

Verifikasi Dosis Radiasi Kanker Menggunakan TLD-100 pada Pasien Kanker Payudara dengan Penyinaran *Open System*

Merli Azizah^{1,*}, Dian Milvita¹, Sri Herlida², Kri Yudi Pati Sandy³

Jurusan Fisika Universitas Andalas^{1,*}

Instalasi Radioterapi RSUP DR. M. Djamil Padang²

PTKMR BATAN Pasar Jumat Jakarta³

*merli.azizah@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang verifikasi dosis radiasi kanker menggunakan *Thermoluminescence Dosimeter-100* (TLD-100) pada pasien kanker payudara. Tujuan dilakukannya verifikasi adalah untuk mengetahui kesesuaian antara dosis radiasi yang diterima pasien dengan dosis radiasi yang direncanakan, sehingga tidak mengalami kekurangan atau kelebihan dosis radiasi. Verifikasi dilakukan pada lima orang pasien kanker payudara yang menjalani radioterapi dengan penyinaran *open system*. Pengukuran dosis radiasi menggunakan teknik *Source to Surface Distance* (SSD). Verifikasi diperoleh dengan menghitung deviasi ketepatan perhitungan dan pengukuran dosis radiasi. Langkah-langkah sebelum melakukan verifikasi dosis radiasi adalah mengkalibrasi TLD-100, mengukur dosis radiasi permukaan menggunakan TLD-100 dan melakukan verifikasi dosis radiasi. Hasil penelitian menunjukkan deviasi ketepatan dosis radiasi berkisar dari -0,12 sampai 13,17 %. Dengan demikian, dosis radiasi yang diterima oleh lima orang pasien kanker payudara sudah tepat karena masih berada dalam rentang ketidakpastian alat ukur.

Kata kunci: dosis radiasi, *open system*, radioterapi, TLD-100, verifikasi

ABSTRACT

A research about verification of cancer radiation dose using Thermoluminescence Dosimeter-100 (TLD-100) on breast cancer patients has been done. The aim of this research is to verify the actual radiation dose received by patients with the planned radiation dose, so that the radiation dose is not over or below the standard. Verification is done for five breast cancer patients whom undergoing the radiotherapy with open system radiation. Radiation dose measurement used TLD-100 with source to surface distance (SSD) technique. Verification is obtained by calculating the deviation of accuracy of radiation dose calculation and measurement. Steps before verifying the radiation dose is to calibrate the TLD-100, measuring the level of radiation dose using TLD-100 and verify radiation dose. The results showed that deviation of accuracy radiation dose with range from -0.12 to 13.17%. Thus, the radiation dose received by five breast cancer patients was appropriate because it is still within the range of uncertainty of measuring instruments.

Keywords: radiation dose, open system, radiotherapy, TLD-100, verification,

I. PENDAHULUAN

Radioterapi atau terapi radiasi adalah pengobatan kanker dengan menggunakan radiasi pengion. Saat ini radioterapi merupakan salah satu jenis terapi penting untuk penyakit kanker di samping pembedahan dan kemoterapi. Radioterapi dilakukan untuk menghancurkan jaringan kanker dan dapat digunakan untuk mengobati hampir semua kanker antara lain: kanker nasofaring, kanker kepala dan leher, kanker paru-paru, kanker prostat, kanker kulit, kanker otak, kanker serviks, dan kanker payudara (Susworo,2007). Kanker payudara (*Carcinoma mammae*) adalah tumor ganas pada jaringan payudara. Kanker dapat terjadi pada kondisi dimana sel telah kehilangan pengendalian dari mekanisme normalnya. Data WHO tahun 2013 menerangkan bahwa penderita kanker meningkat dari 12,7 juta kasus tahun 2008 menjadi 14,1 juta kasus tahun 2012. Berdasarkan data Departemen Kesehatan tahun 2014 kanker tertinggi di Indonesia pada perempuan adalah kanker payudara.

Metode pengobatan kanker dengan radiasi dapat berupa radiasi eksternal atau teleterapi, radiasi internal atau brakiterapi dan radiofarmaka. Metode yang umum digunakan pada radioterapi adalah teleterapi. Pesawat teleterapi terdiri dari pesawat terapi Cs-137, pesawat *Linear Accelerator* (LINAC) dan pesawat terapi *Cobalt-60* (Co-60). Keunggulan Co-60 yaitu memancarkan radiasi elektromagnetik. Radiasi ini dapat menimbulkan kerusakan sebesar mungkin pada jaringan kanker dan sekecil mungkin pada jaringan sehat.

Penelitian pengukuran dosis radiasi telah dilakukan oleh Kurniawan (2008), penelitian ini dilakukan pada pasien radioterapi dengan sumber radiasi Co-60 menggunakan teknik *Source to Surface Dose* (SSD) dan *Source to Axis Distance* (SAD). Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan dosis radiasi yang terukur dengan teknik SSD masih di bawah dosis yang diperhitungkan, sedangkan dengan teknik SAD hanya beberapa pasien yang menerima dosis radiasi yang melebihi dari yang diperhitungkan.

Penelitian lain dilakukan oleh Suharsono (2012) tentang verifikasi dosis radiasi pada fantom dilakukan dengan metode in-vivo. Verifikasi dilakukan pada lapangan persegi tanpa blok dan pada lapangan dengan menggunakan blok. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan verifikasi pada 60 lapangan persegi tanpa blok, dosimeter dioda mencatat perbedaan dosis radiasi terukur terhadap dosis radiasi yang direncanakan dalam rentang $\pm 2,5\%$, sedangkan verifikasi pada 6 lapangan dengan menggunakan blok dihasilkan dalam rentang $\pm 3,5\%$. Hasil ini masih dalam rentang toleransi yang diperbolehkan sehingga perhitungan monitor unit untuk setiap lapangan sudah benar.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memverifikasi dosis radiasi kanker menggunakan TLD-100 pada pasien kanker payudara di instalasi radioterapi RSUP DR. M. Djamil Padang. Verifikasi dilakukan untuk mengetahui ketepatan pemberian dosis radiasi pada pasien kanker payudara agar dosis radiasi yang diterima pasien benar-benar tepat dan tidak melebihi batas toleransi ketidakpastian alat ukur yang diperbolehkan. Menurut *International Organization for Standardization* (ISO) dan *International Electrotechnical Commission* (IEC) dalam prosiding oleh Sofyan tahun 2012 bahwa TLD-100 memiliki deviasi tanggapan sebesar $\pm 25\%$. Selain itu, verifikasi juga dilakukan untuk meminimalisir dosis radiasi pada jaringan sehat yang ada disekitarnya agar tidak menimbulkan efek berbahaya pada pasien.

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam melaksanakan verifikasi dosis radiasi kanker. Pertama adalah menentukan faktor kalibrasi TLD-100. Kedua adalah mengukur dosis radiasi permukaan pasien kanker payudara menggunakan TLD-100. Ketiga memverifikasi dosis radiasi kanker pada pasien kanker payudara.

II. METODE

Verifikasi dosis radiasi dilakukan untuk mengetahui dosis radiasi yang diterima kanker benar-benar tepat dan tidak melebihi batas yang diperbolehkan. Langkah-langkah yang dilakukan sebelum verifikasi dosis radiasi adalah menentukan faktor kalibrasi TLD-100, mengukur dosis radiasi permukaan pasien kanker payudara dan memverifikasi dosis radiasi kanker pada pasien kanker payudara.

Pengukuran faktor kalibrasi TLD-100 dilakukan untuk menentukan hubungan antara dosis radiasi gamma yang dipancarkan oleh pesawat terapi Co-60 dengan bacaan TLD-100. Pengukuran faktor kalibrasi TLD-100 dilakukan menggunakan fantom akrilik dengan lapangan (10 x 10) cm, SSD 80 cm dan sudut gantri 0° . TLD-100 ditempelkan pada isosenter lapangan fantom akrilik sebanyak 5 keping. Selanjutnya dilakukan penyinaran menggunakan pesawat terapi Co-60 selama 0,5 menit. Dosis radiasi yang diberikan untuk pengukuran faktor kalibrasi adalah 84,87 cGy. TLD-100 yang sudah diradiasi dikirim ke PTKMR BATAN Jakarta untuk dilakukan pembacaan menggunakan TLD reader. Hasil bacaan TLD-100 (TL_{bersih}) merupakan selisih dari bacaan TLD total (TL_{total}) dan bacaan TLD latar (TL_{latar}) Untuk mendapatkan hasil bacaan TL_{bersih} secara matematis ditunjukkan oleh Persamaan 1

$$TL_{bersih} = TL_{total} - TL_{latar} \quad (1)$$

Faktor kalibrasi TLD (FK_{TLD}) menunjukkan hubungan antara dosis yang diterima TLD (D) dengan hasil bacaan TLD bersih (TL_{bersih}) secara matematis ditunjukkan pada Persamaan 2:

$$FK_{TLD} = \frac{D}{TL_{bersih}} \quad (2)$$

FK_{TLD} merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam penentuan dosis radiasi permukaan. Pengukuran dosis radiasi permukaan pasien kanker payudara dilakukan untuk

mengetahui dosis radiasi permukaan yang diterima pasien saat melakukan penyinaran. Penyinaran dilakukan dengan *open system* yaitu penyinaran tanpa blok radiasi. Penyinaran *open system* terdiri dari lapangan *latero medial* dan *medio lateral*. Pengukuran ini dilakukan dengan menempelkan TLD-100 pada isosenter lapangan penyinaran pada permukaan kulit pasien dengan waktu penyinaran yang telah ditentukan. Untuk menentukan besar dosis radiasi permukaan yang diterima pasien dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3 (Podgorsak, 2003).

$$ESD = (TL_{bersih})(FK_{TLD})(FK_{FS}) \tag{3}$$

Verifikasi dapat dihitung berdasarkan data kondisi penyinaran masing-masing pasien dan pengukuran dosis radiasi menggunakan TLD-100. Besarnya dosis radiasi yang sampai ke target dihitung menggunakan Persamaan 3 dan 4. Untuk menentukan perhitungan nilai dosis radiasi kanker pada teknik penyinaran SSD berdasarkan data kondisi penyinaran, ditunjukkan pada Persamaan 4 (Podgorsak, 2003) :

$$TD = (t)(D)(OF)(PDD_{/100}) \tag{4}$$

TD (Tumor Dose) merupakan dosis radiasi yang diterima kanker (cGy), *t* adalah lama waktu penyinaran (menit), *D* adalah Nilai laju dosis radiasi radiasi pesawat terapi Co-60 pada kedalaman maksimum (cGy/menit), *OF (Output Factor)* adalah perbandingan laju dosis lapangan tertentu dengan laju dosis lapangan referensi (10 x 10) cm, *PDD_{/100}* adalah presentasi dosis serap pada suatu titik tertentu pada fantom (%).

Untuk menentukan nilai dosis radiasi kanker dengan pengukuran menggunakan TLD-100 teknik penyinaran SSD, ditunjukkan pada Persamaan 5 (Podgorsak, 2003) :

$$D_{target} = (D_{read})(FK_{TLD})(PDD_{/100})(FK_{FS})(FK_{SSD}) \tag{5}$$

D_{target} merupakan Dosis radiasi yang diterima kanker (cGy), *D_{read}* adalah nilai dosis radiasi bacaan TLD (nC), *FK_{TLD}* adalah Faktor kalibrasi TLD-100 (cGy/nC), *PDD_{/100}* adalah Persentase dosis serap pada suatu titik tertentu dalam fantom (%), *FK_{FS}* adalah faktor koreksi luas lapangan yang dihasilkan dari perbandingan laju dosis lapangan tertentu dengan laju dosis lapangan referensi (10 x10) cm dan *FK_{SSD}* adalah faktor koreksi SSD = 80 cm adalah 1.

Verifikasi dosis radiasi didapatkan dari perbedaan perhitungan dosis radiasi kanker (σ) dari data kondisi penyinaran dan pengukuran dosis radiasi menggunakan TLD-100 yang diperoleh dari Persamaan 6.

$$\sigma = \left(\frac{D_{target} - TD}{TD} \right) 100\% \tag{6}$$

σ merupakan persentasi ketepatan perhitungan dan pengukuran dosis radiasi, *D_{target}* merupakan dosis radiasi kanker pengukuran dengan TLD-100, *TD* merupakan dosis radiasi kanker perhitungan berdasarkan data kondisi penyinaran.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Pengukuran Faktor Kalibrasi TLD-100

Pengukuran faktor kalibrasi TLD-100 dilakukan untuk menentukan hubungan dosis radiasi terhadap bacaan TLD-100. Pengukuran faktor kalibrasi dilakukan menggunakan 5 keping TLD-100 dihitung menggunakan Persamaan 1 dan 2, sehingga diperoleh faktor kalibrasi TLD-100 sebesar 0,02 cGy/nC. Selanjutnya faktor kalibrasi digunakan dalam perhitungan dosis radiasi permukaan (ESD).

3.2 Hasil Pengukuran Dosis Radiasi Permukaan menggunakan TLD-100

Pengukuran dosis radiasi permukaan (ESD) dilakukan untuk mengetahui nilai dosis radiasi yang diterima oleh permukaan kulit saat melakukan penyinaran. Hasil pengukuran dosis

radiasi permukaan untuk setiap lapangan penyinaran pada pasien kanker payudara ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Dosis Radiasi Permukaan Pasien Kanker Payudara

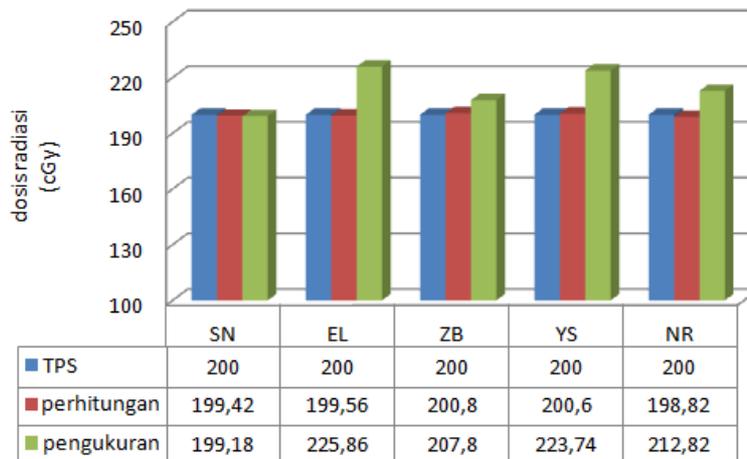
No	Inisial Pasien	Lap	Dmaks (cGy)	t (menit)	Bacaan TLD (nC)	FK TLD (cGy/nC)	FK FS	ESD (cGy)
1	SN	Lap1	136,9	0,77	6988,57	0,02	1,007	140,74
		Lap2			6552,13			131,95
2	EL	Lap1	125,1	0,71	7124,03	0,02	0,998	142,26
		Lap2			7025,16			140,29
3	ZB	Lap1	147,1	0,83	7803,12	0,02	1,011	157,77
		Lap2			7319,08			147,99
4	YS	Lap1	113,8	0,65	6886,14	0,02	0,998	137,44
		Lap2			5867,09			117,10
5	NR	Lap1	116,2	0,66	6359,17	0,02	0,994	126,42
		Lap2			6079,80			120,86

Tabel 1 menunjukkan dosis radiasi permukaan setiap pasien berbeda sesuai dengan data kondisi penyinaran yang berbeda setiap pasien. Dosis radiasi permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu bacaan TLD-100, faktor kalibrasi TLD (*FK TLD*) dan faktor koreksi luas lapangan (*FK FS*). Radiasi yang ditangkap oleh TLD-100 sangat bergantung pada dosis radiasi yang diberikan (*Dmaks*). Hal ini terlihat pada bacaan TLD minimum yaitu 6079,80 nC dengan *Dmaks* sebesar 116,2 cGy. Bacaan TLD maksimum sebesar 7803,12 nC dengan *Dmaks* sebesar 147,1 cGy. Dalam Mursiyatun (2014) bacaan TLD akan semakin besar jika nilai dosis yang diberikan (*Dmaks*) juga besar, sehingga bisa dikatakan bahwa TLD memiliki respon yang linier terhadap perubahan dosis radiasi. Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil bacaan TLD-100 adalah waktu penyinaran. Semakin lama waktu penyinaran maka dosis radiasi yang dikeluarkan pesawat terapi juga akan semakin besar, demikian sebaliknya. Ketepatan penentuan waktu terapi akan mempengaruhi keberhasilan terapi (Nuraeni, 2001). Lapangan 1 (*latero medial*) menghasilkan bacaan TLD-100 yang lebih besar dibandingkan lapangan 2 (*medio lateral*), sehingga dosis radiasi permukaannya juga besar. Pemberian dosis radiasi yang sama pada kedua lapangan ini tidak menghasilkan dosis radiasi permukaan yang sama. Perbedaan ini terjadi karena radiasi yang ditangkap TLD-100 pada kedua lapangan ini berbeda. Lapangan *latero medial* menerima radiasi yang lebih besar karena adanya hamburan radiasi dari meja pasien. Penyinaran pada lapangan ini dilakukan dari arah bawah, sehingga radiasi yang keluar dari pesawat terapi Co-60 melewati meja pasien dan menyebabkan terjadinya hamburan radiasi.

Faktor lain yang mempengaruhi dosis radiasi permukaan adalah faktor koreksi luas lapangan (*FK FS*). *FK FS* merupakan perbandingan laju dosis lapangan tertentu terhadap lapangan referensi. *FK FS* setiap lapangan penyinaran akan berbeda karena tidak memiliki ukuran yang sama. Luas lapangan penyinaran yang besar mengakibatkan meningkatnya nilai *FK FS*. *FK FS* akan lebih besar dari 1 jika lapangan penyinarannya besar dari lapangan referensi (10 x 10) cm karena *FK FS* lapangan referensi adalah 1. Hal ini terkait dengan hamburan medium, semakin besar luas lapangan maka hamburan radiasi dari medium semakin besar.

3.3 Verifikasi Dosis Radiasi Kanker pada Pasien Kanker Payudara

Verifikasi dilakukan untuk mengetahui ketepatan dosis radiasi yang direncanakan dan yang diterima pasien kanker payudara. Dosis radiasi kanker dapat dihitung berdasarkan data kondisi penyinaran masing-masing pasien dan pengukuran dosis radiasi menggunakan TLD-100. Perbandingan dosis radiasi perhitungan dan pengukuran terhadap TPS ditunjukkan pada Gambar 1:



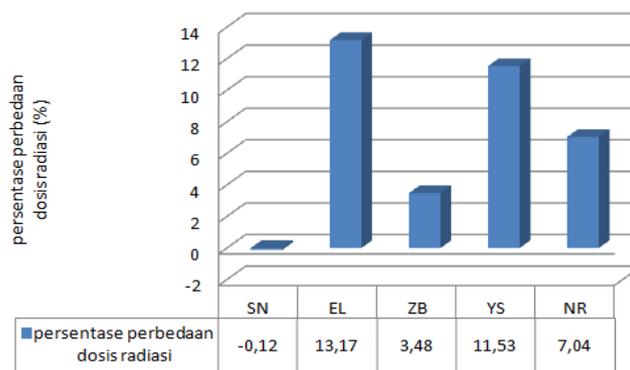
Gambar 1 Perbandingan dosis radiasi perhitungan dan pengukuran terhadap TPS

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa dosis radiasi perhitungan yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan dosis radiasi TPS. Hal ini terjadi karena data yang diinput pada TPS dan yang dihitung secara manual sama yaitu data berdasarkan kondisi penyinaran yang telah direncanakan pada awal penyinaran. Namun selisih ini terjadi karena pada perhitungan nilai *OF* dihitung secara manual. Dosis radiasi kanker yang direncanakan untuk setiap fraksi penyinaran adalah 200 cGy. Pada *open system* penyinaran tidak menggunakan blok dan terdiri dari lapangan *latero medial* dan *medio lateral*. Penyinaran ini bertujuan untuk melindungi organ penting yang berada di bawah kanker. Untuk kanker payudara organ penting yang berada di bawahnya adalah paru-paru dan jantung.

Perhitungan dosis radiasi kanker dipengaruhi oleh lamanya waktu penyinaran (*t*), *percentage depth dose (PDD)*, *output faktor (OF)*, dan nilai laju dosis pesawat terapi (*D*). Nilai laju dosis yang digunakan akan berbeda untuk *open system* adalah 169,73 cGy/menit. Lamanya waktu penyinaran pada pasien tergantung pada luas lapangan penyinaran dan kedalaman kanker yang selanjutnya digunakan untuk menghitung dosis radiasi yang akan diberikan. Berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat bahwa letak kanker yang semakin dalam dari permukaan kulit menyebabkan waktu penyinaran yang dibutuhkan lebih lama. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya kedalaman, elektron sebagai partikel bermuatan semakin kehilangan rata-rata energinya akibat interaksinya dengan elektron penyusun fantom (Sidabutar, 2014)

Berdasarkan pengukuran dapat diketahui bahwa pengukuran nilai dosis radiasi kanker yang terukur menggunakan TLD-100 cenderung lebih besar jika dibandingkan dengan perencanaan pada TPS. Besarnya nilai pengukuran dosis radiasi kanker disebabkan oleh radiasi yang ditangkap oleh TLD-100 lebih besar, sehingga ketika dikalkulasikan menghasilkan dosis radiasi yang besar. Penerimaan nilai dosis radiasi juga dipengaruhi oleh hamburan meja pasien, hamburan balik dari pasien dan hamburan kolimator yang berada di kepala pesawat Co-60 (Diana, 2010). Dosis radiasi yang terukur pada lapangan *latero medial* lebih besar jika dibandingkan pada lapangan *medio lateral*. Penyinaran lapangan *latero medial* dilakukan dari arah bawah sehingga radiasi yang ditangkap TLD-100 cukup besar. Kenaikan pengukuran dosis radiasi yang terjadi disebabkan karena adanya hamburan radiasi dari meja pasien. Penyinaran pada lapangan ini dilakukan dari arah bawah pada sudut tangensial yang mengarah ke atas, sehingga radiasi yang keluar dari pesawat terapi Co-60 melewati meja pasien dan menyebabkan terjadinya hamburan radiasi. Selain menangkap dosis radiasi primer, TLD-100 juga akan menangkap radiasi dari hamburan kolimator dan meja pasien. Radiasi pada setiap titik dalam medium terdiri dari dosis radiasi primer dan dosis radiasi hambur (Amsori, 2009).

Verifikasi dosis radiasi dilakukan dengan cara menghitung ketepatan perhitungan secara manual dari data kondisi penyinaran dan pengukuran dosis radiasi menggunakan TLD-100. Persentase perbedaan dosis radiasi perhitungan dan pengukuran menggunakan TLD-100 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Persentase perbedaan dosis radiasi perhitungan dan pengukuran

Gambar 2 menunjukkan persentase perbedaan dosis radiasi minimum adalah $-0,12\%$ dan persentase perbedaan maksimum adalah $13,17\%$. Dalam Sofyan (2012), International Organization for Standardization (ISO) dan International Electrotechnical Commission (IEC) menyatakan bahwa TLD-100 memiliki deviasi tanggapan sebesar $\pm 25\%$. Hal ini disebabkan karena TLD sangat sensitif terhadap perlakuan panas yang terjadi pada proses annealing dan pembacaan. Dosis radiasi yang direncanakan untuk setiap fraksi adalah 200 cGy maka kemungkinan dosis radiasi yang diterima pasien adalah $(150-250)\text{ cGy}$. Jika dibandingkan dengan standar internasional (ISO dan IEC) dosis radiasi yang diterima oleh pasien masih dalam rentang ketidakpastian alat ukur. Apabila dosis radiasi yang diterima melebihi dari rentang yang telah ditentukan, maka dikhawatirkan jaringan sehat di sekitar kanker akan terkena radiasi yang tidak diperlukan dan dapat menyebabkan munculnya kanker baru. Sebaliknya, jika kurang dari rentang yang diperbolehkan maka sel kanker tidak mati dan akan menimbulkan efek pada penyembuhan pasien.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian verifikasi dosis radiasi kanker pada pasien kanker payudara dapat disimpulkan bahwa nilai faktor kalibrasi TLD-100 diperoleh sebesar $0,02\text{ cGy/nC}$. Hasil verifikasi dosis radiasi yang diterima oleh lima pasien kanker payudara sudah tepat. Hal ini dibuktikan dengan persentase perbedaan dosis radiasi berkisar antara $-0,12\%$ sampai $13,17\%$ dan masih berada pada rentang ketidakpastian alat ukur yaitu $\pm 25\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M., "Dasar-Dasar Proteksi Radiasi", (Rineka Cipta, Jakarta, 2000), hal 239-247
- Amsori, "Pengaruh Kemiringan Sudut Gantri pada Dosis Permukaan Fantom Berkas Radiasi Gamma Co-60", Skripsi S1, Universitas Indonesia, 2009
- Diana, L., "Pengukuran Dosis Kulit dengan menggunakan Film Gafchromic (EBT) pada Pasien Kanker Serviks dengan menggunakan Sinar Foton 6 MV", Skripsi S1, UI, 2010.
- Suharsono, "Verifikasi Dosis Radioterapi Eksterna Metode In Vivo pada Phantom", Skripsi S1, Universitas Indonesia, 2012.
- Kurniawan, Y., "Perbandingan Dosis Radiasi Kanker menggunakan TLD-100 dengan Perhitungan Dosis Radiasi pada Pasien Radioterapi", Skripsi S1, Universitas Andalas, 2008.
- Mursiyatun, Setiawati, E., Muhlisin, Z., *Youngster Physics Journal* **3**, hal. 347-350 (2014)
- Podgorsak, E. B., *Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teacher and Students*, IAEA, Vienna 2003), hal. 147-175.
- Sidabutar, D. H., dan Setiawati, E., *Youngster Physics Journal* **3**, hal. 295-302 (2014)
- Sofyan, H., "Dosimeter ThermoLuminesensi sebagai Dosimetri Personal dalam Pemantauan Dosis Radiasi Eksternal, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*, Purworejo, 2012, hal 129-134
- Susworo, R., *Radioterapi*, (UI Press, Jakarta, 2007), hal.2