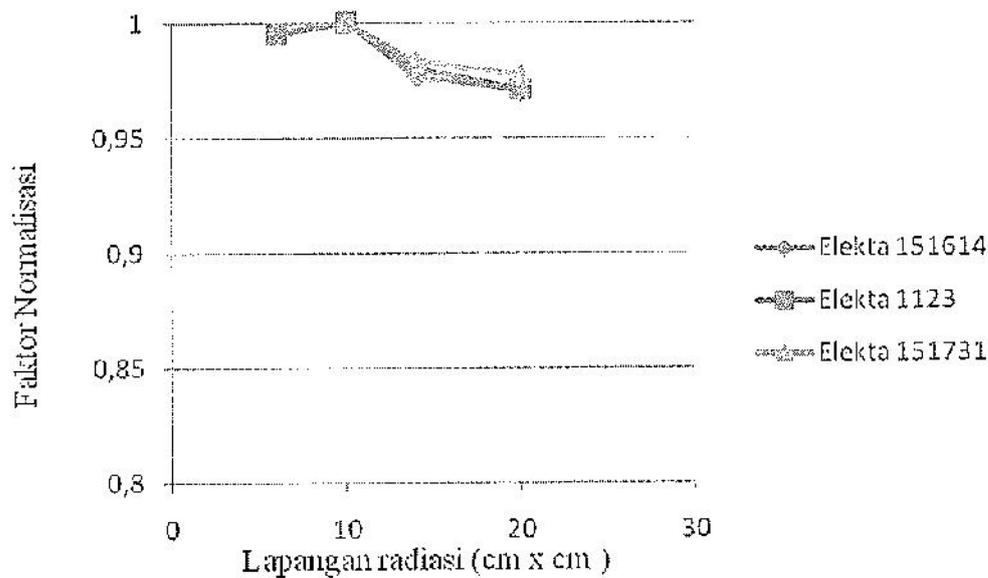
Tabel 2. Laju dosis serap di air berkas elektron



Gambar 7. Laju dosis serap berkas elektron energi nominal 10 MeV sebagai fungsi aplikator 6 cm × 6 cm, 10 cm × 10 cm, 14 cm × 14 cm, dan 20 cm × 20 cm yang dinormalisasikan ke aplikator 10 cm x 10 cm dari tiga buah pesawat pemercepat linear.



Gambar 8. Laju dosis serap berkas elektron energi nominal 12 MeV sebagai fungsi aplikator 6 cm × 6 cm, 10 cm × 10 cm, 14 cm × 14 cm, dan 20 cm × 20 cm yang dinormalisasikan ke aplikator 10 cm x 10 cm dari tiga buah pesawat pemercepat linear.



Gambar 9. Laju dosis serap berkas elektron energi nominal 15 MeV sebagai fungsi aplikator 6 cm x 6 cm, 10 cm x 10 cm, 14 cm x 14 cm, dan 20 cm x 20 cm yang dinormalisasikan ke aplikator 10 cm x 10 cm dari tiga buah pesawat permercepat linear.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa laju dosis serap akan naik dengan semakin besarnya lapangan radiasi. Namun pada lapangan radiasi tertentu laju dosis serap akan menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Adam Malik, Medan, Rumah Sakit Umum Pusat Nasional dr. Cipto Mangunkusono dan Rumah Sakit Kanker Dharmais, Jakarta atas bantuannya sehingga penulisan ini bisa selesai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Metcalfe P, Kron T, Hoban P. The Physics of Radiotherapy X-Rays and Electrons, Medical Physics Publishing Madison, Wisconsin, 2007
2. Central Axis Depth Dose Data for Use in Radiotherapy, British Institute of Radiology Supplement 17, British Institute of Radiology, London, 1983
3. Horton J Handbook Radiation Therapy Physics, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1987.
4. International Atomic Energy Agency. Technical Report Series No. 277 : Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beam, An International Code Practice , IAEA, Vienna, 1987

5. Laboratorium Metrologi Radiasi, Sertifikat Kalibrasi Luaran Pesawat Terapi Linac Elekta /1123, 2005
6. Laboratorium Metrologi Radiasi, Sertifikat Kalibrasi Luaran Pesawat Terapi Linac Elekta /151731, 2008