

PENENTUAN KESERAGAMAN RESPON DAN FAKTOR KOREKSI TLD – 100 (LiF:Mg,Ti) TERHADAP RADIASI SINAR-X

Syaphira Faza Nurulita¹, Wahyu Setia Budi¹, Eko Hidayanto¹, Nunung Nuraeni²

¹*Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, 50275, Semarang, Jawa Tengah*

²*Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional, 12440, Jakarta Selatan, DKI Jakarta*

Email : syaphirafaza@students.undip.ac.id

Received: 4 Desember 2022; revised: 14 Januari 2023; accepted: 19 Januari 2023

ABSTRACT

One of the body tissues of radiation workers that is very sensitive to exposure to X-ray radiation is the eye lens. Damage experienced by the lens of the eye exposed to X-ray radiation can develop until blindness occurs due to cataracts. The use of a Thermoluminescence Dosemeter (TLD) can control the external radiation dose received by the eyepiece of radiation workers. In this study there are several objectives, namely to determine the uniformity of the response to TLD-100 (LiF:Mg,Ti) to determine the characteristics of TLD-100 (LiF:Mg,Ti) which is used to measure the radiation dose of the eye lens and determine the TLD-100 correction factor on X-ray radiation to obtain an accurate dose of TLD-100 readings in the eyepiece. The determination of the uniformity of reading response and correction factor of TLD-100 (LiF:Mg,Ti) was carried out on the surface of the water phantom using conventional X-ray radiation sources with variations in voltage (60;70;80) kV at a distance of 100 cm and a wide field. used is 26 x 26 cm. From the results obtained for determining the uniformity of the response of TLD-100 at voltage (60;70;80) kV using Statistical Process Control (SPC) analysis it can be concluded that TLD-100 has a uniform response because it is between the Lower Warning Limit (LWL) and Upper Warning Limit (UWL). However, according to ISO 21909 at a voltage of 60 kV it is necessary to re-illuminate because the response variation value obtained is 40.95% exceeding the specified response variation value limit which is not more than 20% while at a voltage of 70 kV with a response value of 20.05% and 80 kV with a response variation value of 13.93% did not exceed the predetermined limits while the results of determining the TLD-100 correction factor (LiF:Mg,Ti) for each voltage decreased in the range of 0.753 to 0.576. The correction factor at a voltage of 60 kV to 80 kV does not reach the ideal correction factor because the voltage used for calibration uses low energy while the calibration used is for calibration at high voltages.

Keywords : *Uniformity, Correction Factor, X-Ray, TLD-100 (LiF:Mg,Ti)*

ABSTRAK

Salah satu jaringan tubuh pekerja radiasi yang sangat sensitif terpapar radiasi sinar-X adalah lensa mata. Kerusakan yang di alami oleh lensa mata yang terkena radiasi sinar-X dapat berkembang sampai terjadi kebutaan akibat adanya katarak. Penggunaan Thermoluminescence Dosemeter (TLD) dapat mengontrol dosis radiasi eksternal yang diterima oleh lensa mata pekerja radiasi. Pada penelitian ini terdapat beberapa tujuan yaitu untuk menentukan keseragaman respon pada TLD-100 (LiF:Mg,Ti), untuk mengetahui karakteristik TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi lensa mata, dan menentukan faktor koreksi TLD-100 pada radiasi sinar-X sehingga didapatkan dosis bacaan TLD-100 yang akurat pada lensa mata. Penentuan keseragaman respon bacaan dan faktor koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dilakukan di atas permukaan water phantom dengan sumber radiasi pesawat sinar-X konvensional dengan variasi tegangan 60, 70, 80 kV pada jarak 100 cm dan luas lapangan yang digunakan adalah 26 x 26 cm. Dari hasil yang diperoleh untuk penentuan keseragaman respon TLD-100 pada variasi tegangan menggunakan analisa Statistical Process Control (SPC) dapat disimpulkan bahwa TLD-100 mempunyai respon yang seragam karena berada diantara rentang Lower Warning Limit (LWL) dan Upper Warning Limit (UWL). Namun, menurut ISO 21909, pada tegangan 60 kV perlu dilakukan penyinaran ulang karena nilai variasi respon yang diperoleh 40,95% melebihi batasan nilai variasi respon yang telah ditentukan yaitu tidak lebih dari 20% sedangkan pada tegangan 70 kV dengan nilai respon 20,05% dan 80 kV dengan nilai variasi respon 13,93% tidak melebihi batasan yang telah ditentukan sedangkan hasil penentuan faktor koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) untuk setiap tegangan mengalami penurunan pada rentang 0,753 hingga 0,576. Faktor koreksi pada tegangan 60 hingga 80 kV tidak mencapai faktor koreksi ideal karena tegangan yang digunakan untuk kalibrasi menggunakan energi yang rendah sedangkan kalibrasi yang digunakan yaitu untuk kalibrasi pada tegangan yang tinggi.

Kata Kunci : Keseragaman, Faktor Koreksi, Sinar-X, TLD-100 (LiF:Mg,Ti)

PENDAHULUAN

Lensa mata merupakan jaringan tubuh pekerja radiasi yang sangat rentan dan sensitif terhadap radiasi sinar-X. Munculnya titik-titik keruhan atau mulai menghilangnya sifat transparansi sel serabut pada lensa mata merupakan permulaan kerusakan yang terjadi pada lensa mata yang mulai dapat diketahui setelah paparan radiasi sekitar 500 mGy. Kerusakan pada lensa mata bersifat akumulatif dan dapat berkembang hingga terjadi kebutaan karena adanya katarak [1].

Pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Surat Keputusan Kepala Bapeten nomor 01/Ka-Bapeten/V-99 tentang Kesehatan terhadap radiasi pengion yang disebut dengan keselamatan radiasi, yang menjelaskan tentang dosis ekuivalen yang diterima oleh

lensa mata yaitu ≤ 50 mSv/tahun sedangkan berdasarkan peraturan International Atomic Energy Agency (IAEA) yang berpedoman pada International Commission On Radiological Protection (ICRP) 60/1990 dosis ekuivalen lensa mata yang diterima oleh pekerja radiasi ditetapkan 20 mSv/tahun [2].

Salah satu cara untuk mengontrol dosis radiasi eksternal yang di terima oleh lensa mata adalah menggunakan alat pemantauan dosis radiasi yaitu Thermoluminescence Dosemeter (TLD). TLD dapat digunakan untuk memantau besarnya dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi. TLD memiliki nilai dosis ekuivalen perorangan HP (0,07) adalah dosis ekuivalen yang diterima permukaan kulit pada kedalaman 0,07 mm dan HP (10) adalah dosis ekuivalen yang diterima seluruh tubuh pada kedalaman 10 mm. Terdapat jenis TLD yang dibuat khusus

untuk pemantauan besarnya dosis radiasi yang diterima oleh mata yang dapat digunakan untuk mengukur dosis radiasi pada lensa mata agar lebih tepat dan akurat. TLD ini memiliki nilai dosis ekuivalen perorangan HP (3) yaitu dosis ekuivalen yang diterima oleh lensa mata yang berada pada kedalaman 3 mm. Ciri khas yang dimiliki oleh TLD mata yaitu holder TLD mata yang digunakan pada saat mengukur dosis radiasi untuk lensa mata [3].

Pada tahun 2020, Nazaroh dkk. [4] melakukan pengamatan terhadap dosimeter LiF:Mg,Cu,P yang akan digunakan sebagai dosimeter lensa mata untuk pengukuran Hp (3) yaitu diperoleh uji keseragaman dari 30 dosimeter yang telah disinari sumber beta ^{90}Sr (dosis 0,334 mSv) yaitu dosimeter LiF:Mg,Cu,P berada di antara rentang *Lower Warning Limit (LWL)* dan *Upper Warning Limit (UWL)*. Dari hasil uji keseragaman tersebut didapatkan dosimeter LiF:Mg,Cu,P yang cukup seragam dan diperoleh deviasi standar yaitu 1,6 % dan 1,7 % dari rata – rata.

Penelitian yang dilakukan Nisaul pada tahun 2019 [5] yaitu menganalisis pengaruh *backscatter factor fantom* dan *holder TLD mata* terhadap pengukuran dosis radiasi sinar-X berdasarkan protokol IAEA TRS no. 457. Dari hasil analisis pada penelitian ini yaitu perlu dilakukan kalibrasi pada TLD – 100 pada setiap tegangan pesawat sinar-X dan dosis radiasi yang diterima TLD – 100 memiliki nilai yang sebanding dengan faktor kalibrasi untuk setiap tegangan. Faktor koreksi yang didapatkan mengalami fluktuasi terhadap tegangan yang berarti kemampuan detektor dalam merespon radiasi berbeda-beda seiring perubahan kualitas radiasi.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu untuk menentukan keseragaman respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) untuk mengetahui karakteristik TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi lensa mata dan menentukan faktor koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada radiasi sinar-X sehingga

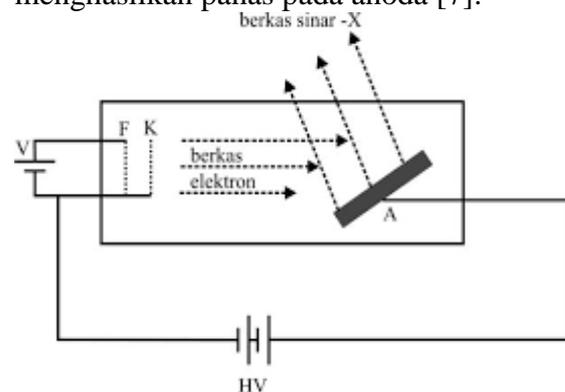
diperoleh dosis bacaan yang akurat untuk lensa mata.

DASAR TEORI

Sinar-X

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang sejenis dengan gelombang radio, cahaya tampak, dan sinar ultraviolet dan memiliki panjang gelombang yang sangat pendek yaitu 1/10.000 cm panjang gelombang cahaya [6].

Proses terjadinya sinar-X yaitu pada tabung *roentgen* yang di dalamnya terdapat katoda (filamen) dan anoda. Ketika katoda (filamen) dipanaskan lebih dari 20.000 °C sampai menyala dengan menghantarkan listrik yang terdapat di transformator maka terjadi peristiwa terbentuknya sinar-X. Akibat katoda (filamen) yang dipanaskan, elektron-elektron yang ada pada katoda (filamen) terlepas. Katoda dan anoda yang diberikan tegangan tinggi dapat menyebabkan awan elektron dari katoda bergerak menuju anoda dengan kecepatan tinggi sehingga menumbuk anoda (target). Terjadinya eksitasi dan kembalinya posisi semula akan membuat anoda pada tabung sinar-X menjadi panas. Peristiwa ini menghasilkan radiasi sinar-X sekitar 1% dari jumlah energi yang diberikan dan 99% menghasilkan panas pada anoda [7].



Gambar 1. Skema Terjadinya Sinar-X

Pesawat Sinar-X

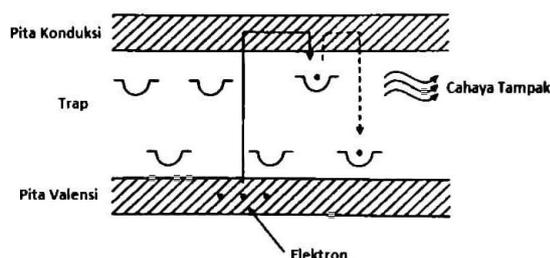
Pesawat sinar-X digunakan untuk melakukan diagnosa medis menggunakan radiasi sinar-X. Energi yang dihasilkan

pada pesawat sinar-X berbeda-beda berdasarkan tegangan kerja (kV) sehingga daya tembus yang dihasilkan berbeda. Semakin besar tegangan listrik yang digunakan maka daya tembus yang dihasilkan pesawat sinar-X semakin besar. Tabung pesawat sinar-X memancarkan yang memancarkan radiasi sinar-X diarahkan ke bagian tubuh dan ditangkap oleh film, sehingga muncul gambar pada bagian tubuh yang di sinari. Sebelum dilakukan pengoperasian pesawat sinar-X, dilakukan pengaturan parameter untuk mendapatkan sinar-X yang diinginkan. Parameter pesawat sinar-X terdiri dari tegangan (kV), arus tabung (mA), dan waktu paparan (s) [8].

Thermoluminescence Dosimeter (TLD)

Thermoluminescence dosimeter (TLD) adalah dosimeter personal yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi pada sinar gamma, sinar-X, beta, dan neutron. TLD menggunakan kristal anorganik termoluminensi yaitu lithium florida (LiF) dan kalsium sulfat (CaSO₄) [9].

Prinsip kerja TLD didasarkan pada eksitasi elektron oleh radiasi pengion dan diikuti oleh proses terperangkap, kemudian terjadi pelepasan elektron yang terperangkap dengan pemanasan menyebabkan cahaya terpancar. Pengukuran pada kuantitas keluaran cahaya dilakukan menggunakan tabung pengganda cahaya (PMT tube) dan keluarannya digambarkan sebagai fungsi temperatur yang disebut kurva pancar, hal ini dilakukan oleh TLD Reader. Kuantitas pancaran cahaya pada kurva pancar sesuai dengan dosis radiasi yang diterima oleh TLD [10,11].



Gambar 2. Prinsip Dasar TLD.

Untuk memperoleh nilai bacaan respon TLD bersih dilakukan pembacaan TLD sebanyak dua kali, yaitu bacaan pertama adalah pembacaan intensitas total dan bacaan kedua adalah pembacaan intensitas latar (bacaan sisa dari TLD). Hasil pembacaan respon TLD bersih sebagai berikut :

$$TL_{\text{Bersih}} = TL_{\text{Total}} - TL_{\text{Latar}}$$

dimana, TL_{Bersih} adalah bacaan intensitas TL bersih, TL_{Total} adalah bacaan intensitas TL total, dan TL_{Latar} adalah bacaan intensitas TL latar. Kemudian, untuk menentukan besarnya dosis radiasi yang diterima TLD dapat ditentukan menggunakan rumus dibawah ini :

$$D = TL_{\text{Bersih}} \times F_k$$

dimana, D adalah dosis radiasi yang diterima TLD dan F_k adalah faktor kalibrasi [12].

Fantom

Fantom adalah alat yang digunakan untuk mensimulasikan tubuh manusia serta penggunaan fantom yaitu untuk mengevaluasi kinerja pada perangkat radiologi untuk menghindari resiko bahaya radiasi bagi jaringan tubuh manusia. Pada pembuatan fantom, air direkomendasikan oleh kode praktik TRS 398 IAEA sebagai referensi media untuk mengukur dosis serap pada berkas foton dan elektron. Fantom harus memiliki luas lapangan yang besar dengan garis tepi setidaknya sepanjang 5 cm untuk setiap 4 sisi kedalaman pada pengukuran. Fantom membantu untuk memperkirakan dosis radiasi dan menguji sistem pencitraan radiagnostik tanpa menyinari tubuh manusia secara langsung.

Faktor Kalibrasi

Perbedaan nilai yang ada pada alat ukur radiasi dengan nilai sebenarnya menjadikan perlu adanya faktor koreksi. Faktor koreksi tersebut disebut dengan faktor kalibrasi. Besarnya faktor kalibrasi TLD menunjukkan hubungan dosis yang

diterima TLD (D) dengan hasil pembacaan intensitas TL (R) yang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$FK = \frac{D}{R}$$

dimana, FK adalah faktor kalibrasi, D adalah dosis yang diterima TLD, dan R adalah hasil pembacaan intensitas TL.

Besarnya faktor koreksi pada TLD dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Faktor Koreksi} = \frac{D_{\text{Unfors-X1}}}{D_{\text{TLD-100}}}$$

dimana, $D_{\text{Unfors-X1}}$ adalah dosis yang terbaca pada detektor *Unfors-X1* (mGy) dan $D_{\text{TLD-100}}$ adalah dosis bacaan TLD-100.

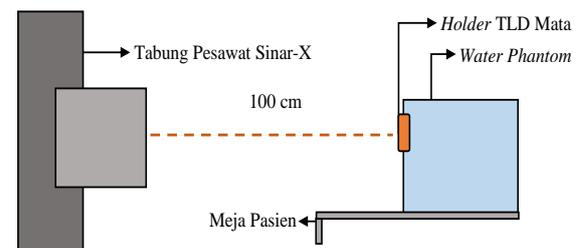
METODE PENELITIAN

Penentuan Keseragaman Respon Bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti)

Penentuan keseragaman respon bacaan TLD-100 yang terbuat dari bahan LiF:Mg,Ti pada permukaan *water phantom* dilakukan secara langsung. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keseragaman respon bacaan pada TLD-100 merk *Harshaw* yang diletakkan didalam *holder* TLD mata terhadap sinar-X pada beberapa variasi tegangan sinar-X.

Penelitian ini menggunakan sumber radiasi yang berasal dari pesawat sinar-X konvensional dengan variasi tegangan 60, 70, dan 80 kV pada jarak 100 cm dari sumber radiasi sinar-X ke titik uji dengan luas lapangan radiasi yang digunakan adalah 26 x 26 cm. Pada tegangan 60, 70, dan 80 kV biasa digunakan untuk jenis pemeriksaan thorax dan abdomen. Pada penelitian ini pemeriksaan yang sering dilakukan pada yaitu pada posisi *Antero-Posterior* (AP). Sebelum dilakukan penyinaran terhadap TLD-100 (LiF:Mg,Ti), dilakukan proses annealing terlebih dahulu. Proses annealing dilakukan untuk menghilangkan elektron - elektron yang ada di dalam material TLD-100 (LiF:Mg,Ti). Kemudian, dilakukan penyinaran radiasi sinar-X pada *holder* TLD mata yang di dalamnya terdapat

TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada permukaan *water phantom*. Penyinaran TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dan *holder* TLD mata dilakukan satu per satu dengan posisi *holder* TLD mata yang berisi kepingan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) diletakan di atas permukaan *water phantom*. Hasil penyinaran tersebut dibaca menggunakan TLD *Reader* sehingga diperoleh nilai respon bacaan TLD mata di permukaan *water phantom* pada radiasi sinar-X dengan satuan nanocoulomb (nC).



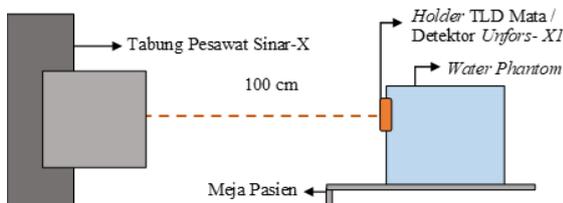
Gambar 3. Skema Alat Penelitian Penentuan Keseragaman Respon Bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti).

Penentuan Faktor Koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti)

Penentuan faktor koreksi TLD-100 yang terbuat dari bahan LiF:Mg,Ti pada permukaan *water phantom* dilakukan secara langsung. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan faktor koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) merk *Harshaw* yang diletakkan di *holder* TLD mata pada radiasi sinar-X.

Penyinaran dilakukan menggunakan pesawat sinar-X konvensional dengan tegangan 60, 70, dan 80 kV, besarnya arus 100 mA dan jarak sumber radiasi sinar-X ke titik uji 100 cm dengan luas lapangan 26 x 26 cm. Pada penelitian ini biasa digunakan variasi tegangan 60, 70, dan 80 kV untuk pemeriksaan thorax dan abdomen. Pemeriksaan pada posisi *Antero-Posterior* (AP) pemeriksaan sering digunakan pada penelitian ini. Hal pertama yang dilakukan pada penelitian ini yaitu mengatur *panel control* pada pesawat sinar-X konvensional untuk menyinari detektor *Unfors - X1* dan *holder* TLD mata yang di dalamnya

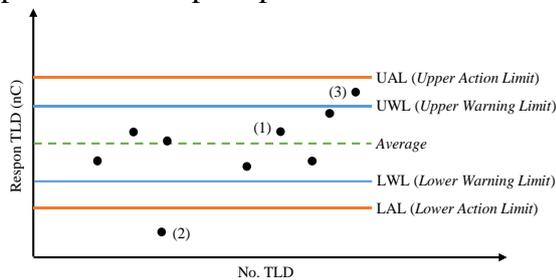
terdapat kepingan chip TLD-100 (LiF:Mg,Ti). Kondisi *panel control* pada pesawat sinar – X dibuat sama pada saat menyinari detektor *Unfors-X1* dan *holder* TLD mata yang di dalamnya terdapat kepingan chip TLD-100 (LiF:Mg,Ti). Penyinaran terhadap detektor *Unfors-X1* dan *holder* TLD mata di permukaan fantom dilakukan secara bergantian dengan posisi yang sama. Hasil penyinaran pada detektor *Unfors-X1* akan membaca besarnya dosis radiasi yang diterima secara langsung dalam satuan miliGray (mGy) sedangkan hasil penyinaran pada TLD-100 (LiF:Mg,Ti) akan dibaca menggunakan TLD Reader sehingga didapatkan respon TLD di permukaan fantom dengan satuan nanoColoumb (nC).



Gambar 4. Skema Alat Penelitian Penentuan Faktor Koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti)

Pengolahan Data

Pengolahan data untuk menentukan nilai keseragaman respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dilakukan menggunakan *Statistic Process Control* (SPC). Hasil bacaan respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dimasukkan ke dalam peta kendali seperti pada Gambar 3.



Gambar 5. Peta Kendali

Pada Gambar 5 sumbu-X merupakan nomor TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dan sumbu-Y merupakan respon bacaan pada TLD mata. Titik 1, 2, dan 3 adalah sebaran respon bacaan TLD-100

(LiF:Mg,Ti). Kesamaan respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) diukur dari nilai variasi keseragaman dan kurva SPC (*Statistical Process Control*). Jika sebaran respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) berada dalam LWL dan UWL maka respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dianggap memiliki keseragaman. Jika sebaran respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) diluar UWL dan LWL tetapi tetap berada di dalam UAL dan LAL maka harus dilakukan penyinaran ulang terhadap TLD-100 (LiF:Mg,Ti).

Sedangkan, jika sebaran respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) berada di luar UAL dan LAL, maka respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dianggap tidak layak digunakan. Penentuan nilai UAL dan UWL dapat ditentukan menggunakan Persamaan 1 sedangkan penentuan nilai LAL dan LWL dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.

$$\text{Batas Kendali Atas (UCL)} = \mu_r + k\sigma_r \tag{1}$$

$$\text{Batas Kendali Bawah (LCL)} = \mu_r - k\sigma_r \tag{2}$$

dimana, μ_r merupakan rata – rata respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti), k merupakan jarak batas kendali dari tengah dengan nilai 2 untuk LWL dan UWL dan bernilai 3 untuk UAL dan LAL, dan σ_r merupakan standar deviasi respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) [13].

Perbandingan antara standar deviasi respon TLD dengan rata-rata respon bacaan TLD yang dinyatakan dalam (%) disebut dengan nilai variasi keseragaman. ISO 21909 [14] menjelaskan bahwa batasan nilai variasi keseragaman respon TLD tidak melebihi 20%. Untuk mendapatkan nilai variasi keseragaman dapat dilihat pada Persamaan 3 sedangkan untuk mendapatkan standar deviasi respon dapat dilihat pada Persamaan 4.

$$\text{Nilai Variasi Keseragaman} = \frac{\sigma_r}{\mu_r} \times 100\% \tag{3}$$

$$\text{Standar Deviasi Respon} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \tag{4}$$

dimana, μ_r merupakan rata – rata respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti), σ_r merupakan standar deviasi respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti), x_i merupakan respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti), \bar{x} merupakan rata-rata respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti), dan n merupakan jumlah TLD-100 (LiF:Mg,Ti) [13].

Penentuan faktor koreksi pada TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap radiasi sinar - X didapatkan dengan menentukan perbandingan antara besarnya respon bacaan pada TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap bacaan dari detektor *Unfors – XI*. Besarnya faktor koreksi TLD dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Faktor Koreksi} = \frac{D_{\text{Unfors-X1}}}{D_{\text{TLD-100}}} \quad (5)$$

dimana, $D_{\text{Unfors-X1}}$ merupakan dosis yang terbaca pada detektor *Unfors – XI* (mGy) dan $D_{\text{TLD-100}}$ merupakan dosis bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti). TLD-100 (LiF:Mg,Ti) mempunyai respon bacaan yang berbeda – beda bila tegangan yang diberikan berbeda, sehingga perlu dilakukan analisis pada respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap variasi tegangan. Respon bacaan pada TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap tegangan akan dibuat dalam bentuk tabel menggunakan Microsoft Excel.

Analisis Data

Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini adalah menentukan keseragaman respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang diletakan di dalam *holder* TLD mata terhadap sumber radiasi sinar-X dengan perbedaan tegangan terhadap respon bacaan pada TLD-100 (LiF:Mg,Ti). Kemudian, sebaran bacaan respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang telah dimasukan ke dalam peta kendali dianalisis untuk mengetahui apakah sebaran respon tersebut memiliki keseragaman.

Untuk analisis data faktor koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang diletakan di dalam *holder* TLD mata terhadap radiasi sinar-X yaitu dengan membandingkan hasil respon bacaan pada detektor *Unfors-XI* dengan hasil respon bacaan pada TLD-

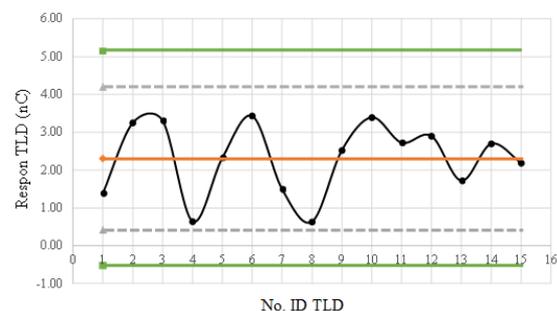
100 (LiF:Mg,Ti) untuk memperoleh faktor koreksi pada TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang diletakan di dalam *holder* TLD mata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Keseragaman Respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap Radiasi Sinar-X

Penentuan keseragaman respon 15 TLD-100 yang terbuat dari bahan LiF:Mg,Ti dilakukan dengan menyinari *holder* TLD mata yang di dalamnya berisi kepingan chip TLD-100 terhadap sumber radiasi sinar-X dengan variasi tegangannya adalah 60, 70, dan 80 kV. Pengukuran keseragaman respon diukur melalui nilai variasi keseragaman dan kurva SPC (*Statistical Process Control*). Nilai UWL dan UAL ditentukan menggunakan rumus pada Persamaan 1, untuk nilai LWL dan LAL ditentukan menggunakan rumus pada Persamaan 2, dan nilai variasi respon ditentukan menggunakan rumus pada Persamaan 3.

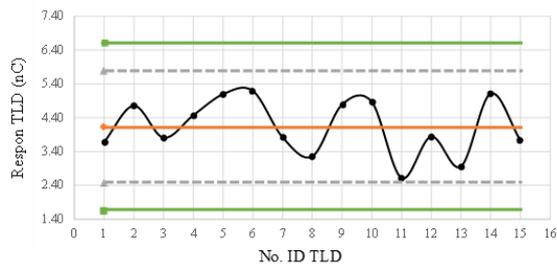
Setelah nilai respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) diperoleh, rata-rata respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti), LWL, UWL, UAL, LAL, standar deviasi respon serta nilai variasi respon yang diperoleh diplot dalam grafik. Batas atas dan batas bawah ditentukan menggunakan peta kendali SPC (*Statistical Process Control*) seperti pada ketiga grafik di bawah ini. Titik hitam pada ketiga grafik tersebut merupakan sebaran respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti).



Gambar 6. Grafik Keseragaman Respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap Radiasi Sinar – X pada Tegangan 60 kV.

Gambar 6 merupakan grafik keseragaman respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti)

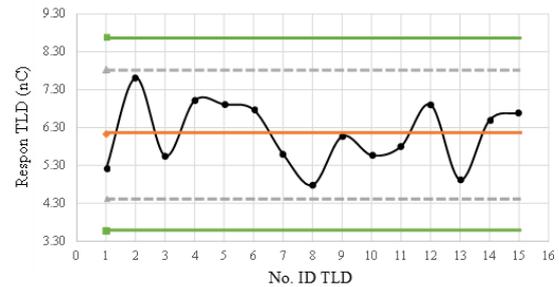
terhadap radiasi sinar – X pada saat tegangan 60 kV. Sebaran respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada tegangan 60 kV berada diantara rentang *Lower Warning Limit* (LWL) dan *Upper Warning Limit* (UWL) sehingga respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dapat dianggap seragam. Standar deviasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) adalah 0,95% dan nilai variasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) adalah 40,95%. Nilai variasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada tegangan 60 kV melebihi ketentuan ISO 21909 yaitu nilai variasi respon tidak melebihi 20%. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyinaran ulang pada TLD-100 (LiF:Mg,Ti).



Gambar 7. Grafik Keseragaman Respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap Radiasi Sinar – X pada Tegangan 70 kV.

Gambar 7 merupakan grafik keseragaman respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap radiasi sinar-X pada tegangan 70 kV, terdapat salah satu sebaran respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yaitu pada no. 11 yang mendekati *Lower Warning Limit* (LWL). Walaupun respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada no. 11 mendekati *Lower Warning Limit* (LWL), respon tersebut masih dapat digunakan untuk mengukur dosis radiasi lensa mata dan tidak perlu melakukan penyinaran ulang untuk menentukan keseragaman respon TLD.

Keseragaman respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada tegangan 70 kV masih dapat dianggap seragam. Standar deviasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) adalah 0,83% dan nilai variasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada tegangan 70 kV yaitu 20,05%. Nilai variasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada tegangan 70 kV tidak melebihi batasan yang telah ditentukan ISO 21909.



Gambar 8. Grafik Keseragaman Respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap Radiasi Sinar – X pada Tegangan 80 kV.

Kemudian, Gambar 8 adalah grafik keseragaman respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap radiasi sinar-X pada tegangan 80 kV. Dari hasil grafik tersebut, terdapat salah satu sebaran respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang mendekati *Upper Warning Limit* (UWL) yaitu TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada no. 2. Walaupun respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) mendekati *Upper Warning Limit* (UWL), respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) no. 2 masih dapat digunakan untuk mengukur dosis radiasi lensa mata dan tidak perlu dilakukan penyinaran ulang. Keseragaman respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada tegangan 80 kV masih dapat dianggap seragam. Standar deviasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) adalah 0,85% dan nilai variasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) adalah 13,93%. Nilai variasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada tegangan 80 kV tidak melebihi batasan yang ditentukan ISO 21909.

Penentuan Faktor Koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap Radiasi Sinar-X

Penentuan faktor koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang diletakan di dalam *holder* TLD mata terhadap radiasi sinar-X. Penyinaran radiasi sinar-X dilakukan pada *holder* TLD mata yang di dalamnya terdapat TLD-100 berbentuk kepingan chip dan detektor *Unfors-X1* pada permukaan *water phantom* dengan kondisi penyinaran yang dibuat sama.

Bacaan detektor *Unfors-X1* dijadikan sebagai bacaan referensi yang akan dibandingkan terhadap respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada medan radiasi sinar-

X. Untuk menentukan faktor koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) menggunakan Persamaan 2.7. Faktor koreksi dicari untuk beberapa variasi nilai tegangan (kV). Besarnya faktor koreksi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap radiasi sinar-X di permukaan *water phantom* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Koreksi Respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap Detektor *Unfors-XI*

Tegangan Tabung (kV)	Dosis $D_{Unfors-XI}$ (mGy)	Faktor Kalibrasi ^{137}Cs (mGy)	Respon Bacaan TLD-100 di Fantom (nC)	Dosis TLD-100 (mGy)	Faktor Koreksi
60	0,161	0,0928	2,309	0,214	0,753
70	0,246	0,0928	4,131	0,383	0,642
80	0,328	0,0928	6,129	0,569	0,576

Pada Tabel 1 diperoleh faktor koreksi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) terhadap detektor *Unfors-XI* untuk setiap tegangannya. Faktor koreksi digunakan untuk mengoreksi besarnya nilai faktor kalibrasi pada masing – masing tegangan terhadap nilai faktor kalibrasi pada kualitas radiasi referensi. Dosis TLD-100 (LiF:Mg,Ti) didapatkan dari hasil perkalian antara rata – rata respon bacaan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dengan faktor kalibrasi ^{137}Cs . Kalibrasi pada ^{137}Cs menggunakan energi gamma yaitu 662 keV. Faktor koreksi pada setiap tegangannya mengalami penurunan dari rentang 0,753 sampai 0,576 karena detektor memiliki respon yang berbeda untuk setiap tegangan yang digunakan.

Faktor koreksi yang ideal yaitu memiliki nilai 1. pada tegangan 60 kV hingga 80 kV memiliki faktor koreksi yang tidak ideal karena kalibrasi yang digunakan adalah ^{137}Cs dengan energi yang digunakan yaitu 662 keV. Hal ini terjadi karena tegangan yang digunakan untuk kalibrasi menggunakan energi yang rendah sedangkan kalibrasi yang digunakan untuk kalibrasi pada tegangan yang tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa untuk menentukan nilai keseragaman respon TLD-100

(LiF:Mg,Ti) terhadap radiasi sinar-X pada tegangan 60, 70, dan 80 kV menurut analisa *Statistical Process Control* (SPC) berada diantara rentang *Lower Warning Limit* (LWL) dan *Upper Warning Limit* (UWL) sehingga respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) dianggap seragam. Nilai variasi respon TLD-100 (LiF:Mg,Ti) pada tegangan 60 kV yaitu 40,95% melebihi batasan nilai variasi respon TLD yang ditentukan oleh ISO 21909 yaitu tidak lebih dari 20% sehingga perlu dilakukan penyinaran ulang sedangkan nilai variasi respon pada tegangan 70 kV yaitu 20,05% dan pada tegangan 80 kV yaitu 13,93% tidak melebihi batasan nilai yang ditetapkan oleh ISO 21909.

Faktor kalibrasi untuk setiap tegangannya tidak selalu mempunyai nilai yang sama, sehingga perlu diketahui faktor koreksi untuk setiap tegangannya. Faktor koreksi pada setiap tegangan mengalami penurunan dari rentang 0,753 hingga 0,576 karena detektor mempunyai respon yang berbeda untuk setiap tegangan yang digunakan. Faktor koreksi ideal memiliki nilai 1 sedangkan pada tegangan 60 kV hingga 80 kV tidak mencapai faktor koreksi ideal karena kalibrasi menggunakan ^{137}Cs dengan energi yang digunakan 662 keV. Hal ini terjadi karena tegangan yang digunakan untuk kalibrasi menggunakan energi yang rendah sedangkan kalibrasi yang digunakan untuk kalibrasi pada tegangan yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Masdi, Setiawati E, Anam C. *Analisis Penerimaan Dosis Radiasi Di Organ Mata pada Pemeriksaan Nasofaring Menggunakan CT Scan*, *Youngster Physics Journal*. 2013;1(5):177–184.
- [2] BATAN, 2008, *Dosis Serap Radiasi*. Retrieved Januari 9, 2022, from www.batan.go.id/ensiklopedi/08/01/02/01/08-01-0201.html
- [3] Bilski P, Bordy JM, Daures J, Denoziere M, Fantuzzi E, Ferrari P,

- Wach FM. *Radiation Measurements*, 2011;46, 1239-1242.
- [4] Nazaroh BT, Egenes DR, Irma. *Pengamatan Terhadap Dosimeter LiF: Mg,Cu,P yang Akan Digunakan sebagai Dosimeter Lensa Mata untuk Pengukuran Hp (3)*. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2016, 4, 1–8.
- [5] Nisaul CY. *Analisis Pengaruh Backscatter Factor Fantom dan Holder TLD Mata Terhadap Pengukuran Dosis Radiasi Sinar-X Berdasarkan Protokol IAEA TRS NO. 457*. Diploma Thesis, Universitas Andalas, Padang, 2019.
- [6] Aryawijayanti R & Susilo S. Analisis Dampak Radiasi Sinar-X pada Mencit Melalui Pemetaan Dosis Radiasi di Laboratorium Fisika Medik. *Jurnal MIPA Unnes*. 2016;38(1): 25–30.
- [7] Bushong SC. *Radiologic Science for Technologist Physics, Biology, and Protection* 7th Ed. The CV Mosby Company: Saint Louis, 2001.
- [8] BATAN. *Disain Penahan Ruang Sinar-X*. Pusdiklat BATAN: Jakarta, 2005.
- [9] Safitri DE, Subagiada K, Said S. Analisis Dosis Efektif pada Petugas Radiasi Berdasarkan Data TLD di Instalasi Radiologi RSUD Aji Muhammad Parikesit Tenggarong. *Prosiding Prosiding Seminar Seminar Sains Dan Teknologi Teknologi FMIPA Unmul*. 2018;3(1): 1–3.
- [10] BAPETEN. *Pedoman Sistem Pelayanan Pemantauan Dosis Eksterna Perorangan*. Jakarta, 2000.
- [11] Dendy PP & Heaton B. *Physics for Diagnostic Radiology*. IOP Publishing Ltd.: London. 1999.
- [12] Akhadi M. *Dasar – Dasar Proteksi Radiasi*. Jakarta: PT Rineka Cipta. 2000.
- [13] Saadati A. *Pengujian Kurva Kalibrasi Neutron Dosimeter Perorangan TLD Harshaw pada Radiasi Campuran Neutron dan Gamma*. Skripsi. Universitas Brawijaya, Malang. 2015.
- [14] ISO 21909-1. *Passive Neutron Dosimetry Systems Part: 1 Performance and Test Requirements for Personal Dosimetry*. Switzerland: ISO,. 2021.