

Verifikasi Dosis Radiasi Permukaan pada Kasus Kanker Payudara Menggunakan Metode Dosimetri *In Vivo*

Sri Wulandari^{1*}, Rico Adrial¹, Syarifatul Ulya², Fiqi Diyona³

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163

²Pusat Riset Teknologi Keselamatan Metrologi dan Mutu Nuklir, ORTN, BRIN, Pasar Jum'at, Lebak Bulus, Jakarta Selatan

³Instalasi Onkologi Radiasi Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas, Padang

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 9 Juni 2024
Direvisi: 10 Juli 2024
Diterima: 16 Agustus 2024

Kata kunci:

Dosis radiasi permukaan
Dosimetri *in vivo*
Slab phantom
Verifikasi dosis radiasi

Keywords:

Surface Dose
In vivo Dosimetry
Slab Phantom
Verification of dose radiation

Penulis Korespondensi:

Rico Adrial
Email: ricoadrial@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan verifikasi dosis radiasi permukaan pada kasus kanker payudara menggunakan metode dosimetri *in vivo* dengan TLD-100 di instalasi Onkologi Radiasi Rumah Sakit Universitas Andalas. Penelitian bertujuan untuk memverifikasi kesesuaian dosis radiasi permukaan yang dihitung pada *Treatment Planning System* (TPS) dengan dosis radiasi terukur TLD-100, mengacu pada laporan *American Association of Physicists in Medicine Task Group No.219* (AAPM-TG No.219). Penelitian ini dimulai dengan *annealing* TLD-100 yakni pembersihan elektron-elektron yang terperangkap oleh TLD-100 di Pusat Riset Teknologi Keselamatan Metrologi dan Mutu Nuklir Badan Riset Inovasi Nasional (PRTKMMR-BRIN), dilanjutkan dengan *scan* TLD-100 pada permukaan *slab phantom* menggunakan CT-Simulator. Selanjutnya, dilakukan kalibrasi TLD-100 dengan variasi dosis radiasi (0; 20; 50; 80; 100; 150; 200; 250; 370) cGy. Verifikasi dosis radiasi permukaan pada lima data perencanaan kanker payudara dengan kalkulasi dosis radiasi permukaan TPS melalui *Patient Specific Quality Assurance* (PSQA) atau transfer perencanaan pengobatan pasien ke *slab phantom*, dan dibandingkan dengan dosis radiasi yang terukur pada TLD-100. Hasil pengukuran dosis radiasi permukaan diperoleh sebesar 115,07 cGy hingga 130,81 cGy. Verifikasi menunjukkan perbedaan antara dosis radiasi yang dihitung TPS dengan yang terukur TLD-100 adalah 0,21% hingga 8,13%. Hal ini menunjukkan bahwa dosis radiasi permukaan pada kasus kanker payudara berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh AAPM-TG No.219 sebesar 20%.

Verification of surface radiation dose in breast cancer cases using the in vivo dosimetry method with TLD-100 at the Radiation Oncology Unit of Andalas University Hospital has been carried out. The aim of the study is to verify the adequacy of the surface radiation dose calculated by the Treatment Planning System (TPS) with the measured radiation dose of TLD-100, referring to the report of the American Association of Physicists in Medicine Task Group No.219 (AAPM-TG No.219). This study began with the annealing of the TLD-100, namely the cleaning of the electrons trapped by the TLD-100 at the Research Center for Safety Technology Metrology and Nuclear Quality of the National Innovation Research Agency (PRTKMMR-BRIN), followed by the scanning of the TLD-100 on the surface of the phantom plate using a CT simulator. In addition, the TLD-100 was calibrated with different radiation doses (0; 20; 50; 80; 100; 150; 200; 250; 370) cGy. Verification of surface radiation dose on five breast cancer treatment planning data with TPS surface radiation dose calculation by Patient Specific Quality Assurance (PSQA) or transfer of patient treatment plan to slab phantom and compared with radiation dose measured on TLD-100. The measured surface radiation dose was found to range from 115.07 cGy to 130.81 cGy. Verification showed that the difference between the radiation dose calculated by the TPS and that measured by the TLD-100 was 0.21% to 8.13%. This shows that the surface radiation dose in breast cancer cases is within the 20% tolerance limit set by AAPM-TG No.219.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Kanker payudara (*Carcinoma mammae*) merupakan tumor ganas yang menyerang jaringan payudara akibat pertumbuhan sel yang tidak terkendali dan kehilangan mekanisme normalnya. Kanker payudara menempati angka kejadian tertinggi pada wanita Indonesia, terhitung sekitar 66.271 (16,2%) dari total 408.661 kasus kanker baru di Indonesia (Ferlay dkk., 2021). Pengobatan pasien kanker payudara dapat diberikan melalui terapi radiasi atau yang dikenal dengan istilah radioterapi. Radioterapi merupakan terapi radiasi yang memanfaatkan radiasi pengion untuk menghambat dan membunuh pertumbuhan sel kanker serta meminimalkan efek negatif radiasi terhadap jaringan sehat di sekitarnya.

Pemberian dosis radiasi yang tepat dan sesuai dalam radioterapi sangat penting. Hal ini karena target pengobatan dapat meluas hingga ke permukaan kulit. Potensi penyebaran kanker dapat diminimalkan dengan memberikan dosis radiasi yang tepat pada permukaan, sehingga sel-sel kanker yang berpotensi kambuh dapat dibasmi. Keakuratan dosis radiasi pada permukaan juga mengurangi risiko efek samping radiasi pada jaringan kulit. Dosis radiasi permukaan mengacu pada radiasi yang diterima oleh permukaan kulit selama radioterapi. Upaya untuk mengoptimalkan pengukuran dosis radiasi permukaan dalam radioterapi dilakukan melalui verifikasi menggunakan metode dosimetri *in vivo*. Metode ini langsung memantau dosis radiasi pada pasien, mengurangi risiko negatif radioterapi, mengidentifikasi potensi kesalahan dalam perencanaan dosis radiasi, transfer data, pengiriman dosis radiasi, penataan pasien, dan perubahan anatomi pasien (Khan, 2014). Verifikasi dosis radiasi permukaan dilakukan dengan membandingkan dosis radiasi terukur pada dosimeter dengan dosis radiasi yang direncanakan pada *Treatment Planning System* (TPS) (Podgorsak, 2003).

Pengukuran dosis radiasi dalam radioterapi menggunakan berkas foton 6 MV telah dilakukan oleh Mukhlisin dkk., (2015) dengan verifikasi dibawah batas toleransi $\pm 5\%$ yang ditetapkan oleh AAPM-TG 142. Soleymanifard dkk., (2016) mengukur dosis radiasi permukaan pada pasien kanker payudara menggunakan TLD-100, menemukan variasi dosis radiasi permukaan tergantung pada karakteristik anatomi pasien. Pengukuran dosis radiasi permukaan juga dilakukan oleh Sung dkk., (2017) menunjukkan diskrepansi dosis radiasi berada di bawah batas toleransi AAPM-TG 53 sebesar $\pm 5\%$. Chen dkk., (2020) mengukur dosis radiasi permukaan dengan TLD GR-200F dan Film Gafchromic EBT3, menemukan perbedaan dosis radiasi yang masih dalam batas toleransi TRS 398 untuk memastikan akurasi pengukuran dosis radiasi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka telah dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai verifikasi dosis radiasi permukaan pada kasus kanker payudara metode dosimetri *in vivo*. Metode ini mengevaluasi ketepatan dosis radiasi yang sebenarnya diterima oleh pasien. Verifikasi dosis radiasi permukaan dilakukan dengan membandingkan dosis radiasi yang dihitung pada TPS dengan yang terukur menggunakan TLD-100 berdasarkan batas toleransi yang ditetapkan oleh laporan *American Association of Physicists in Medicine Task Group No. 219* sebesar 20%. Perhitungan dosis radiasi permukaan di TPS melalui *Patient Specific Quality Assurance* (PSQA) adalah sistem simulasi pada TPS yang untuk mengevaluasi kualitas yang disesuaikan dengan karakteristik pasien. TLD-100 memiliki keunggulan sensitif terhadap radiasi, memiliki akurasi yang tinggi serta tidak mudah dipengaruhi oleh lingkungan. TLD-100 ditempatkan pada titik tengah lapangan penyinaran untuk mewakili area target yang menerima dosis radiasi paling tinggi. Teknik 3D-CRT *Field in Field* memberikan dosis radiasi yang merata pada target namun, dosis radiasi yang tinggi pada permukaan berisiko menimbulkan efek samping radiasi. Oleh karena itu, verifikasi dosis radiasi permukaan penting dilakukan untuk memastikan pemberian dosis radiasi yang tepat dan aman selama radioterapi, sehingga efek negatif radiasi dapat diminimalkan.

II. METODE

Metode penelitian ini mencakup pemindaian dan kontur *slab phantom* serta TLD-100 menggunakan CT-Simulator, kalibrasi TLD-100, pengukuran radiasi permukaan pada kasus kanker payudara dengan TLD-100, dan verifikasi dosis radiasi permukaan pada kasus kanker payudara.

2.1 Kalibrasi TLD-100

Kalibrasi TLD-100 merupakan proses menentukan hubungan bacaan TLD-100 dengan dosis radiasi yang diberikan oleh Linac. Sebelum kalibrasi TLD-100 dilakukan, perlu dipastikan bahwa Linac berfungsi dengan optimal dengan melakukan pengukuran berkas foton Linac 6 MV dan memastikan hasilnya tidak melebihi $\pm 2\%$ sesuai dengan panduan (TRS No.398, 2000). Prosedur ini melibatkan

pengaturan voltase (+300 V, -300 V dan +100V) menggunakan detektor bilik ionisasi tipe *farmer* pada kedalam 10 cm dalam *slab phantom*. Langkah ini dilakukan sesuai dengan pansuan TRS 398 untuk memastikan Linac memberikan dosis radiasi yang akurat sebelum TLD-100 digunakan untuk pengukuran. Adapun pengukuran berkas foton Linac energi 6 MV dihitung menggunakan Persamaan (1) sampai Persamaan (5).

Faktor koreksi temperatur dan tekanan (k_{TP}) didapatkan dari nilai temperatur saat penyinaran (T) dengan nilai temperatur referensi (T_0) sebesar 20°C dan nilai tekanan saat penyinaran (P) dengan nilai tekanan referensi (P_0) sebesar 101,325 kPa. Nilai faktor koreksi temperatur dan tekanan dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$k_{TP} = \frac{273,2 + T}{273,2 + T_0} \times \frac{P_0}{P} \quad (1)$$

Faktor koreksi elektrometer bernilai 1 karena detektor bilik ionisasi dikalibrasi bersamaan dengan elektrometer. Faktor koreksi efek polaritas ialah faktor koreksi respon bilik ionisasi terhadap efek pergantian polaritas detektor. Nilai k_{pol} dihitung dari nilai muatan pada polaritas positif (M_+), muatan pada polaritas negatif (M_-), dan muatan pada polaritas yang rutin digunakan (M). Faktor koreksi kpol dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.

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

Faktor koreksi rekombinasi ion adalah faktor koreksi respon detektor terhadap pengumpulan muatan pada ionisasi di udara. Nilai k_s ditentukan dari hasil bacaan muatan yang rutin digunakan (M_1) dan muatan pada polaritas referensi (M_2) serta dipengaruhi oleh nilai koefisien kuadrat (a_0 , a_1 , dan a_2) yang diperoleh dari Tabel 4.VII TRS No. 398 IAEA. Faktor koreksi k_s dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

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

Faktor koreksi respon detektor bilik ionisasi adalah faktor koreksi perbedaan antara respon bilik ionisasi yang digunakan sebagai kalibrasi detektor terhadap kualitas berkas foton sesuai Tabel 6.III TRS No. 398 IAEA. Dosis berkas keluaran foton 6 MV ($D_{w,Q}$) dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (4)$$

Nilai M_Q dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$M_Q = M \cdot k_{TP} \cdot k_{elec} \cdot k_{pol} \cdot k_s \quad (5)$$

Nilai N_{D,w,Q_0} adalah koefisien kalibrasi pada dosis serap air pada kualitas referensi Q_0 yang bernilai $4,809 \times 10^7$ Gy/C pada bilik ionisasi tipe *farmer*. Nilai M_Q dan $D_{w,Q}$ digunakan sebagai referensi bacaan untuk menghitung nilai dosis radiasi pada *slab phantom*.

Nilai d_0 merupakan dosis radiasi pada kedalaman permukaan sedangkan d_{max} dosis radiasi pada kedalaman maksimum. $PDD d_0$ adalah nilai persentase perbandingan dosis pada kedalaman maksimum dan $PDD d_{max}$ merupakan nilai persentase perbandingan dosis pada kedalaman maksimum. Dosis radiasi dihitung menggunakan Persamaan 6 (Mayles et al, 2007)

$$\frac{d_0}{d_{max}} = \frac{PDD d_0}{PDD d_{max}} \quad (6)$$

Proses kalibrasi TLD-100 melibatkan 27 *chip* TLD-100 yang disinari oleh Linac energi 6 MV, menggunakan luas lapangan (10×10) cm² dan SDD 100 cm. Detektor bilik ionisasi digunakan untuk kalibrasi pada kedalaman 10 cm, sementara TLD-100 ditempatkan di titik tengah lapangan penyinaran secara bersamaan. Penyinaran dilakukan dengan variasi dosis radiasi sebesar (0; 20; 50; 80; 100; 150; 200; 250; 370) cGy dinormalisasikan pada kedalaman maksimum (d_{max}). Perbandingan bacaan TLD-

100 dengan variasi dosis radiasi di TPS menghasilkan kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi digunakan untuk mengonversi bacaan TLD-100 menjadi dosis radiasi yang akurat berdasarkan dosis radiasi yang diberikan pada penyinaran. 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 7.

$$TL_b = TL_t - TL_l \quad (7)$$

Kurva kalibrasi TLD-100 menunjukkan hubungan antara dosis radiasi TPS dengan bacaan TLD-100. Hasil bacaan TLD-100 dengan intensitas TL_{bersih} dibandingkan dengan hasil bacaan dosis radiasi detektor bilik ionisasi pada kondisi referensi yang sama (diper permukaan), sehingga dihasilkan faktor kalibrasi. Faktor kalibrasi TLD-100 dihitung menggunakan Persamaan 8 (International Atomic Energy Agency, 2008).

$$FK = \frac{Dosis\ IC\ d_0}{TL_b\ d_0} \quad (8)$$

2.2 Pengukuran Dosis Radiasi Permukaan Menggunakan TLD-100

Pengukuran dan perhitungan dosis radiasi permukaan dilakukan sesuai dengan hasil perencanaan pasien yang telah dibuat oleh fisikawan medis di TPS. Perencanaan pasien diekspor ke gambar dicom dari *slab phantom*. Ekspor perencanaan pasien ke *slab phantom* dilakukan dengan pembuatan perencanaan verifikasi (*verification plan*) melalui *Patient Specific QA* (PSQA) melalui *Anisotropic Analytical Algorithm* (AAA) di TPS. Hasil verifikasi perencanaan verifikasi yang telah melalui PSQA dikirim ke komputer *console* melalui komputer ARIA. Komputer ARIA merupakan sistem jaringan penghubung antara TPS dengan komputer *console*. Hasil dosis yang terukur pada TLD-100 memberikan gambaran tentang paparan radiasi permukaan saat terapi berlangsung.

2.3 Verifikasi Dosis Radiasi Permukaan Pada Kasus Kanker Payudara

Verifikasi dosis radiasi bertujuan untuk memvalidasi kesesuaian dosis radiasi yang terukur pada TLD dengan dosis radiasi perencanaan pasien. Hal ini dilakukan dengan membandingkan dosis radiasi permukaan pada TPS (D_{TPS}) dengan pengukuran dosis radiasi permukaan yang terukur TLD-100 ($D_{terukur}$). Perbedaan antara kedua nilai tersebut dievaluasi berdasarkan (Kry et al., 2020) yang menetapkan batas toleransi dosis radiasi sebesar 20%. Batas toleransi ini berarti bahwa perbedaan antara dosis radiasi TPS (D_{TPS}) dan dosis radiasi terukur TLD-100 ($D_{terukur}$) tidak melebihi 20% agar dosis radiasi yang diterima berada dalam batas toleransi aman dan sesuai dengan yang direncanakan. Hasil verifikasi diperoleh dengan menghitung diskrepansi antara $D_{terukur}$ dan D_{TPS} menggunakan Persamaan 9. Diskrepansi ini memberikan informasi tentang akurasi sistem perencanaan pengobatan radiasi dalam memberikan dosis radiasi pada pengobatan. Batas toleransi diskrepansi dosis radiasi digunakan untuk menentukan apakah verifikasi berhasil.

$$Diskrepansi\ (\%) = \left| \frac{D_{terukur} - D_{TPS}}{D_{TPS}} \right| \times 100\% \quad (9)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kalibrasi TLD-100

3.1.1 Keluaran berkas foton 6 MV

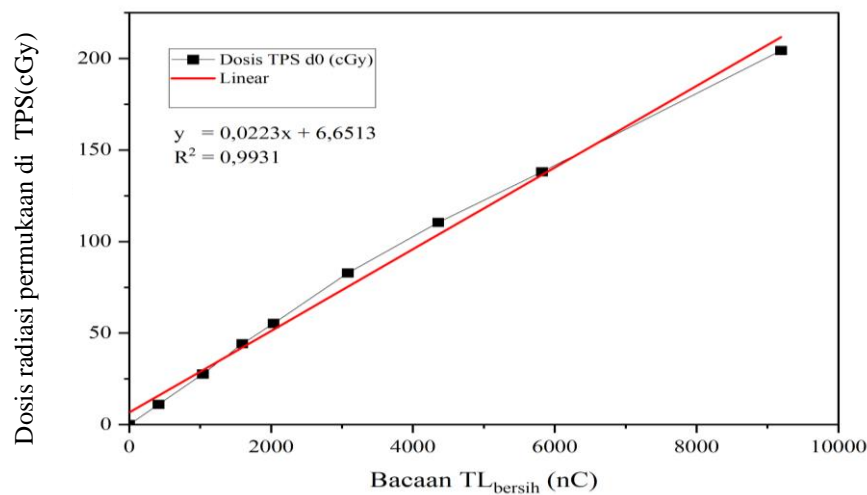
Keluaran berkas foton Linac 6 MV dihitung menggunakan Persamaan (1) sampai (5). Nilai diskrepansi dosis radiasi pada pengukuran keluaran berkas foton 6 MV didapatkan sebesar 0,258% berada dalam batas toleransi IAEA TRS 398 $\pm 2\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa Linac memberikan dosis radiasi akurat sesuai standar kualitas terapi radiasi, sehingga Linac yang digunakan dalam kondisi yang optimal. Hasil pengukuran keluaran berkas foton 6 MV dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. keluaran berkas foton 6 MV

No	Faktor Koreksi	Faktor Koreksi Pengukuran
1.	kTP	1,004
2.	kelec	1
3.	kpol	1
4.	ks	1,003
5.	k_{Q,Q_0}	0,992
6.	M_Q	28,065 nC
7.	$D_{w,Q}$	133,745 cGy
8.	Diskrepansi	0,258%

3.1.2 Kurva Kalibrasi TLD-100

Kurva kalibrasi digunakan untuk mengonversi bacaan TLD-100 menjadi dosis radiasi yang akurat berdasarkan variasi dosis radiasi yang diberikan pada penyinaran. Kurva kalibrasi TLD-100 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kurva Kalibrasi TLD-100

Gambar 1 menunjukkan hubungan linier antara bacaan TLD-100 dan dosis radiasi TPS dengan persamaan $y = 0,0223x + 6,6513$ dan nilai $R^2 = 0,9931$. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi TLD-100 yang tinggi dalam mengukur dosis radiasi radiasi (Mukhlisin dkk., 2015).

3.1.3 Faktor kalibrasi TLD-100

Hasil perhitungan faktor kalibrasi menunjukkan hubungan antara dosis radiasi yang diterima oleh detektor bilik ionisasi (cGy) terhadap nilai bacaan TLD-100 (nC). Nilai faktor kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor kalibrasi TLD-100

No	Dosis IC d_0 (cGy)	Bacaan TL_{bersih} (nC)	Faktor Kalibrasi (cGy/nC)
1.	11,65	414,03	0,028
2.	28,96	1039,06	0,028
3.	46,31	1592,82	0,029
4.	57,91	2034,62	0,028
5.	86,82	3082,78	0,028
6.	115,77	4358,32	0,027
7.	154,69	5820,63	0,027
8.	253,24	9193,25	0,028

Berdasarkan Tabel 2, nilai faktor kalibrasi didapatkan dari rentang 0,027 cGy/nC hingga 0,029 cGy/nC. Nilai kalibrasi TLD-100 menunjukkan hubungan yang proporsional antara dosis radiasi pada detektor bilik ionisasi (IC) dan bacaan TLD-100. Faktor kalibrasi memastikan interpretasi bacaan TLD-100 yang akurat dan stabilitasnya menunjukkan pengukuran dosis yang konsisten.

3.2 Pengukuran Dosis Radiasi Permukaan menggunakan TLD-100

Perhitungan dosis radiasi permukaan dilakukan untuk mengetahui nilai dosis radiasi yang diterima oleh permukaan saat terapi berlangsung Hasil pengukuran dosis permukaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran dosis radiasi permukaan

Pasien	Bacaan rata-rata TLbersih (nC)	Dosis radiasi permukaan pada TLD-100 (cGy)
DAY	5127,02	120,98
Y	5567,64	130,81
EG	4937,00	116,75
EM	4861,93	115,07
RM	5272,92	124,24

Berdasarkan Tabel 2 dosis radiasi permukaan tertinggi 130,81 cGy pada pasien Y dan dosis radiasi terendah 115,07 cGy pada pasien EM. Variasi nilai dosis radiasi permukaan disebabkan oleh perbedaan perencanaan pengobatan, mencakup parameter dosis radiasi yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristik spesifik pasien (Soleymanifard dkk., 2016). Perencanaan pengobatan seperti ukuran tumor, kedalaman tumor, distribusi jaringan payudara, dan geometri anatomi pasien (Sung dkk., 2017). Berdasarkan AAPM *Radiation Therapy Committee Task Group* 191 bahwa penyebab perbedaan dosis radiasi yang diterima pasien adalah sensitivitas yang mencerminkan respons TLD-100 terhadap radiasi dan efek fading merupakan penurunan respons TLD-100 seiring waktu.

3.3 Verifikasi Dosis Radiasi Permukaan pada Kasus Kanker Payudara

Verifikasi dosis radiasi dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara dosis radiasi yang direncanakan pada TPS dengan dosis radiasi yang diterima oleh permukaan. Hasil verifikasi dosis radiasi permukaan dihitung menggunakan Persamaan 5 yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Verifikasi dosis radiasi permukaan pada kasus kanker payudara

Pasien	Dosis permukaan TPS (cGy)	Dosis Permukaan TLD-100 (cGy)	Diskrepansi dosis radiasi (%)
DAY	117,80	120,98	2,70
Y	121,00	130,81	8,11
EG	116,50	116,75	0,21
EM	113,30	115,70	1,56
RN	114,9	124,24	8,13

Berdasarkan Tabel 3 verifikasi dosis radiasi pada 5 kasus penyinaran kanker payudara menunjukkan bahwa hasil diskrepansi dosis radiasi permukaan yang diukur memenuhi batas toleransi sebesar 20% yang ditetapkan oleh *American Association of Physicists in Medicine Task Group No. 219* yang diterbitkan pada tahun 2021. Hal ini dibuktikan dengan nilai diskrepansi dosis radiasi permukaan yang berkisar antara 0,21% hingga 8,13%. Hasil ini menunjukkan bahwa hasil dosis radiasi permukaan berada dalam batas toleransi yang aman.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap lima kasus kanker payudara, ditemukan bahwa diskrepansi dosis radiasi permukaan berada dalam rentang 0,21% hingga 8,13%. Hasil ini menunjukkan bahwa pengukuran dosis permukaan berada dalam batas toleransi 20% yang ditetapkan oleh AAPM-TG No. 219. Dengan demikian, verifikasi dosis radiasi pada kasus kanker payudara telah berhasil menunjukkan bahwa dosis radiasi yang direncanakan pada TPS dan dosis radiasi yang terukur memiliki diskrepansi yang masih dalam batas toleransi yang aman.

DAFTAR PUSTAKA

Chen, C. H., Hsieh, C. C., Chang, C. S., & Chen, M. F. (2020). A retrospective analysis of dose distribution and toxicity in patients with left breast cancer treated with adjuvant intensity-

- modulated radiotherapy: Comparison with three-dimensional conformal radiotherapy. *Cancer Management and Research*, 12, 9173–9182. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S269893>
- Ferlay, J., Colombet, M., Soerjomataram, I., Parkin, D. M., Piñeros, M., Znaor, A., & Bray, F. (2021). Cancer statistics for the year 2020: An overview. *International Journal of Cancer*, 149(4), 778–789. <https://doi.org/10.1002/ijc.33588>
- International Atomic Energy Agency. (2008). IAEA Technical Report Series. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 35(5), 1030–1031. <https://doi.org/10.1007/s00259-008-0767-4>
- Khan, F. M. (2014). *The Physics of Radiation Therapy* (fifth edit). Lippincott Williams & Wilkins.
- Kry, S. F., Alvarez, P., Cygler, J. E., DeWerd, L. A., Howell, R. M., Meeks, S., O’Daniel, J., Reft, C., Sawakuchi, G., Yukihiro, E. G., & Mihailidis, D. (2020). *AAPM TG 191: Clinical use of luminescent dosimeters: TLDs and OSLDs*.
- Mayles, P.; Nahum, A.; Rosenwald, J. C. (2007). *Handbook of Radiotherapy Physics: Theory and Practice*. Taylor & Francis.
- Mukhlisin, Maulana, A., Andreas, & Pawiro, S. A. (2015). Pengaruh Metode Kalibrasi Dosis Tunggal dan Interval TLD-100 LiF:Mg,Ti Terhadap Audit Dosimetri Radioterapi.
- Podgorsak. (2003). Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. <https://doi.org/10.1120/jacmp.2021.25315>
- Soleymanifard, S., Aledavood, S. A., Noghreiyani, A. V., Ghorbani, M., Jamali, F., & Davenport, D. (2016). In vivo skin dose measurement in breast conformal radiotherapy. *Wspolczesna Onkologia*, 20(2), 137–140. <https://doi.org/10.5114/wo.2015.54396>
- Sung, S.-Y., Lee, H.-Y., Tu, P.-C., Lin, C.-H., Yu, P.-C., Lui, L. T., Shaw, S., Wu, C.-J., & Nien, H.-H. (2017). In vivo dosimetry of skin surface for breast cancer radiotherapy using intensity-modulated radiation therapy technique and helical tomotherapy. *Therapeutic Radiology and Oncology*, 1(September), 2–2. <https://doi.org/10.21037/tro.2017.11.01>
- TRS No.398. (2000). Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. In *International Atomic Energy Agency*.