



Studi Komparatif Respons Energi dan Sensitivitas TLD-100 dan TLD-100H pada Radiasi Foton LINAC 6 MV

Ega Salsa Billa^{1*}, Aulia Gamboa Rodriques¹, Erlinda Ratnasari Putri¹

¹⁾ Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman Jl. Barong Tongkok No 4, Gunung Kelua, Kecamatan Samarinda Ulu, Samarinda 75242, Kalimantan Timur, Indonesia

*E-mail korespondensi: egasalsa438@gmail.com

Article Info:

Received: 15-12-2025

Revised: 05-02-2026

Accepted: 23-02-2026

Keywords:

TLD-100; TLD-100H;

Energy correction factor;

Radiotherapy; Dosimetry



Abstract

Accurate radiation dose measurement is essential in radiotherapy dosimetry, particularly for treatments delivered using 6 MV photon beams from a Linear Accelerator (LINAC). Thermoluminescent dosimeters (TLDs) are extensively used in clinical practice due to their small dimensions, near tissue-equivalent response, and reliable dosimetric performance. Among these, TLD-100 (LiF:Mg,Ti) has long been established as a reference dosimeter, while TLD-100H (LiF:Mg,Cu,P) has been developed to provide enhanced sensitivity. This study presents a comparative evaluation of the energy response and sensitivity of TLD-100 and TLD-100H under 6 MV LINAC photon irradiation, based on a critical review of previous experimental, Monte Carlo, and clinical studies. The reviewed results indicate that TLD-100 exhibits a stable energy response with relatively low energy dependence in high-energy photon beams, supporting its suitability for clinical dose verification. In contrast, TLD-100H demonstrates markedly higher sensitivity, making it particularly advantageous for low-dose and scattered radiation measurements, albeit with increased susceptibility to variations in irradiation conditions and calibration procedures. These findings highlight that the choice of thermoluminescent dosimeter in radiotherapy should be guided by the intended dosimetric application, with careful consideration of the balance between energy response stability and sensitivity.

PENDAHULUAN

Pada sistem radioterapi berbasis LINAC 6 MV, pengukuran dosis dipengaruhi oleh karakteristik spektrum energi yang terbentuk dari radiasi primer dan radiasi hambur akibat interaksi foton dengan komponen kepala LINAC, kolimator, dan medium penyinaran. Kompleksitas spektrum energi tersebut menjadikan karakteristik dosimeter, khususnya respons energi dan sensitivitas, sebagai faktor penting dalam keakuratan pengukuran dosis. Dosimeter termoluminesensi (*Thermoluminescent Dosimeter*, TLD) banyak digunakan dalam dosimetri radioterapi karena ukurannya kecil, bersifat mendekati jaringan ekuivalen, serta mampu merekam dosis secara kumulatif. Dari berbagai jenis TLD, TLD-100 (LiF:Mg,Ti) telah lama digunakan sebagai dosimeter standar, sementara TLD-100H (LiF:Mg,Cu,P) dikembangkan dengan sensitivitas yang lebih tinggi. Perbedaan karakteristik material kedua dosimeter tersebut dilaporkan dalam berbagai studi terdahulu dan menunjukkan adanya variasi respons energi dan sensitivitas pada berkas foton LINAC 6 MV [1].

Berdasarkan berbagai laporan penelitian yang telah dipublikasikan, diperlukan suatu kajian literatur yang terstruktur untuk merangkum dan membandingkan karakteristik respons

energi dan sensitivitas dosimeter TLD-100 dan TLD-100H pada radiasi foton LINAC 6 MV. Oleh karena itu, review artikel ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan komprehensif terhadap hasil-hasil penelitian terdahulu, baik studi eksperimental, simulasi, maupun aplikasi klinis, guna memberikan gambaran yang jelas mengenai karakteristik dari TLD-100 dan TLD-100H. Diharapkan kajian ini dapat menjadi referensi dalam pemilihan dosimeter yang sesuai untuk aplikasi dosimetri radioterapi berbasis LINAC.

Radioterapi dan LINAC

Radioterapi merupakan metode pengobatan kanker yang memanfaatkan radiasi pengion untuk merusak sel ganas [2]. Dalam praktik radioterapi, pesawat LINAC digunakan sebagai sumber utama radiasi karena mampu menghasilkan berkas foton energi megavoltage yang terkontrol. Energi foton 6 MV merupakan salah satu energi yang paling umum digunakan pada radioterapi eksternal karena memberikan karakteristik penetrasi yang sesuai untuk berbagai lokasi tumor. Berkas foton LINAC terdiri dari radiasi primer dan kontribusi radiasi hambur yang membentuk spektrum energi tertentu, sehingga diperlukan sistem dosimetri yang sesuai untuk pengukuran dosis pada kondisi tersebut [3].

Dosimeter Termoluminisensi (TLD)

Dosimeter TLD merupakan detektor radiasi yang bekerja berdasarkan emisi cahaya akibat pemanasan material setelah menyerap energi radiasi. Intensitas cahaya yang dihasilkan sebanding dengan dosis radiasi yang diterima. TLD banyak digunakan dalam dosimetri radioterapi karena memiliki ukuran kecil, bersifat mendekati jaringan ekuivalen, dan mampu merekam dosis radiasi secara kumulatif. Dalam aplikasi radioterapi menggunakan LINAC, TLD sering digunakan untuk pengukuran dosis absolut, verifikasi dosis, dan evaluasi distribusi dosis pada phantom [4].

Dosimeter TLD-100

TLD-100 merupakan dosimeter termoluminesensi berbasis litium fluorida yang didoping dengan magnesium dan titanium. Dosimeter ini dikenal memiliki karakteristik respons yang stabil dan telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi dosimetri radiasi. Pada pengukuran dosis menggunakan berkas foton LINAC energi 6 MV, TLD-100 banyak dimanfaatkan sebagai dosimeter referensi karena sifatnya yang mendekati jaringan ekuivalen dan reproduksibilitas yang baik. Beberapa penelitian terdahulu melaporkan penggunaan TLD-100 untuk pengukuran dan verifikasi dosis pada teknik radioterapi berbasis LINAC [1].

Dosimeter TLD-100H

TLD-100H merupakan pengembangan dari dosimeter berbasis LiF dengan penambahan dopan magnesium, tembaga, dan fosfor. Kombinasi dopan tersebut menghasilkan sensitivitas termoluminesensi yang lebih tinggi dibandingkan TLD-100. TLD-100H banyak digunakan pada aplikasi yang memerlukan deteksi dosis rendah, termasuk dalam pengukuran radiasi hambur dan proteksi radiasi. Dalam konteks radioterapi menggunakan LINAC, TLD-100H telah dilaporkan digunakan untuk pengukuran dosis pada berkas foton energi megavoltage, dengan karakteristik sensitivitas yang berbeda dari TLD-100 [5].

Respons Energi dan Sensitivitas Dosimeter

Respons energi dan sensitivitas merupakan dua parameter penting dalam karakterisasi dosimeter termoluminesensi. Respons energi menggambarkan perubahan sinyal dosimeter terhadap energi radiasi yang digunakan, sedangkan sensitivitas menunjukkan kemampuan dosimeter dalam menghasilkan sinyal termoluminesensi terhadap dosis tertentu. Pada

penggunaan berkas foton LINAC 6 MV, kedua parameter tersebut menjadi perhatian karena berpengaruh terhadap hasil pengukuran dosis. Oleh karena itu, kajian terhadap respons energi dan sensitivitas TLD-100 dan TLD-100H diperlukan sebagai dasar pemahaman karakteristik dosimeter pada aplikasi radioterapi [6].

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini didasarkan pada studi literatur yang melibatkan peninjauan sebanyak 15 artikel ilmiah. Studi literatur dilakukan selama 2 bulan, dimulai dari proses identifikasi artikel. Artikel yang direview dipilih secara manual dari basis data ilmiah seperti Google Scholar dengan topik terkait Kinerja Dosimeter Termoluminesensi (TLD) dan Dosimeter *Film* dalam Pengukuran Dosis Radiasi, dengan tahun publikasi antara 2020 hingga 2025. Sebanyak 15 artikel dipilih berdasarkan keterbaruan, dan kualitasnya untuk mendukung analisis penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. berikut ini adalah ringkasan perbandingan dari berbagai penelitian yang membahas analisis Kinerja Dosimeter Termoluminesensi (TLD) dan Dosimeter *Film* dalam Pengukuran Dosis Radiasi. Tabel 1. Menampilkan informasi penting seperti jenis dosimeter dan metode yang akan di gunakan dan hasilnya:

Tabel 1. Perbandingan Metode dan Temuan Utama dari 15 Studi TLD-100 dan TLD-100H

DOSIMETER	METODE	HASIL	REFERENSI
TLD-100	Verifikasi dosis permukaan pada teknik 3D-CRT dan IMRT, dibandingkan dengan hasil TPS.	Deviasi dosis IMRT lebih kecil dari 3D-CRT dan masih dalam batas toleransi AAPM IMRT lebih konformal.	[1]
TLD-100 (LiF:Mg,Ti) & MCP-100 / TLD-100H-equivalent (LiF:Mg,Cu,P)	Pengukuran dosis absolut dan ketergantungan energi pada berkas proton (70–230 MeV), dikalibrasi terhadap foton 6 MV.	TLD-100 memiliki ketergantungan energi lebih kecil dan ketidakpastian dosis lebih rendah setelah koreksi, dibanding LiF:Mg,Cu,P.	[2]
TLD-100H	Evaluasi linearitas dan reproduktibilitas pada berkas foton 6 MV setelah kalibrasi.	Layak digunakan untuk pengukuran dosis 6 MV dengan akurasi baik, meski memerlukan kontrol annealing dan faktor koreksi.	[3]
TLD-100 (LiF:Mg,Ti)	Analisis respons dosis dan penerapan elemen faktor koreksi	Respons linearitas baik di foton 6 MV dan ECF mengurangi variasi respons pentingnya faktor koreksi energi	[4]
Thermoluminescent Dosimeter (TLD) tipe LiF: Mg, Cu, P (TLD-100H)	Simulasi Monte Carlo (Geant4) untuk menganalisis respons	Respons energi stabil pada 16–1250 keV dengan akurasi sangat tinggi menunjukkan kesesuaian model dan	[5]

	energi terhadap variasi jumlah event.	kondisi nyata yang sangat baik.	
TLD-100 (LiF:Mg,Ti)	Respons dosis linear tinggi dan variasi sensitivitas rendah mendukung penggunaan TLD-100 bila disertai kalibrasi koreksi energi	Respons dosis linear tinggi & variasi sensitivitas rendah; mendukung penggunaan TLD-100 bila disertai kalibrasi & koreksi energi	[6]
TLD-100 (LiF:Mg,Ti) & TLD-100H (LiF:Mg,Cu,P)	Investigasi thermal quenching pada berbagai laju pemanasan dan tingkat dosis menggunakan sumber beta.	TLD-100H tidak menunjukkan thermal quenching, sedangkan TLD-100 menunjukkan ketergantungan respons pada dosis rendah dan laju pemanasan.	[7]
TLD-100	Uji laboratorium untuk menilai linearitas, stabilitas, dan reproduksibilitas pada kondisi klinis.	Karakter respons stabil dan linear dan variasi antar elemen dapat ditekan dengan penerapan ECF dan koreksi energi.	[8]
TLD-100H	Pengukuran dosis radiasi hambur pada tenaga medis selama fluoroskopi C-arm.	TLD-100H lebih responsif terhadap dosis hambur rendah, sehingga lebih efektif untuk pemantauan dosis pekerja.	[10]
TLD-100 (LiF:Mg,Ti)	Pengujian keseragaman respons pada sinar-X konvensional (60 – 80 kV) menggunakan SPC dan faktor koreksi energi.	Respons TLD seragam dan memenuhi standar ISO dan variasi tinggi sehingga diperlukan koreksi energi dan penyinaran ulang.	[11]
TLD-100H (LiF:Mg,Cu,P)	Analisis glow-curve dan parameter kinetika termoluminesensi.	TLD-100H memiliki trap energi yang menjelaskan emisi cahaya kuat dan keunggulan pada dosis rendah; TLD-100 lebih stabil terhadap efek tertentu pada energi tinggi.	[12]
TLD-100 & TLD-100H	Pengukuran dosis radiasi hambur di area mata tenaga medis selama kateterisasi jantung.	TLD-100H menunjukkan sensitivitas lebih tinggi terhadap radiasi hambur dibanding TLD-100, lebih sesuai untuk evaluasi dosis rendah klinis.	[13]
TLD-100 (LiF:Mg,Ti)	TLD-100 dikalibrasi dengan berkas 6 MV, ditempatkan di phantom pada posisi Dmax, lalu	Dosis terukur TLD sangat sesuai dengan TPS, film menunjukkan deviasi lebih besar pada beberapa kriteria,	[14]

	dibaca setelah penyinaran untuk dibandingkan dengan hasil TPS.	sehingga TLD lebih konsisten untuk verifikasi dosis absolut.	
TLD-100H	Eksperimen laboratorium: kalibrasi, uji linearitas dosis rendah, dan dekonvolusi glow-curve.	Sensitivitas sangat tinggi dan linearitas baik pada dosis klinis rendah; karakter glow-curve mendukung pembacaan yang lebih akurat	[15]
OSLD nanoDots, TLD-100 (LiF:Mg,Ti), dan TLD-100H (LiF:Mg,Cu,P)	Studi klinis/phantom pada pemeriksaan thoraks anak untuk membandingkan sensitivitas dosimeter pada dosis rendah.	TLD-100H paling sensitif pada dosis rendah, melampaui TLD-100 dan OSLD unggul untuk aplikasi diagnostik.	[16]

TLD-100 dikenal memiliki stabilitas respons energi yang baik dan ketergantungan energi yang relatif kecil pada berkas foton energi tinggi. Pada studi [1] yang mengevaluasi penggunaan TLD-100 pada teknik radioterapi IMRT dan 3D-CRT, hasil pengukuran dosis menunjukkan deviasi yang masih berada di bawah batas toleransi yang direkomendasikan. Studi ini menegaskan bahwa TLD-100 memiliki ketergantungan energi yang relatif kecil pada berkas foton 6 MV. Karakteristik ini menjadikan TLD-100 lebih stabil untuk verifikasi dosis klinis, meskipun kalibrasi dan penerapan faktor koreksi energi tetap diperlukan untuk meningkatkan kesesuaian dengan perhitungan sistem perencanaan terapi (TPS).

Karakteristik ini menjadikan TLD-100 lebih toleran terhadap variasi spektrum energi yang terjadi selama penyinaran radioterapi 6 MV, termasuk kontribusi radiasi hambur. Dengan demikian, meskipun faktor koreksi energi tetap diperlukan, besarnya koreksi pada TLD-100 umumnya lebih kecil dibandingkan dosimeter dengan sensitivitas lebih tinggi [4].

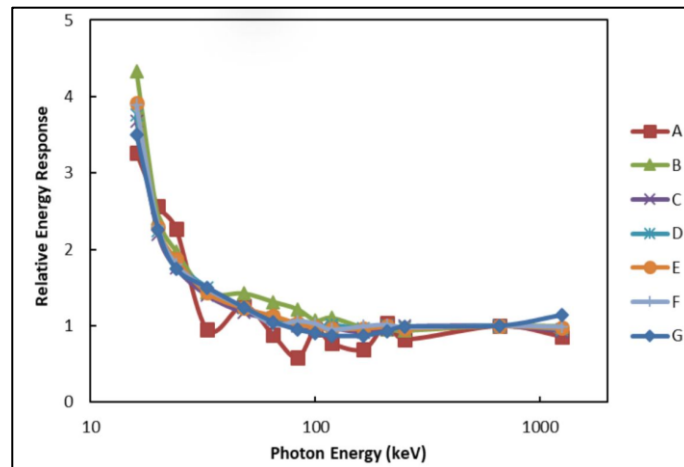
Berbeda dengan TLD-100, TLD-100H menunjukkan sensitivitas yang jauh lebih tinggi, sehingga sangat efektif untuk pengukuran dosis rendah dan radiasi hambur. Sensitivitas ini dikaitkan dengan struktur perangkap energi yang lebih efisien akibat kombinasi dopan Mg, Cu, dan P. Studi simulasi Monte Carlo yang dilakukan oleh [5] menunjukkan bahwa TLD-100H memiliki respons energi yang stabil dengan deviasi sangat kecil antara hasil simulasi dan eksperimen.

Berdasarkan Gambar 1. respons energi TLD-100H relatif datar (stabil) pada rentang energi menengah hingga tinggi, dengan deviasi rata-rata hanya sekitar 0,59% antara simulasi dan data eksperimen. Nilai deviasi 0,59% mengindikasikan bahwa faktor koreksi energi yang diterapkan sudah efektif, serta memperlihatkan bahwa perubahan energi tidak menyebabkan fluktuasi tajam pada grafik respons TLD-100H. Namun, pada energi lebih rendah, grafik menunjukkan kecenderungan peningkatan respons, yang menandakan adanya ketergantungan energi yang tetap perlu dikoreksi.

Sensitivitas tinggi TLD-100H diperkuat oleh hasil eksperimen laboratorium yang dilaporkan oleh [15], yang menunjukkan bahwa TLD-100H memiliki linearitas respons yang baik pada rentang dosis klinis rendah, dengan sensitivitas yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan TLD-100. Temuan ini diperkuat oleh [3] yang menyatakan bahwa TLD-100H layak digunakan pada berkas foton 6 MV, tetapi dengan syarat dilakukan prosedur kalibrasi dan pengelolaan annealing secara ketat untuk menjaga akurasi bacaan.

Pengaruh energi terhadap nilai koreksi ditunjukkan secara jelas pada studi [11]. Pada pengukuran sinar-X konvensional, nilai faktor koreksi energi TLD-100 menurun dari 0,753 pada 60 kV, menjadi 0,576 pada 80 kV. Penurunan nilai ini menunjukkan bahwa respons relatif TLD

berubah seiring peningkatan energi, akibat perbedaan antara energi kalibrasi dan energi pengukuran. Meskipun studi ini dilakukan pada energi diagnostik, fenomena tersebut tetap relevan pada radioterapi 6 MV karena berkas klinis mengandung komponen energi rendah akibat hamburan.



Gambar 1. Grafik Respons Energi Relatif dari Chip TLD-100H (Lif: Mg, Cu, P)

Dalam konteks pengukuran dosis rendah dan radiasi hambur, studi [13] menunjukkan bahwa TLD-100H memberikan respons yang lebih tinggi dibandingkan TLD-100 ketika digunakan untuk mengukur dosis radiasi hambur pada prosedur fluoroskopi. Hal ini menunjukkan bahwa sensitivitas tinggi TLD-100H lebih efektif untuk mendeteksi dosis kecil, namun juga meningkatkan potensi overestimasi dosis apabila faktor koreksi energi tidak diterapkan secara tepat.

Perbandingan ketergantungan energi dosimeter dilaporkan oleh studi [8] pada pengukuran dosis absolut dan ketergantungan energi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa TLD-100 memiliki ketergantungan energi yang lebih kecil dibandingkan LiF:Mg,Cu,P, serta menghasilkan ketidakpastian dosis yang lebih rendah setelah koreksi energi diterapkan. Temuan ini sejalan dengan studi [4] yang menunjukkan bahwa penerapan element correction factor (ECF) pada TLD-100 mampu mengurangi variasi respons antar elemen secara signifikan.

Dalam aplikasi radioterapi foton 6 MV, Beberapa Studi menunjukkan bahwa TLD-100 merupakan pilihan yang lebih stabil untuk verifikasi dosis klinis, sedangkan TLD-100H lebih optimal untuk pengukuran dosis rendah dan evaluasi radiasi hambur. Sensitivitas tinggi TLD-100H menuntut penerapan faktor koreksi energi yang lebih ketat, sementara TLD-100 menunjukkan ketergantungan energi yang lebih kecil dan ketidakpastian dosis yang lebih rendah setelah kalibrasi [17].

KESIMPULAN

Dari hasil tinjauan yang dilakukan, TLD-100 dan TLD-100H menunjukkan perbedaan karakteristik respons energi dan sensitivitas pada radiasi foton LINAC 6 MV. TLD-100 secara konsisten dilaporkan memiliki respons energi yang stabil dan reproduktif pada kondisi radioterapi megavoltage, sehingga lebih sesuai digunakan untuk verifikasi dosis klinis dan pengukuran dosis referensi pada sistem LINAC 6 MV. Sebaliknya, TLD-100H menunjukkan sensitivitas yang jauh lebih tinggi, sehingga lebih tepat digunakan untuk pengukuran dosis rendah dan evaluasi radiasi hambur pada lingkungan LINAC, meskipun memerlukan kontrol kalibrasi yang lebih ketat. Dengan demikian, review ini menegaskan bahwa TLD-100 lebih unggul dari sisi stabilitas respons energi, sedangkan TLD-100H lebih unggul dari sisi sensitivitas pada aplikasi dosimetri LINAC 6 MV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama penulisan dan review jurnal ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Ibu Erlinda Ratnasari Putri, S.Si, M.Si. yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berguna. Dukungan dan bantuan dari Fakultas serta dosen-dosen sangat membantu dalam menyelesaikan review ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wulandari, S., Hapsari, D., & Prasetyo, W. (2024). *Verification of IMRT and 3D-CRT radiotherapy dose using TLD-100*. *Jurnal Profesi Medika*, 18(1), 90–99.
- [2] Ghobadi, G., Mesbahi, A., & Mohammadi, M. (2020). Dose-response of TLD-100 in the dose range useful for hypofractionated radiotherapy. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 25(2), 192–197.
- [3] Zuber, S. H., Ishak, N. H., Abdul Raof, N., Hashikin, N. A. A., Abdul Aziz, M. Z., & Mohd Yusof, M. F. (2023). *Evaluation of TLD-100H at 6-megavoltage photon beam: A one centre practice*. *Buletin Sains Kesihatan*, 7(2), 39–45.
- [4] Liuzzi, R., Piccolo, C., D'Avino, V., et al. (2020). *Dose-response of TLD-100 in the dose range useful for hypofractionated radiotherapy*. *Dose-Response*, 18(1), 1–8.
- [5] Priharti, A. (2020). *Analisis respons energi TLD LiF:Mg,Cu,P menggunakan simulasi Monte Carlo Geant4*. *Jurnal Fisika Flux*, 17(2), 45–52.
- [6] Hossain, M. Z., Purohit, S., Arobi, N., Rahman, M. S., & Meaze, A. K. M. H. (2022). *Study of the response and calibration procedures of LiF:Mg,Ti TLD-100 for the dosimetry of photon beam*. *Bangladesh Journal of Physics*, 29(2), 59–67.
- [7] Aşlar, E. (2023). *Investigation of thermal quenching effect for lithium fluoride (LiF) type dosimeters*. *Cumhuriyet Science Journal*, 44(2), 389–395.
- [8] Alanazi, S. F., Alarifi, H., Alshehri, A., & Almurayshid, M. (2023). *Response evaluation of two commercial thermoluminescence dosimeters (TLDs) against different parameters*. *BJR Open*, 5(1), 2035.
- [9] Chen, Y.-S., Wu, S.-W., Huang, H.-C., & Chen, H.-H. (2022). *Absolute dose measurement and energy dependence of LiF dosimeters in proton therapy beam dosimetry*. *Therapeutic Radiology and Oncology*, 6(1), 14–22.
- [10] Mottareale, R., Manna, F., Carmosino, P. A., Fiore, F., Correr, M., Stilo, S., Tarotto, L., & Pugliese, M. (2025). *Exposure time dependence of operators' head entrance air kerma in interventional radiology measured by TLD-100H chips*. *Sensors*, 25(12), 36–66.
- [11] Nurulita, D., Rahmawati, E., & Puspita, A. (2023). *Evaluasi keseragaman dan faktor koreksi TLD-100 pada berbagai tegangan sinar-X*. *Kappa Journal*, 9(1), 85–92.
- [12] Pop, O. M., Maslyuk, V. T., Svatiuk, N. I., Rusyn, A. V., Yavorskyi, P. V., & Roman, V. I. (2025). *Thermoluminescent dosimetry of mixed nuclear radiation: Radioisotope stands*. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 28(2), 158–165.
- [13] Samsun, S., Syarif, E. P. H., Sriyatun, S., Winarno, G., & Sasongko, A. (2023). *Analysis of scattered radiation dose in cardiac catheterization examination in the cathlab room using TLD*. *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, 2(11), 1531–1536.
- [14] Sisin, F., Rahmadani, L., & Putri, S. (2025). *Comparison of Gafchromic EBT-XD film and TLD-100 for radiotherapy dose verification*. *Sains Malaysiana*, 54(3), 944–958.
- [15] Stella, G., Sallah, A., Galvagno, R., D'Anna, A., & Gueli, A. M. (2024). *Simultaneous double dose measurements using TLD-100H*. *Crystals*, 14(7), Article 603.

- [16] Symonds, P. R., Deehan, C., Meredith, C., & Mills, J. A. (2012). *Walter and Miller's textbook of radiotherapy: Radiation physics, therapy and oncology* (7th ed.). Elsevier
- [17] Vinanda, P. T., Milvita, D., & Sofyan, H. (2021). *Perbandingan tangkapan dosis radiasi OSLD nanoDots, TLD-100, dan TLD-100H pada pemeriksaan foto thorax pasien anak. Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 137-141.