

PENENTUAN DOSIS FOTONEUTRON PADA PASIEN TERAPI LINAC 15 MV MENGUNAKAN TLD-600H DAN TLD-100H

Muhammad Ibadurrohman¹, Johan A.E. Noor¹, Hasnel Sofyan²
¹Jurusan Fisika FMIPA Univ. Brawijaya
²Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Email : ibad.man93@gmail.com

Abstract

Telah dilakukan penelitian untuk menentukan dan mengetahui dosis fotoneutron yang dihasilkan *linac* 15 MV pada pasien terapi kanker menggunakan TLD-600H dan TLD-100H. TLD memiliki tingkat keseragaman sebesar 3% dan setiap kali pemakaian dilakukan annealing untuk semua TLD dengan suhu lebih rendah dari yang direkomendasikan (240°C) yaitu pada suhu 210°C selama 10 menit. Hal ini dilakukan agar sensitivitas TLD selama penelitian dapat dipertahankan sama. Pasangan TLD diletakkan pada posisi organ kritis menggunakan fantom antropomorfik berbahan polietilen sebagai pengganti pasien terapi kanker. Penyinaran menggunakan foton linac dengan dosis 2 Gy dan 3 Gy pada isocenter tubuh. Kemudian tanggapan TLD dibaca dengan alat baca TLD Harshaw Model 3500. Dosis fotoneutron didapatkan nilai bervariasi dengan dosis tertinggi sebesar 53±1,6 mSv untuk dosis foton 2 Gy dan 83±2,5 mSv untuk dosis foton 3 Gy. Nilai dosis neutron yang didapatkan menurun seiring dengan semakin jauhnya jarak dari isocenter tubuh. Ketidakpastian pengukuran sebesar ±3% berdasarkan keseragaman dan pengelompokan TLD. Semakin tinggi dosis foton yang diberikan saat terapi, kemungkinan dosis fotoneutron yang dihasilkan oleh linac juga tinggi dan semakin banyak yang akan berinteraksi dengan tubuh pasien.

Kata Kunci : TLD LiF:Mg,Cu,P, fantom antropomorfik, fotoneutron, linac 15MV, isocenter

Pendahuluan

Linac (*linear accelerator*) merupakan pesawat pemercepat elektron yang menghasilkan berkas foton dan elektron. Berkas foton dan elektron yang dihasilkan oleh linac digunakan dalam bidang radioterapi untuk menyinari tumor atau kanker yang berada pada jaringan tubuh. Penggunaan linac yang tidak menggunakan sumber radioaktif dirasa lebih aman dari sudut pandang radiologi. Namun, linac yang digunakan pada energi tinggi (≥ 10 MV) akan menghasilkan neutron sebagai produk sampingan[1,2]. Neutron tersebut merupakan hasil reaksi fotonuklir melalui proses fotodisintegrasi yang disebut fotoneutron. Jika neutron mengenai tubuh manusia, maka akan berinteraksi dengan inti atom penyusun tubuh mengalami moderasi dan hamburan yang menimbulkan fluks neutron energi termal dan rendah keluar dari permukaan tubuh[3]. Faktor bobot radiasi neutron yang besar (WR: 5-20) dapat menyebabkan kontribusi dosisnya pada saat penyinaran terapi tidak dapat diabaikan begitu saja.

Salah satu alat yang digunakan untuk mendeteksi paparan radiasi neutron adalah TLD (*Thermoluminescence Dosimeter*). Dalam penelitian ini digunakan pasangan TLD-600H dan TLD-100H dengan bahan LiF:Mg,Cu,P sebagai

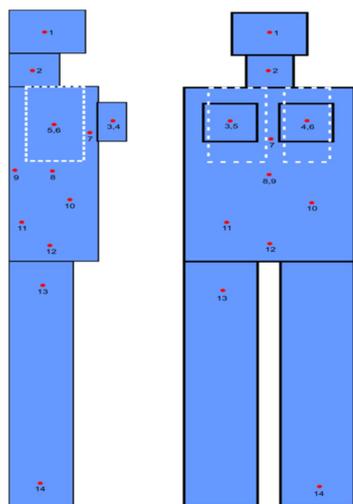
detektor untuk menentukan dan mengetahui gambaran dosis fotoneutron yang dihasilkan oleh linac pada tubuh pasien terapi. TLD dipilih karena penggunaannya yang mudah dalam pengoperasian, evaluasi dosis dapat dilakukan lebih cepat daripada dosimeter lainnya, dapat memantau radiasi mulai dari dosis rendah sampai tinggi, dapat dipakai ulang, dan tidak peka terhadap faktor-faktor lingkungan[4]. Selain itu, TLD berbahan LiF:Mg,Cu,P memiliki sensitivitas 23 kali lebih tinggi daripada berbahan LiF:Mg,Ti [5]. TLD-600H mengandung 95% ⁶Li yang peka terhadap neutron dan gamma, sedangkan TLD-100H mengandung 92,6% ⁷Li yang hanya peka terhadap gamma[5,6]. TLD-100H dipilih sebagai pengganti TLD-700H yang biasa digunakan sebagai pasangan dari TLD-600H untuk pemantauan radiasi neutron dikarenakan TLD-100H juga peka terhadap radiasi foton[6]. Dengan pasangan TLD yang digunakan, dapat memperkirakan dosis neutron termal dari dosis fotoneutron yang terdeteksi, sehingga dalam penelitian ini dosis yang diukur merupakan dosis ekuivalen neutron termal ($E \approx 0,025$ eV).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tambahan dosis fotoneutron yang dihasilkan oleh *linac* 15MV pada pasien terapi dengan menggunakan pasangan TLD-600H dan TLD-100H. Dengan mengetahui besarnya tambahan

dosis neutron yang diterima pasien terapi *linac*, maka diharapkan dapat dijadikan sebagai data dasar dalam perencanaan dan pengembangan metode untukantisipasi dampak radiasi sekunder dari *linac* yang dioperasikan pada energi > 10MV. Juga diharapkan dapat meningkatkan keselamatan radiasi bagi para pasien yang melaksanakan terapi kanker.

Metode

Fantom dengan model fantom antropomorfik (Gambar 1) dibuat dari bahan polietilen sebagai pengganti pasien yang akan diradioterapi. Bentuk tubuh yang dibuat mengacu pada penelitian Doblado dkk. (2012)[7] dengan sedikit perubahan dan disesuaikan dengan ukuran rata-rata bentuk tubuh wanita dewasa di Indonesia yang berdasarkan pada penelitian Sugiarto dkk [8] dengan berat badan 54 kg dan tinggi 163 cm. Kemudian dibuat lubang 14 titik yang dianggap sebagai posisi organ kritis pada tubuh dan bisa mewakili distribusi dari dosis neutron pada seluruh tubuh.



Gambar 1. Fantom antropomorfik.

Tabel 1 Hubungan posisi lubang detektor dengan organ.

Organ	Nomor titik lubang
Kepala	1
Tyroid	2
Mammae	3,4
Paru-paru	5,6
Jantung	7
Isocenter badan	8
Tulang belakang	9
Lambung	10
Ginjal	11
Rahim	12
Kaki kanan atas	13
Kaki kiri bawah	14

TLD-600H dan TLD-100H yang digunakan pada penelitian ini berbentuk *chips* (berukuran 3,2 mm×3,2mm×0,89mm) buatan *Harshaw* Amerika. Semua TLD di *annealing* terlebih dahulu dengan oven *Memert* pada suhu 210 °C selama 10 menit sebelum digunakan pada setiap penyinaran. Proses *annealing* dilakukan dengan suhu di bawah suhu yang direkomendasikan (240°C selama 10 menit). Data ini berdasarkan hasil penelitian M. Lupke [9], sehingga sensitivitas relatif TLD selama penelitian tidak menurun secara signifikan. TLD-600H dan TLD-100H disinari radiasi dengan sumber gamma standar ¹³⁷Cs untuk mendapatkan keseragaman respon agar bisa dikelompokkan. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan kurva kalibrasi neutron menggunakan sumber neutron standar ²⁵²Cf.

Setiap TLD yang telah disinari dengan radiasi, disimpan pada suhu ruangan selama ± 24 jam untuk menghilangkan puncak kurva yang kemungkinan muncul pada suhu rendah. Kemudian dilanjutkan dengan proses pembacaan menggunakan alat *TLD reader Harshaw Model 3500* yang dialiri gas nitrogen 20 psi untuk mengurangi sinyal TL yang berasal dari radiasi bukan pengion. Proses pembacaan TLD menggunakan stimulasi panas 50 – 220°C. Selama penelitian, semua TLD harus mendapatkan perlakuan yang sama agar hasil respon TLD yang diperoleh lebih teliti.



Gambar 2. Penyinaran linac 15 MV

Penyinaran *linac* 15 MV (Gambar 2) pada fantom dilakukan sesuai prosedur penyinaran pada pasien saat menjalani radioterapi menggunakan metode TPS (*Treatment Planning System*). Penyinaran empat arah (dengan sudut 0°, 90°, 180°, 270°) dilakukan menggunakan foton dengan dosis 2 Gy dan 3 Gy.

Nilai dosis fotoneutron didapatkan dengan mensubstitusikan nilai respon neutron TLD pada persamaan (1) ke dalam kurva kalibrasi yang telah dibuat. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung perkiraan nilai dosis neutron pada TLD.

$$R_n = R_{600H} - fk.R_{100H} \quad (1)$$

$$fk = \frac{R_{600H}}{R_{100H}} \quad (2)$$

Dimana R_n merupakan bacaan respon neutron yang dihasilkan oleh TLD, R_{600H} adalah bacaan respon dari TLD-600H, R_{100H} adalah bacaan respon dari TLD-100H, fk adalah faktor koreksi gamma yang merupakan perbandingan dari respon TLD-600H dan respon TLD-100H terhadap radiasi gamma ^{137}Cs pada dosis yang sama.

Hasil dan Pembahasan

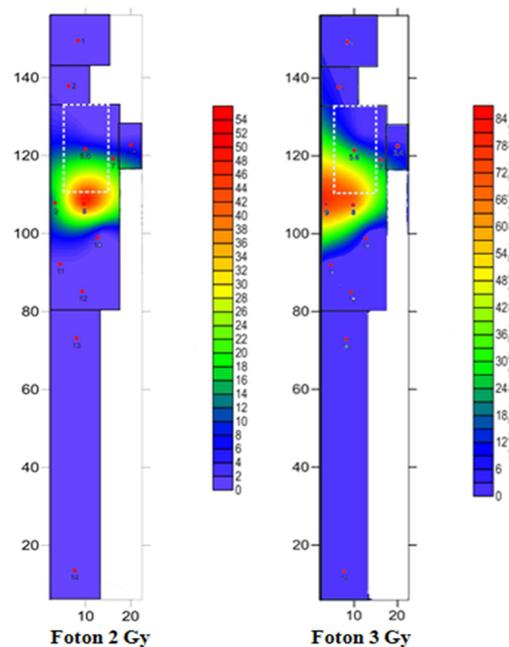
Tabel 2 merupakan data dosis fotoneutron yang dihasilkan oleh linac 15MV pada fantom saat dilakukan terapi. Dari data penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa dosis fotoneutron yang didapatkan bervariasi mulai dari yang tertinggi terdapat pada daerah isocenter (titik nomor 8) dan tulang belakang (titik nomor 9) untuk kedua dosis penyinaran foton. Dosis fotoneutron yang dihasilkan menurun drastis seiring dengan semakin jauh jaraknya dari titik *isocenter* tubuh atau pusat penyinaran. Semakin tinggi dosis foton yang diberikan, dosis neutron yang dihasilkan juga semakin besar.

Tabel 2 Data dosis neutron pada linac 15 MV

Organ	Dosis Foton	Dosis Foton
	2 Gy	3 Gy
	Dosis neutron	Dosis neutron
	(mSv) $\pm 3\%$	(mSv) $\pm 3\%$
Kepala	0,2	0,4
Tiroid	0,2	0,3
Mammae	0,2	0,4
Paru-paru	0,3	0,5
Jantung	0,2	0,4
Isocenter	53	72
Tlg. Blkg	9,6	83
Lambung	0,0	0,0
Ginjal	0,3	0,4
Rahim	0,1	0,3
kaki atas	0,2	0,3
kaki bawah	0,1	0,1

Gambar 3 menunjukkan kontur distribusi dosis ekivalen fotoneutron pada fantom dibuat menggunakan *software Surfer 10*, tampak dilihat dari samping untuk penyinaran foton *linac* 15 MV dengan dosis foton 2 Gy dan 3 Gy. Foton *linac* 15 MV yang dioperasikan pada pasien terapi, akan mengalami reaksi fotonuklir dengan inti atom penyusun *linac* menghasilkan fotoneutron yang sebagian besar berupa neutron cepat pada kepala *linac*. Ketika fantom disinari foton dengan dosis 2

Gy, neutron cepat yang mengenai fantom berinteraksi dengan inti atom penyusun tubuh mengalami termalisasi dan berpusat pada daerah *isocenter*. Hal itu karena intensitas neutron yang dihasilkan dari dosis foton 2 Gy rendah, sehingga neutron yang masuk ke dalam tubuh dan mengalami termalisasi hanya bisa mencapai *isocenter* yang kemudian dideteksi oleh TLD. Sedangkan pada saat fantom disinari dengan dosis foton 3 Gy, neutron cepat yang berinteraksi dengan inti atom penyusun tubuh dan mengalami termalisasi berpusat di daerah tulang belakang. Hal itu intensitas neutron yang dihasilkan dari foton 3 Gy lebih tinggi, sehingga neutron semakin dalam masuk ke dalam tubuh dan semakin banyak mengalami termalisasi menjadi neutron termal yang kemudian ditangkap oleh TLD.



Gambar 3. Distribusi dosis fotoneutron linac 15MV

Penyinaran empat arah yang digunakan pada linac saat pengambilan data dengan dosis 3 Gy, menyebabkan daerah fantom di atas titik *isocenter* juga memungkinkan mendapatkan dosis neutron yang hampir sama dengan dosis neutron pada tulang belakang. Akan tetapi, karena tidak ada detektor yang dipasang pada posisi daerah di atas titik *isocenter*, menyebabkan kontur distribusi dosis neutron yang dihasilkan pada daerah tersebut menjadi rendah.

Simpulan

Telah dilakukan penelitian untuk mengukur dosis fotoneutron dari pasien kanker yang menjalani terapi *linac* 15 MV. Neutron yang merupakan hasil reaksi fotonuklir pada pesawat *linac* dapat diketahui dosisnya menggunakan pasangan TLD-

600H dan TLD-100H. Dosis neutron yang dihasilkan bervariasi dengan dosis tertinggi untuk penyinaran foton dengan dosis 2 Gy sebesar $53 \pm 1,6$ mSv dan untuk penyinaran foton dengan dosis 3 Gy sebesar $83 \pm 2,5$ mSv. Ketidakpastian pengukuran sebesar $\pm 3\%$ berdasarkan keseragaman dan pengelompokan TLD. Dosis neutron ini merupakan dosis tambahan yang

berpotensi memberikan dampak negatif, sehingga perlu mendapat perhatian yang serius. Semakin tinggi dosis foton yang diberikan pada pasien saat terapi, kemungkinan dosis fotoneutron yang dihasilkan oleh linac juga tinggi dan semakin banyak yang akan berinteraksi dengan tubuh pasien.

Daftar Pustaka

- [1] BRUNCKHORST, E., *Experimental investigations of the neutron contamination in high-energy photon fields at medical linear accelerators*. Department of Physics. Hamburg, University of Hamburg. Doctor degree, 2009.
- [2] LIU, J. C., K. R. KASE, X. S. M. R. NELSON, J. H. KLECK, S. JOHNSON., Calculations of Photoneutrons from Varian Clinac Accelerators and Their Transmissions in Materials. *Radiation Dosimetry and Safety*. Taipei, Taiwan, 1997.
- [3] CHERESTES, M., C. CHERESTES, M. V. PARASCHIVA, L. M. CONSTANTINESCU, C. A. TOMA DAN A. LEORDEANU. New personal dosimetry services in Romania for mixed fields gamma-neutrons using ${}^6\text{LiF:Mg, Ti}$ – ${}^7\text{LiF:Mg, Ti}$ pairs detectors. *Rapid Communcations*. 4(Optoelectronics and Advanced Materials): 1823-1825, 2010.
- [4] SOFYAN, H. DAN D. D. KUSUMAWATI. Perbandingan Tanggapan Dosimeter Termoluminisensi *lif:Mg,Ti* dan *Lif:Mg,Cu,P* terhadap Dosis dalam Aplikasi Medik. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*. 13: 109-118. 2012.
- [5] YULIATI, H. DAN M. AKHADI. Faktor-faktor Koreksi dalam Evaluasi Dosis Perorangan dengan Dosimeter Thermoluminisensi. *Buletin Alara*. 5: 69-78. 2004
- [6] KEEHAN, S., M. TAYLOR, T. KRON DAN R. FRANICH. Method for interpretation of TLD600H and 700H neutron response for use with medical linear accelerators. *Combined Scientific Meeting*. Australia, Electronic Presentation Online System. 2014.
- [7] DOBLADO, F. S., C. DOMINGO, FG'OMEZ, BS'ANCHEZ-NIETO, J. ~NIZ, MJGARC'IA-FUST'E, MREXP'OSITO DAN R. BARQUERO. Estimation of neutron-equivalent dose in organs of patients undergoing radiotherapy by the use of a novel online digital detector. *Physics in Medicine and Biology*. 57: 6167–6191. 2012.
- [8] SUGIARTO, C., M. BANGUN, A. SINGH, Y. YAZIR, H. ALRASYID DAN H. HUTAGALUNG. Anthropological characteristics, internal organ measurements, and food consumption of Indonesian people, 1989-1993. BATAN, Jakarta. 1998.
- [9] LUPKE M., GOBLET, F., POLIVKA B. AND SEIFERT H. Sensitivity Loss of LiF:Mg,Cu,P Thermoluminescence Dosemeters Caused by Oven Annealing. *Radiation Protection Dosimetry*;121:195–201. 2006.