

# Evaluasi Pengecekan Antara Dosis Radiasi dan Validasi Pembacaan TLD Menggunakan Sumber Cesium-137

Sakinah<sup>1</sup>, Ero Wahjuningdiah<sup>2</sup>, Primasari Cahya Wardhani<sup>1</sup> and Syuaibatul Islamiyah<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia, 60294

<sup>2</sup>Instalasi Pemantauan Dosis Perorangan, Balai Pengamanan Alat dan Fasilitas Kesehatan Surabaya, Indonesia, 60286

<sup>3</sup>Department Graduate School of Chemical Sciences and Engineering, Hokkaido University, Japan  
Email: [primasari.cahya.fisika@upnjatim.ac.id](mailto:primasari.cahya.fisika@upnjatim.ac.id)

\*Corresponding Author

**Abstrak** – Penelitian ini bertujuan untuk membaca *Thermoluminescence* Dosimeter (TLD) Badge setelah dilakukan penyinaran dengan radioaktif Cesium-137. Lima dosimeter disinari dengan dosis bertingkat, yaitu 0,1 mSv, 0,2 mSv, 0,5 mSv, 1 mSv, dan 20 mSv. Pembacaan dosis dilakukan menggunakan TLD Reader yang telah dikalibrasi dengan nilai *Reader Calibration Factor* (RCF) sebesar 0,0357 nC/μSv, serta koreksi individu melalui *Element Correction Coefficient* (ECC) untuk meningkatkan akurasi pembacaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai dosis akhir (DA) yang diperoleh berkorelasi kuat dengan dosis yang diberikan, dengan deviasi yang masih dalam batas toleransi. Pola hubungan linier antara dosis dan respons TLD mengindikasikan bahwa sistem kalibrasi dan pembacaan yang digunakan cukup andal untuk digunakan sebagai acuan pembacaan TLD selama satu tahun. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam penguatan sistem kalibrasi alat ukur radiasi serta peningkatan standar keselamatan dalam lingkungan kerja yang melibatkan paparan radiasi.

**Kata kunci:** Cesium-137, Kalibrasi, Radiasi, *Thermoluminescence* Dosimeter, TLD Reader

**Abstract** – This research aims to read the badge *Thermoluminescence* Dosimeter (TLD) badge after it has been irradiated with radioactive Cesium-137. Five dosimeters were irradiated with graded doses, namely 0.1 mSv, 0.2 mSv, 0.5 mSv, 1 mSv, and 20 mSv. Dose readings were performed using a TLD Reader that had been calibrated with a *Reader Calibration Factor* (RCF) value of 0.0357 nC/μSv, as well as individual corrections through the *Element Correction Coefficient* (ECC) to enhance reading accuracy. The results show that the final dose value (FD) obtained is strongly correlated with the administered dose, with deviations still within the tolerance limits. The linear relationship pattern between the dose and TLD response indicates that the calibration and reading system used is reliable enough to serve as a reference for TLD readings for one year. These findings make an important contribution to strengthening the calibration system of radiation measuring instruments and enhancing safety standards in work environments involving radiation exposure.

**Key words:** Cesium-137, Calibration, Radiation, *Thermoluminescence* Dosimeter, TLD Reader

## PENDAHULUAN

Radiasi adalah pelepasan energi dalam bentuk gelombang atau partikel elektromagnetik melalui ruang atau materi. Radiasi dihasilkan selama prosedur medis seperti sinar-X [1]. Radiasi penyebarannya dari suatu sumber ke sekitarnya dapat memerlukan medium atau bahan pengantar khusus. Salah satu jenis radiasi dipancarkan melalui radiasi nuklir. Radiasi nuklir memiliki dua karakteristik yang unik, yaitu tidak dapat dirasakan langsung oleh indra manusia dan beberapa tipe radiasi dapat menembus berbagai jenis material [2]. Radiasi dibedakan menjadi radiasi pengion dan non-pengion. Radiasi pengion adalah radiasi yang dapat menghasilkan ion saat berinteraksi

dengan zat, seperti sel dalam tubuh manusia. Salah satu jenis radiasi pengion adalah sinar-X. Pemanfaatan sinar X digunakan secara luas di berbagai industri, mulai dari bidang medis hingga industri [3]. penggunaan radiasi dalam dunia medis terus berkembang, diantaranya digunakan untuk diagnostik maupun untuk pengobatan atau terapi. Penggunaan sinar-X untuk diagnosis sangat membantu untuk mengetahui kondisi tubuh seseorang tanpa melakukan pembedahan atau segmentasi pasien. beberapa keunggulan sinar X dalam diagnosa seperti:

- Mendiagnosa dalam waktu yang relatif singkat
- Tidak invasif (tidak memerlukan operasi atau pembedahan)

- c) Memiliki dampak yang relative kecil terhadap pasien dan operator
- d) Memiliki kemampuan untuk mendiagnosa seluruh tubuh manusia

Hasil diagnosa sinar X berupa gambar atau citra dalam bentuk film. Citra film dari sinar-X memberikan informasi yang akurat tentang kondisi tubuh sebenarnya. Walaupun sinar X memiliki manfaat yang baik dan penggunaan sinar X harus berhati-hati dan sesuai dengan prinsip keselamatan radiasi. Bahaya radiasi sinar-X yang terpapar pada pasien dan radiographer dapat menimbulkan beberapa masalah bagi kesehatan apabila melewati ambang batas yang ditentukan. Oleh karena itu, baik radiographer maupun pasien harus berhati-hati terhadap sinar-X [4].

Guna menghindari bahaya radiasi maka setiap paparan radiasi harus terukur. Keakuratan alat ukur radiasi merupakan aspek yang sangat krusial untuk diperhatikan. Salah satu alat ukur yang penting adalah alat ukur dosis. Alat ukur dosis memerlukan pengujian dan kalibrasi yang ketat guna memastikan dosis radiasi yang diberikan sesuai dengan standar keselamatan. Peralatan pengukur dosis salah satunya TLD. Dosimeter (TLD) memiliki sejumlah kelebihan dibandingkan tipe dosimeter yang lain. TLD gampang dipakai dan memungkinkan penilaian dosis yang lebih cepat sehingga lebih efisien dalam waktu. Di samping itu, dosimeter ini mempunyai jangkauan pengukuran yang besar, dapat dipakai berkali-kali, dan tidak peka terhadap faktor lingkungan. TLD dapat mengukur dosis radiasi gamma dalam rentang 50  $\mu$ Sv hingga 5 Sv, sementara untuk radiasi beta, deteksi dilakukan dalam kisaran 100  $\mu$ Sv hingga 5 Sv [5]. Lembaga yang mampu menyelenggarakan pembacaan TLD dan kalibrasinya diantaranya Balai Pengamanan Alat dan Fasilitas Kesehatan (BPAFK).

Balai Pengamanan Alat dan Fasilitas Kesehatan (BPAFK) Surabaya merupakan salah satu unit pelaksana teknis yang juga diizinkan menyelenggarakan pembacaan TLD dan kalibrasinya. Proses kalibrasi bertujuan untuk memastikan bahwa alat ukur radiasi dapat memberikan hasil pengukuran yang akurat dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Salah satu metode pembacaan TLD dilakukan melalui Pemantauan Dosis Perorangan (PDP) menggunakan TLD Reader. Prinsip pembacaan TLD adalah menghitung Jumlah sinar cahaya pada kurva pancar

sebanding dengan dosis radiasi yang diterima oleh TLD [6]. untuk menentukan batas dosis dilakukan menggunakan Nilai Batas Dosis (NBD) yang dikeluarkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), yang memiliki otoritas sebagai pemegang izin terkait untuk pemanfaatan tenaga nuklir [7].

Dalam era perkembangan teknologi radiasi yang semakin pesat, kebutuhan akan akurasi pembacaan TLD menjadi sangat dibutuhkan. Oleh karena itu, penelitian mengenai pembacaan TLD setelah penyinaran menjadi sangat relevan. Penelitian ini, bertujuan menganalisis keakuratan TLD dalam merespon radiasi yang diberikan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan ketelitian kalibrasi alat ukur radiasi, memperkuat standar keselamatan radiasi diberbagai bidang yang memanfaatkan teknologi radiasi, dan meminimalisir efek yang terjadi akibat paparan radiasi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2025 di Balai Pengamanan Alat dan Fasilitas Kesehatan (BPAFK) Surabaya. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pengambilan data secara langsung terhadap objek dengan menggunakan Thermoluminescence dosimeter (TLD) Badge yang disinari dengan Cesium-137 kemudian dilakukan pembacaan menggunakan TLD Reader. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah TLD Hp (10) sebanyak 5 TLD kontrol dengan 3 TLD dengan pemberian dosis sebesar 0.1 mSv, 3 TLD kontrol dengan pemberian dosis sebesar 0.2 mSv, 3 TLD kontrol dengan pemberian dosis sebesar 0.5 mSv, 3 TLD kontrol dengan pemberian dosis sebesar 1 mSv, dan 3 TLD kontrol dengan pemberian dosis sebesar 20 mSv.

### a. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu komputer dengan program WinREMS, Harshaw TLD Reader Model 6600 Plus, Tabung gas Nitrogen, TLD, Irradiator (Cesium-137), dan Phantom badan.

### b. Prosedur Persiapan

Sebelum dilakukan proses penyinaran, peneliti memilih TLD yang menunjukkan

respons paling tinggi terhadap radiasi untuk dijadikan acuan dalam pengukuran dan perbandingan dengan TLD konsumen selama satu tahun penggunaan. Setelah itu TLD harus menjalani proses annealing untuk menghapus jejak sinyal termoluminesensi sebelumnya dan mengembalikannya ke kondisi awal (baseline).

#### c. Penyinaran TLD

Setelah melakukan proses pemilihan dan annealing, peneliti memasukkan TLD ke dalam holder standar, lalu menyinarinya menggunakan sumber Cs-137 pada jarak tetap yaitu 200 cm yang telah ditentukan berdasarkan perhitungan laju dosis Hp (10). Peneliti memberikan dosis yang bervariasi antara 0,1 mSv hingga 20 mSv untuk mengevaluasi linearitas respons TLD. Lama penyinaran dihitung berdasarkan laju dosis dari sumber dan ditentukan secara presisi menggunakan timer digital. Sebelum melakukan penyinaran, dipersiapkan ruangan irradiator dengan suhu  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ , kemudian menyiapkan Phantom Body dan TLD yang akan disinari.

#### d. Pembacaan TLD

Pembacaan TLD menggunakan TLD reader Harshaw 6600 Plus, dengan pemanasan linier dari suhu ruang hingga  $400^{\circ}\text{C}$  pada laju pemanasan sekitar  $9^{\circ}\text{C}$  per detik. Sistem mengukur intensitas cahaya yang dipancarkan sebagai fungsi suhu, sehingga menghasilkan kurva glow (*glow curve*) yang menggambarkan distribusi jebaran energi dalam kristal dosimeter. Untuk material LiF:Mg, puncak utama kurva glow biasanya muncul pada suhu sekitar  $240^{\circ}\text{C}$ . Langkah selanjutnya menyalakan program WinREMS dan mengklik fitur QC pada program, kemudian memasukkan kartu TLD card ke dalam box pembacaan dan meletakkannya ke dalam reader. Setelah proses pembacaan selesai dan data diperoleh dalam satuan  $\mu\text{Sv}$ , dilakukan proses annealing untuk mengosongkan sisa radiasi dalam TLD. Kemudian dilakukan analisis data pada - hasil pembacaan

Analisis data dilakukan dengan mengecek hasil pembacaan dosis TLD yang telah disinari dengan Cesium-137 dengan dosis yang telah ditargetkan oleh Instalasi Pemantauan Dosis Perorangan (PDP) yang kemudian akan menjadi acuan untuk

pembacaan *Thermoluminescence* Dosimeter (TLD) konsumen selama satu tahun.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembacaan TLD diperlihatkan pada Tabel.2. menggunakan TLD Reader

**Tabel 1.** Hasil Pembacaan TLD

Berdasarkan tabel 2— setiap TLD memiliki nilai *Element Correction Coefficient* (ECC) yang berbeda. Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan hasil pembacaan Dosis Akhir (DA) yang diperoleh dari masing-masing TLD sesuai dengan pemberian dosis yaitu 118,1  $\mu\text{Sv}$  untuk dosis 0,1 mSv, 212,0  $\mu\text{Sv}$  untuk 0,2 mSv, 514,0  $\mu\text{Sv}$  untuk 0,5 mSv, 1013  $\mu\text{Sv}$  untuk 1 mSv, dan 2021  $\mu\text{Sv}$  untuk 20 mSv.

Dosis pembacaan dalam Coulomb (C) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$DA = DP \times \frac{ECC}{RCF} \quad (1)$$

Dimana:

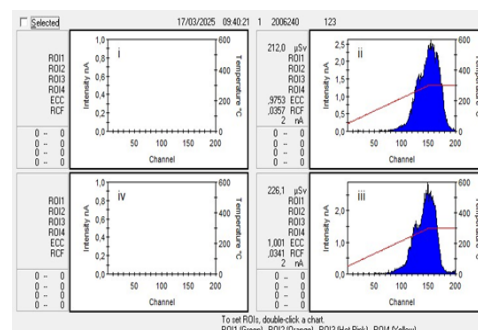
DA atau x : Dosis Akhir/hp(10) (dalam satuan  $\mu\text{Sv}$ )

DP : Dosis Pembacaan (dalam satuan nC)

ECC : Koreksi dari elemen kartu TLD (tanpa satuan)

RCF : Faktor Koreksi dari Reader (dalam satuan nC/ $\mu\text{Sv}$ )

Nilai DP (Dosis Pembacaan) berdasarkan persamaan diatas diperoleh 3086,4 nC untuk dosis 0,1 mSv, 5791,6 nC untuk 0,2 mSv, 14187,6 nC untuk 0,5 mSv, 28171,0 nC untuk 1 mSv, dan 57459,8 nC untuk 20 mSv.



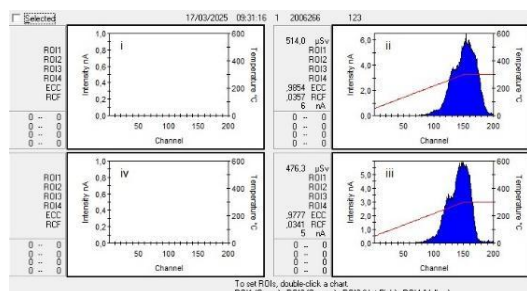
**Gambar 1.** Grafik Hasil Pembacaan TLD dengan Pemberian Dosis 0,1 mSv

Intensitas cahaya yang dihasilkan pada rentang channel sekitar 100–180, yang

| ID      | E |
|---------|---|
| 2006262 | 0 |
| 2006240 | 0 |
| 2006266 | 0 |
| 2006279 | 0 |
| 2006254 | 1 |

menggambarkan proses pelepasan energi dari material TLD saat dipanaskan. Intensitas puncak mencapai sekitar 1,5 nA, sesuai dengan ekspektasi untuk dosis rendah seperti 0,1 mSv. Grafik ini juga menunjukkan kurva suhu yang meningkat secara bertahap, menunjukkan pemanasan berkelanjutan hingga mencapai suhu maksimum sekitar 300–350°C.

Hasil pembacaan TLD untuk dosimeter dengan ID 2006262 (Gambar 1) menunjukkan bahwa pemberian dosis radiasi sebesar 0,1 mSv menghasilkan dosis akhir (DA) sebesar 118,1  $\mu\text{Sv}$ . Nilai ini menunjukkan bahwa dosimeter berhasil merekam radiasi dengan baik, di mana hasil pembacaan mendekati nilai dosis yang diberikan. Dari data yang diperoleh, diketahui bahwa nilai ECC (*Element Correction Coefficient*) adalah 0,9330, menandakan bahwa elemen TLD ini memiliki sensitivitas yang sedikit lebih tinggi dari standar. Nilai RCF (*Reader Calibration Factor*) yang digunakan dalam pembacaan adalah 0,0357 nC/ $\mu\text{Sv}$ , sedangkan nilai arus maksimum yang tercatat saat pembacaan adalah 1 nA.

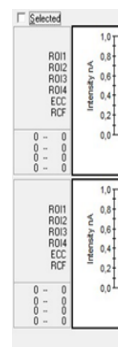


**Gambar 2.** Grafik Hasil Pembacaan TLD dengan Pemberian Dosis 0,2 mSv

Berdasarkan Gambar 2, terlihat puncak intensitas cahaya pada kisaran channel 100–180 dengan intensitas maksimum mencapai sekitar 2,5 nA. Pola ini menunjukkan bahwa proses pelepasan energi akibat pemanasan berlangsung dengan baik, dan karakteristik puncak sesuai dengan ekspektasi untuk dosis 0,2 mSv. Kurva suhu menunjukkan pemanasan bertahap hingga mencapai suhu maksimum sekitar 300°C, yang menjadi pemicu terjadinya emisi cahaya dari material TLD.

Pembacaan dosimeter dengan ID 2006240 (Gambar 2) menunjukkan bahwa setelah diberikan penyinaran sebesar 0,2 mSv, TLD Reader mencatat dosis akhir (DA) sebesar 212,0  $\mu\text{Sv}$  atau setara dengan 0,212 mSv. Nilai ini sangat dekat dengan dosis penyinaran yang diberikan, menandakan bahwa sistem pembacaan dan respons dosimeter berada dalam rentang akurasi yang baik. Nilai ECC (*Element*

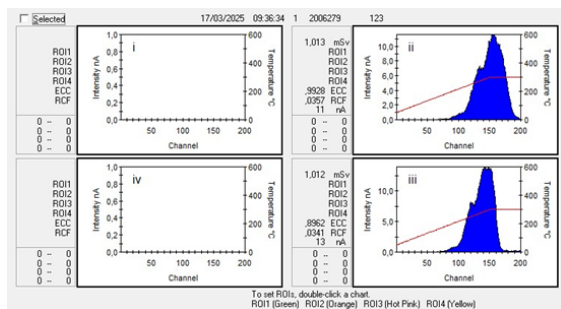
*Correction Coefficient*) pada TLD ini adalah 0,9753 yang berarti sensitivitas elemen TLD mendekati nilai standar ( $\text{ECC} \approx 1$ ). Sedangkan RCF (*Reader Calibration Factor*) yang digunakan tetap sebesar 0,0357 nC/ $\mu\text{Sv}$ , sesuai dengan kalibrasi TLD Reader. TLD Reader juga mencatat arus maksimum sebesar 2 nA.



**Gambar 3.** Grafik Hasil Pembacaan TLD dengan Pemberian Dosis 0,5 mSv

Pada Gambar 3, menampilkan distribusi intensitas cahaya dengan puncak yang lebar dan jelas yang muncul pada channel sekitar 140–190. Intensitas maksimum mencapai sekitar 1,6 nA yang menunjukkan bahwa sejumlah besar elektron terlepas dari perangkat energi dalam material TLD ketika dipanaskan. Kurva suhu menunjukkan pemanasan hingga lebih dari 300°C, yang memicu emisi cahaya maksimum

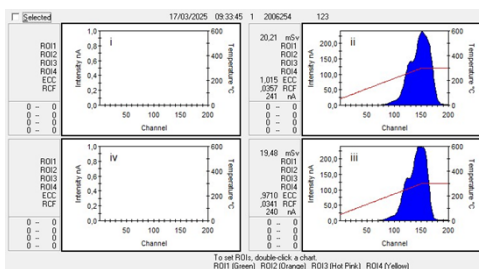
Pada percobaan dengan pemberian dosis sebesar 0,5 mSv, dosimeter dengan ID 2006266 (Gambar 3) menunjukkan nilai dosis akhir (DA) sebesar 514,0  $\mu\text{Sv}$  atau setara dengan 0,514 mSv. Nilai ini menunjukkan kesesuaian antara dosis penyinaran yang diberikan dan hasil pembacaan oleh TLD reader, dengan selisih yang sangat kecil, yakni sekitar 0,014 mSv yang masih berada dalam batas toleransi pengukuran. Nilai ECC (*Element Correction Coefficient*) dari dosimeter ini adalah 0,9854 yang mendekati nilai ideal 1, menandakan bahwa sensitivitas elemen TLD terhadap radiasi cukup akurat dan tidak memerlukan koreksi besar. RCF (*Reader Calibration Factor*) yang digunakan adalah 0,0357 nC/ $\mu\text{Sv}$ , sesuai standar kalibrasi TLD Reader. Nilai arus maksimum yang terbaca pada proses ini adalah 6 nA, yang menunjukkan peningkatan intensitas cahaya seiring bertambahnya dosis penyinaran.



**Gambar 4.** Grafik Hasil Pembacaan TLD dengan Pemberian Dosis 1 mSv

Pada Gambar 4. Menunjukkan grafik yang memperlihatkan kurva TLD dengan intensitas yang tinggi dan puncak distribusi yang berada di sekitar channel 150–180. Kurva suhu menunjukkan bahwa pemanasan mencapai lebih dari 300°C memungkinkan pelepasan elektron dari perangkat energi dalam material TLD, yang kemudian menghasilkan pancaran cahaya. Intensitas cahaya maksimum yang tercatat hampir mencapai 10 nA memperkuat indikasi bahwa jumlah energi yang diserap oleh TLD cukup besar

Pemberian dosis penyinaran sebesar 1 mSv dilakukan menggunakan dosimeter dengan ID 2006279 (Gambar 4). Hasil pembacaan pada TLD reader menunjukkan bahwa nilai dosis akhir (DA) yang diperoleh adalah sebesar 1,013 mSv. Hasil ini menunjukkan bahwa respons TLD terhadap dosis yang diberikan sangat baik dengan deviasi yang sangat kecil sebesar 0,013 mSv dari dosis yang ditargetkan, mengindikasikan tingkat akurasi sistem pembacaan yang tinggi. Nilai ECC (*Element Correction Coefficient*) yang terukur adalah 0,9928, menunjukkan bahwa respons TLD card hampir sesuai dengan nilai standar atau ideal yang mendekati 1, sehingga hanya diperlukan koreksi kecil terhadap sensitivitas TLD card. RCF (*Reader Calibration Factor*) yang digunakan adalah 0,0357 nC/μSv, sesuai dengan nilai kalibrasi TLD Reader. Arus maksimum tercatat sebesar 11 nA, meningkat dibandingkan pengukuran pada dosis yang lebih rendah,



sejalan dengan peningkatan emisi cahaya akibat peningkatan energi radiasi yang diserap.

**Gambar 5.** Grafik Hasil Pembacaan TLD dengan Pemberian Dosis 20 mSv

Berdasarkan Gambar 5. menunjukkan tampak bahwa kurva respons cahaya yang ditunjukkan oleh area biru memiliki intensitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan pada dosis-dosis yang lebih rendah sebelumnya. Puncak distribusi terjadi pada sekitar kanal 150–170 yang menunjukkan pelepasan cahaya maksimum akibat pelepasan perangkat energi pada kristal dosimeter ketika dipanaskan. Deviasi antara dosis yang diberikan dan dosis yang terbaca sangat kecil, yaitu 0,21 mSv, atau sekitar 1,05%, yang masih berada dalam batas toleransi akurasi untuk sistem TLD Reader. Hal ini menunjukkan bahwa pembacaan menggunakan TLD reader memiliki keandalan yang tinggi bahkan pada dosis tinggi seperti 20 mSv

Pengukuran dosis dengan penyinaran sebesar 20 mSv menggunakan dosimeter ID 2006254 (Gambar 5) hasil pembacaan menunjukkan nilai dosis akhir (DA) sebesar 20,21 mSv yang setara dengan 20.210 μSv. Nilai ini diperoleh dengan memperhitungkan *Element Correction Coefficient* (ECC) sebesar 1,015 dan *Reader Calibration Factor* (RCF) sebesar 0,0357 nC/μSv. Selain itu, arus puncak yang terdeteksi mencapai 241 nA yang menunjukkan intensitas radiasi yang cukup tinggi seiring dengan tingginya dosis yang diberikan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa Thermoluminescence Dosimeter (TLD) mampu merekam dan mengukur dosis radiasi dari sumber Cesium-137 secara akurat dan konsisten serta menunjukkan kesesuaian antara pemberian dosis dan hasil pembacaan dari TLD Reader. Dengan menggunakan koreksi individual melalui nilai *Element Correction Coefficient* (ECC) dan pembacaan melalui TLD Reader yang telah dikalibrasi dengan *Reader Calibration Factor* (RCF) sebesar 0,0357 nC/μSv sistem ini mampu menghasilkan Dosis Akhir (DA) yang sangat mendekati dosis penyinaran yang ditentukan. Hubungan antara dosis yang diberikan dengan respons TLD menunjukkan pola linier yang kuat serta deviasi yang ditemukan tetap berada dalam batas toleransi pengukuran. Bahkan pada dosis tinggi seperti 20 mSv sistem pembacaan tetap menunjukkan keandalan yang tinggi.

TLD Badge yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai pemantauan dosis radiasi serta berpotensi sebagai acuan pembacaan TLD konsumen selama satu tahun. Temuan ini penting untuk menjamin keselamatan kerja dan akurasi dalam pengukuran dosis pada lingkungan yang berisiko paparan radiasi.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Balai Pengamanan Alat dan Fasilitas Kesehatan (BPAFK) Surabaya yang telah memberikan izin serta memberikan pendampingan selama pelaksanaan penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada berbagai pihak yang telah memberikan banyak bantuan hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. T. Susanti, S. Prasetyarini, dan A. D. P. Shita, "Pengaruh Paparan Radiasi Sinar-X dari Radiografi Panoramik terhadap pH Saliva," vol. 4, 2016.
- [2] S. Hernawan, E. D. Nugraha, S. Sutanto, dan E. Hiswara, "PEMBUATAN THERMOLUMINESSENCE DOSIMETER DARI BAHAN LITUM FLUORIDA DAN PENGOTOR TITANIUM," *jfn*, vol. 10, no. 1, hlm. 38, Jun 2017, doi: 10.17146/jfn.2016.10.1.3492.
- [3] F. Nugraheni, F. Anisah, dan G. A. Susetyo, "Analisis Efek Radiasi Sinar-X pada Tubuh Manusia," 2022.
- [4] E. D. Anwar, "SISTEM PRIOTEKSI RADIASI: Analisis Terhadap Bidang Radiologi Rumah Sakit," *phen*, vol. 1, no. 1, hlm. 47–63, Mar 2016, doi: 10.21580/phen.2011.1.1.444.
- [5] A. Safitri, S. Nurrahmi, I. Supu, dan I. U. Mediji, "Pemantauan Dosis Perorangan Pekerja Radiasi," vol. 1, no. 1, 2022.
- [6] S. F. Nurulita, W. S. Budi, E. Hidayanto, dan N. Nuraeni, "PENENTUAN KESERAGAMAN RESPON DAN FAKTOR KOREKSI TLD – 100 (LiF:Mg,Ti) TERHADAP RADIASI SINAR-X," vol. 26, no. 1, 2023.
- [7] G. A. M. Janudinata, G. N. Sutapa, I. G. A. Kasmawan, I. B. Made, I. N. Artawan, dan N. L. P. Trisnawati, "Analysis of Radiation Dose Received by Radiation Workers with Physical and Biological Dosimeters in The Radiology Unit of Sanjiwani Hospital," vol. 9, no. 1, 2025.

