

## PERBANDINGAN TANGGAPAN DOSIMETER TERMOLUMINISANSI LiF:Mg,Ti DAN LiF:Mg,Cu,P TERHADAP DOSIS DALAM APLIKASI MEDIK

Hasnel Sofyan dan Dyah Dwi Kusumawati

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN  
Jln. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan 12440  
E-mail : hasnel\_s@batan.go.id

Diterima: 11-05-2012

Diterima dalam bentuk revisi: 10-07-2012

Disetujui: 20-07-2012

### ABSTRAK

**PERBANDINGAN TANGGAPAN DOSIMETER TERMOLUMINISANSI LiF:Mg,Ti DAN LiF:Mg,Cu,P TERHADAP DOSIS DALAM APLIKASI MEDIK.** Kemajuan peralatan medik telah menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan *thermoluminescence dosimeter* (TLD), khususnya dalam pemantauan dosis rendah. Selama ini, TLD LiF:Mg,Ti yang sangat sensitif telah mendominasi pemakaian dosimeter di bidang medik. Akan tetapi, TLD LiF:Mg,Cu,P yang lebih sensitif dan biasa digunakan untuk pemantauan dosis personal dan lingkungan juga perlu dipertimbangkan untuk pengukuran dosis rendah dalam aplikasi medik. Pada penelitian ini, dilakukan penyinaran TLD LiF:Mg,Ti dan LiF:Mg,Cu,P dengan sumber  $^{60}\text{Co}$  pada jarak 1 meter dengan dosis masing-masing sebesar 100 mGy dan 10 mGy untuk mengetahui sebaran tanggapan TLD. Selain itu, dilakukan juga penyinaran TLD LiF:Mg,Cu,P dengan dosis 5 mGy menggunakan pesawat sinar X. Tanggapan kedua jenis TLD terhadap dosis rendah dalam aplikasi medik dievaluasi pada pasien pemeriksaan kedokteran nuklir dan radiodiagnostik. Setiap TLD dibaca dengan alat TLD Reader Harshaw model 2000A/B. Tanggapan TLD LiF:Mg,Cu,P terhadap penyinaran dengan  $^{60}\text{Co}$  lebih baik dan homogen dibandingkan LiF:Mg,Ti. Besarnya deviasi tanggapan adalah 6,85% dan 9,42%, masing-masing untuk LiF:Mg,Cu,P dan LiF:Mg,Ti. Pada dosis rendah, diperoleh bahwa sensitivitas LiF:Mg,Cu,P 23 kali lebih tinggi dari LiF:Mg,Ti. Dengan tingkat sensitivitas lebih tinggi dan deviasi tanggapan rendah, maka TLD LiF:Mg,Cu,P layak dipertimbangkan penggunaannya dalam aplikasi medik dengan dosis rendah.

**Kata kunci :** aplikasi medik, LiF:Mg,Ti, LiF:Mg,Cu,P, dosis rendah, TLD Reader

### ABSTRACT

**THE COMPARISON OF LiF:Mg,Ti AND LiF:Mg,Cu,P THERMOLUMINESCENCE DOSIMETERS RESPONSES AGAINST DOSES IN MEDICAL APPLICATIONS.** The development of medical equipment has increased the need of thermoluminescence dosimeter (TLD), particularly for low doses monitoring. The high sensitive LiF:Mg,Ti TLD has dominated the use of dosimeter in medical field for a long time. However, the LiF:Mg,Cu,P TLD which is more sensitive than LiF:Mg,Ti and usually used as personal and environmental dosimeter also is feasible to be used for low doses monitoring in medical applications. In this research, the LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P TLD were exposed by  $^{60}\text{Co}$  standard at the distance of 1 meter with the doses of 100 mGy and 10 mGy, respectively, to evaluate the deviation of TLD responses. The LiF:Mg,Cu,P TLD also was exposed with 5 mGy of the X rays. The TLD response towards the low doses at medical applications was evaluated in nuclear medicine and radiodiagnostic patients. The TLD was read with Harshaw TLD Reader Model 2000A/B. The TLD exposure by  $^{60}\text{Co}$  resulted in the homogenous and better response of LiF:Mg,Cu,P TLD compared with the LiF:Mg,Ti, the response deviations were 6.85% and 9.42%, respectively. At low doses, the sensitivity of LiF:Mg,Cu,P was 23 times higher than that of LiF:Mg,Ti. With high sensitivity and low response deviation, the LiF:Mg,Cu,P TLD is suitable for monitoring of low doses exposure in medical application.

**Keywords:** medical application, LiF:Mg,Ti, LiF:Mg,Cu,P, low doses, TLD Reader

## 1. PENDAHULUAN

*Thermoluminescence dosimeter* (TLD) sudah cukup lama digunakan secara luas sebagai alat QA (*quality assurance*) pasien dalam dosimetri medik (1). Jenis TLD dengan bahan utama LiF serta aktivator Mg dan Ti (LiF:Mg,Ti atau TLD-100) merupakan TLD yang sensitif dan banyak digunakan dalam aplikasi fisika medik terutama pada pemeriksaan radiodiagnostik (2). Jenis TLD LiF lainnya dengan aktivator Mg, Cu, dan P (LiF:Mg,Cu,P atau TLD-100H) memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan TLD LiF:Mg,Ti. Dalam aplikasi dosimetri, TLD LiF:Mg,Cu,P biasanya digunakan untuk pemantauan dosis radiasi perorangan dan lingkungan. Namun demikian, tidak menutup kemungkinan TLD LiF:Mg,Cu,P juga dapat digunakan dalam aplikasi medik, sebagai dosimeter alternatif selain TLD LiF:Mg,Ti (2,3).

TLD LiF:Mg,Ti maupun TLD LiF:Mg,Cu,P memiliki karakteristik bahan yang hampir sama dengan jaringan tubuh manusia (nomor atom efektif jaringan,  $Z_{\text{eff}} = 7,4$ ) dan keduanya mempunyai karakteristik pemudaran (*fading*) informasi dosis dan kerapatan massa ( $2,40\text{-}2,65 \text{ g/cm}^3$ ) yang sama. Walaupun demikian, ada beberapa sifat dosimetrik lain yang berbeda seperti diperlihatkan pada Tabel 1 (4,5). Perbedaan juga terdapat pada tanggapan dosimeter terhadap proses absorpsi energi yang berkaitan dengan interaksi *cross section* foton dosimeter, dan efisiensi relatif TL (6).

Rekomendasi pabrikan, seperti pada Tabel 1, telah menjadi perhatian serius, terutama untuk TLD LiF:Mg,Cu,P yang

sangat sensitif terhadap perbedaan laju pemanasan pada proses *annealing* dan pembacaan (7). *Annealing* merupakan proses pemanasan untuk membersihkan TLD dari elektron yang masih terperangkap pada perangkap dangkal. Kesulitan pada proses *annealing* adalah menetapkan teknik pemanasan yang sesuai dan menjamin ketepatan temperatur yang diberikan pada TLD (7).

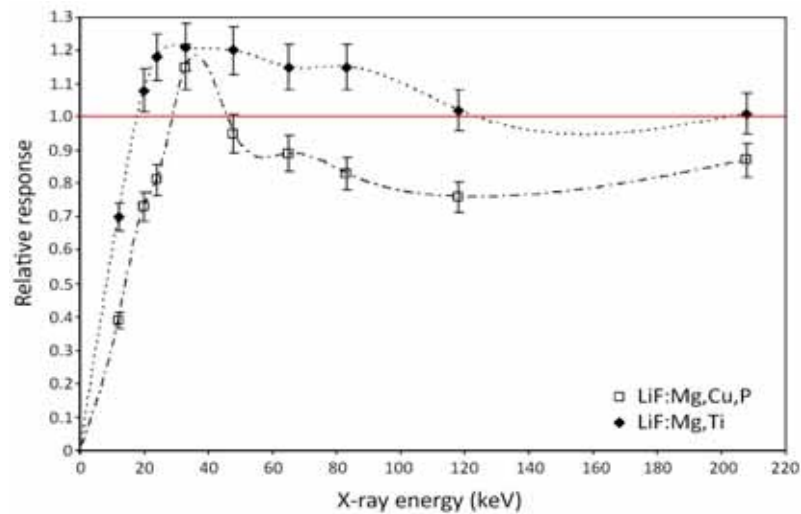
Dari penelitian Lupke (7), diketahui bahwa terjadi penurunan sensitivitas relatif dosimeter yang sangat signifikan akibat perbedaan temperatur *annealing*. Proses *annealing* pada temperatur  $240^\circ\text{C}$  selama 10 menit mengakibatkan penurunan sensitivitas relatif dosimeter menjadi 97%, 90% dan 73% masing-masing untuk siklus ke 10, 30 dan 50. Pada *annealing* dengan temperatur  $237^\circ\text{C}$  selama 10 menit, sensitivitas relatif dosimeter untuk siklus yang sama menjadi 95%, 88% dan 83%.

Dari penelitian Tang dkk (8), diketahui bahwa *annealing* dengan temperatur  $240^\circ\text{C}$  selama 10 menit mengakibatkan TLD LiF:Mg,Cu,P, kehilangan sensitivitas rata-rata sebesar  $< 0,4\%$  untuk setiap kali proses pembacaan. Di samping itu, ketergantungan tanggapan relatif dosimeter LiF terhadap perubahan energi tidak bisa diabaikan.

Selama ini, penggunaan TLD LiF:Mg,Ti telah mendominasi kebutuhan dosimeter dalam berbagai aplikasi medik. Kepekaan TLD LiF:Mg,Ti diperkirakan sebesar  $\pm 15\%$  dari standar pabrikan dan sangat sensitif terhadap perlakuan panas (*thermally stimulated*) yang terjadi pada proses *annealing* dan pembacaan (9).

Tabel 1. Karakteristik dosimetrik TLD LiF (4,5)

Bahan TL	Puncak kurva (°C)	Emisi maksimum (nm)	Z <sub>eff</sub>	Sensitivitas relatif	Linearitas (Gy)	Fading	Temperatur annealing (waktu)
LiF:Mg,Ti	210	425	8,14	1	10 <sup>-5</sup> – 10	< 5%/tahun	400°C (1 jam) dan 80°C (24 jam)
LiF:Mg,Cu,P	232	310 (410)	8,14	15 – 30	10 <sup>-6</sup> – 10	< 5% /tahun	240°C (10 menit)



Gambar 1. Tanggapan relatif TLD LiF:Mg,Cu,P dan LiF:Mg,Ti per unit kerma udara terhadap energi rendah sinar X (11).

Gambar 1, merupakan kurva hasil penelitian Edward dkk (10) tentang tanggapan relatif TLD LiF:Mg,Ti dan LiF:Mg,Cu,P terhadap variasi energi sinar X. Ketidak-seragaman tanggapan relatif TLD yang terlihat pada energi rendah < 20 keV merupakan kelemahan dosimeter (11). Pada Gambar 1, untuk energi sinar X antara 35 – 80 keV yang digunakan untuk pemeriksaan radiodiagnostik, TLD LiF:Mg,Cu,P memberikan tanggapan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan TLD LiF:Mg,Ti (10). Dari penelitian Gilvin dkk (12), juga diperoleh hasil bahwa TLD LiF:Mg,Cu,P memiliki sensitivitas tanggapan yang lebih

stabil untuk penggunaan jangka panjang.

Belakangan ini, perkembangan peralatan medik di Indonesia yang cukup signifikan telah menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan jumlah TLD, terutama untuk pengukuran paparan radiasi pengion dosis rendah. Kebutuhan TLD tersebut meliputi kebutuhan dalam pengukuran terimaan dosis radiasi pada pasien anak, pemeriksaan radiodiagnostik, kebocoran tabung pesawat sinar X, dosis paparan radiasi di sekitar pesawat sinar X, dan pemantauan paparan dosis pasien pada dosimetri *in vivo* kedokteran nuklir. Sebagai upaya dalam memenuhi kebutuhan TLD,

jenis TLD LiF:Mg,Cu,P dapat menjadi pilihan dan perlu mendapat perhatian yang cukup serius dengan beberapa pertimbangan yaitu:

- Sensitivitas tanggapan dosis 15-30 kali lebih tinggi dari TLD LiF:Mg,Ti (4,5).
- Pengaruh kontaminan berupa debu, kotoran, minyak ~15 – 20 lebih rendah dari TLD LiF:Mg,Ti (13).
- Relatif tidak sensitif untuk kondisi pencahayaan ruangan dan laboratorium (14).

Kebutuhan TLD di Indonesia untuk dosimetri medik akan terus mengalami peningkatan. Selama ini, pengukuran dosis terimaan pasien radiodiagnostik hanya menggunakan TLD LiF:Mg,Ti, dan ketersediaan TLD tersebut di Laboratorium Dosimetri Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR), BATAN, sangat terbatas. Begitu juga dengan TLD LiF:Mg,Cu,P yang telah digunakan sebagai dosimeter untuk pemantauan dosis radiasi lingkungan. Dengan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi dari TLD LiF:Mg,Ti dan nilai  $Z_{\text{eff}}$  yang sama, maka TLD LiF:Mg,Cu,P berpeluang untuk digunakan dalam dosimetri medik, terutama untuk dosis rendah (5).

Dalam rangka memenuhi tuntutan kebutuhan TLD LiF dalam dosimetri medik dengan jumlah yang besar, melalui penelitian ini dipelajari tanggapan TLD LiF:Mg,Ti dan TLD LiF,Mg,Cu,P terhadap dosis radiasi. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui unjuk kerja TLD LiF pada aplikasi dosimetri medik, terutama dalam pengukuran dosis rendah.

## 2. TATA KERJA

Dalam penelitian ini, TLD LiF:Mg,Ti dan LiF:Mg,Cu,P yang digunakan merupakan TLD buatan Harshaw / Thermo scientific berbentuk *chips* dan keduanya berukuran sama yaitu 3,2 mm x 3,2 mm x 0,89 mm. Tanggapan TLD dibaca dengan TLD Reader Harshaw model 2000A/B yang dialiri gas nitrogen dengan tekanan 20 psi untuk mengurangi sinyal TL yang berasal dari radiasi bukan pengion. Untuk mendapatkan hasil bacaan yang optimal, tegangan tabung *photomultiplier* alat diatur pada 617 volt, sehingga kepekaan menjadi 169 nC/detik, sinyal TL terintegrasi selama 25-30 detik dan temperatur maksimum pada kisaran 240-250°C. Laju pemanasan yang dapat mempengaruhi intensitas TL, diatur pada 7°C /detik (15). Temperatur (< 24,5°C) dan kelembapan (~31%) ruangan selama berlangsung proses pembacaan TLD juga menjadi perhatian agar ruangan dapat terkondisikan dengan baik dan optimal.

Stimulasi panas pada TLD dapat menyebabkan *thermal quenching*. Untuk menghindari kemungkinan ini, maka dilakukan *annealing* TLD pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur yang direkomendasikan. Dalam penelitian ini, *annealing* TLD LiF:Mg,Ti dilakukan pada temperatur 200°C selama 2 jam dengan *furnace* dan dilanjutkan dengan oven pada temperatur 400°C selama 1 jam. Proses *annealing* untuk TLD LiF:Mg,Cu,P hanya dilakukan dengan oven di bawah temperatur yang direkomendasikan (240°C), yaitu 220°C selama 10 menit sesuai dengan hasil penelitian Lupke (7), sehingga sensitivitas relatif TLD tidak menurun secara signifikan.

Tanggapan dosimeter terhadap dosis perlu diketahui terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pengukuran paparan radiasi dalam pemeriksaan medik di rumah sakit. Untuk itu dilakukan penyinaran pasangan TLD LiF:Mg,Ti dan LiF:Mg,Cu,P secara bersamaan dengan sumber standar  $^{60}\text{Co}$  (233,63 TBq pada 1 Juni 1999) dan pesawat sinar X. Penyinaran TLD dilakukan di *Secondary Standard Dosimetry Laboratory* (SSDL) PTKMR, BATAN. Selain itu, dilakukan juga perbandingan tanggapan TLD terhadap dosis secara langsung pada pasien pemeriksaan kedokteran nuklir.

Selama penelitian, TLD yang disinari dengan sumber radiasi disimpan pada suhu kamar sekurang-kurangnya selama 24 jam. Penundaan ini bertujuan untuk menghilangkan puncak kurva yang kemungkinan muncul pada suhu rendah di saat pelaksanaan proses pembacaan TLD. Puncak kurva ini merupakan elektron-elektron yang terdapat pada perangkat yang relatif dangkal dan mudah melepaskan diri dari perangkatnya. Hal ini dapat terjadi karena dosimeter LiF memiliki sifat yang tidak stabil secara termik (4).

Sebanyak 100 buah TLD yang telah diproses *annealing*, masing-masing disinari menggunakan sumber standar  $^{60}\text{Co}$  dengan dosis 10 mGy untuk LiF:Mg,Cu,P dan 100 mGy untuk LiF:Mg,Ti, pada jarak 1 meter. Besarnya dosis yang diberikan pada masing-masing tipe TLD mengacu pada hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Gonzales (4) dan McKeever (5), serta disesuaikan dengan kemampuan alat TLD Reader Harshaw 2000A/B. Sebanyak 100 buah TLD LiF:Mg,Cu,P yang telah diproses

*annealing* selanjutnya disinari dengan pesawat sinar X untuk energi 83 keV dengan dosis 5 mGy.

Dalam kedokteran nuklir, dosis radionuklida yang diinjeksikan ke dalam tubuh pasien disesuaikan dengan kebutuhan dan jenis pemeriksaan. Besarnya dosis yang diterima permukaan kulit pasien di sekitar posisi organ target dapat ditentukan dengan TLD. Pada penelitian ini, paket pasangan TLD ditempelkan pada pasien untuk mengetahui sensitivitas TLD terhadap paparan radiasi yang berasal dari radionuklida yang diinjeksikan.

Paket pasangan TLD yang dikemas, masing-masing terdiri dari 3 TLD LiF:Mg,Cu,P dan 3 TLD LiF:Mg,Ti. Dosis radiasi dari radionuklida yang diinjeksikan ke dalam tubuh relatif rendah dan lamanya waktu TLD terpasang pada tubuh pasien relatif singkat, sehingga pengambilan data dilakukan pada pasien dan kasus pemeriksaan yang berbeda. Untuk pemeriksaan ini, digunakan 52 paket TLD dan 2 paket diantaranya digunakan sebagai pemantau dosis *background* (latar).

Pengambilan data dosis yang diterima pasien juga dilakukan untuk pemeriksaan radiodiagnostik. Dalam pemeriksaan ini digunakan 30 paket TLD dan 2 paket diantaranya digunakan untuk mengukur dosis *background*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan bahan fosfor TLD yang tidak tepat untuk aplikasi medik dapat menyebabkan terjadinya kesalahan yang signifikan dalam memperkirakan dosis yang diterima pasien. Di samping itu, penentuan

puncak kurva dalam menetapkan dosis dan tingkat kestabilan dari informasi dosis juga merupakan parameter penting yang tidak bisa diabaikan. Jumlah sinyal TL per unit dosis serap, dipengaruhi oleh beberapa variabel percobaan dan bahan fosfor TLD. *Batch* pembuatan yang berbeda juga dapat menjadi penyebab terjadinya perbedaan sensitivitas TLD (4).

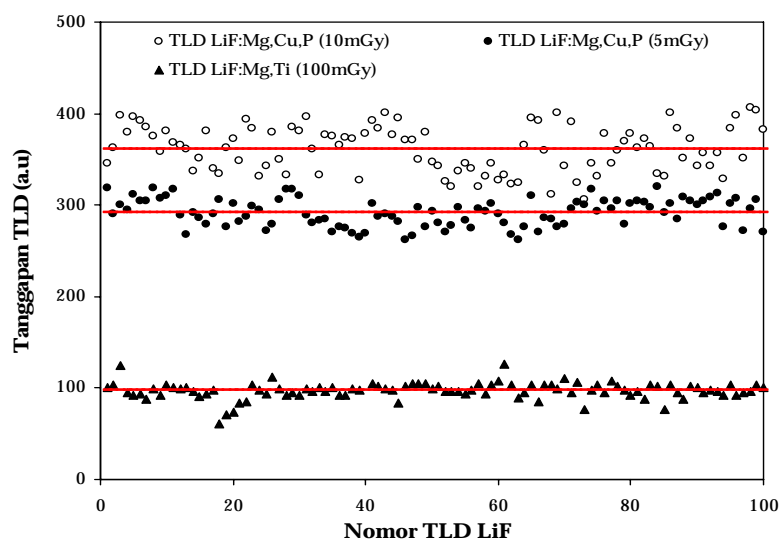
TLD LiF:Mg,Cu,P merupakan dosimeter untuk pemantauan paparan radiasi lingkungan yang pada umumnya memiliki laju dosis relatif rendah. Agar TLD ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi medik, maka perlu diketahui tanggapan TLD LiF:Mg,Cu,P terhadap laju dosis yang cukup tinggi. Dalam penelitian ini digunakan sumber  $^{60}\text{Co}$  dengan aktivitas 233,63 TBq (1/6/1999).

Tanggapan TLD LiF:Mg,Ti dan LiF:Mg,Cu,P terhadap radiasi gamma dari sumber standar  $^{60}\text{Co}$  dan sinar X diperlihatkan pada Gambar 2. Setiap TLD memberikan tanggapan yang berbeda untuk kondisi dan dosis penyinaran serta

perlakuan yang sama. Perbedaan tanggapan yang sangat signifikan terlihat antara tanggapan yang diberikan TLD LiF:Mg,Cu,P dengan TLD LiF:Mg,Ti.

Deviasi perbedaan tanggapan relatif TLD LiF:Mg,Cu,P yang disinari dengan  $^{60}\text{Co}$  (10 mGy) diperoleh sebesar 6,85%, dan sebesar 5,19% untuk TLD LiF:Mg,Cu,P yang disinari dengan pesawat sinar X (5 mGy). Kelompok TLD LiF:Mg,Ti yang disinari dengan  $^{60}\text{Co}$  (100 mGy), memberikan deviasi tanggapan relatif sebesar 9,42%. Meskipun deviasi tanggapan yang diberikan kedua jenis TLD <10%, namun dapat dikatakan bahwa tanggapan yang diberikan oleh TLD LiF:Mg,Cu,P relatif lebih homogen dibandingkan dengan TLD LiF:Mg,Ti.

Tanggapan bersih yang diberikan TLD LiF ( $R_{\text{net}}$ ) dari hasil bacaan dengan alat TLD Rader model 2000A/B, merupakan hasil bacaan pertama ( $R_1$ ) yang dikurangi dengan bacaan kedua sebagai bacaan latar ( $R_2$ ), atau dapat dinyatakan sebagai  $R_{\text{net}}=R_1 - R_2$ .



Gambar 2. Penyebaran tanggapan TLD LiF:Mg,Ti dan LiF:Mg,Cu,P terhadap radiasi gamma (100 mGy dan 10 mGy) dan sinar X (5 mGy).

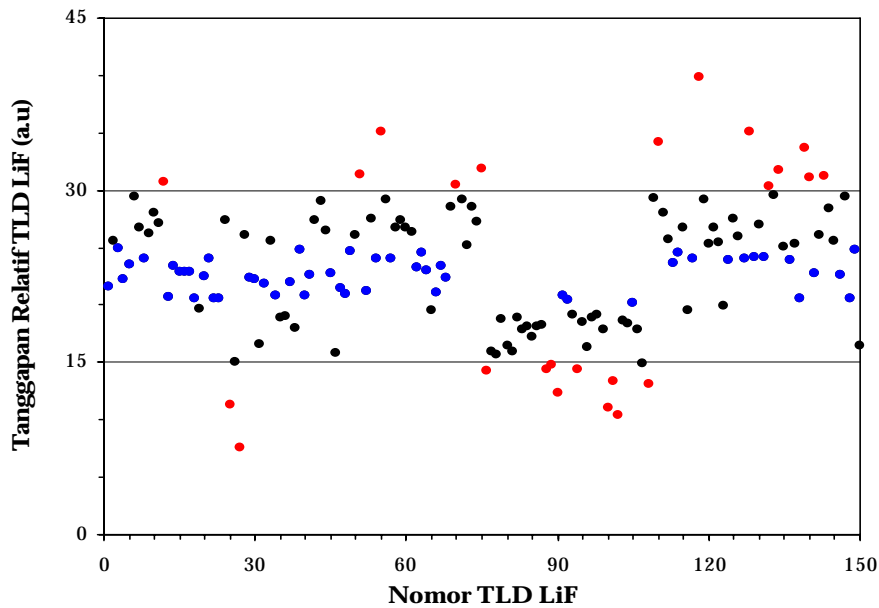
Variabel percobaan dapat menyebabkan terjadinya perbedaan tanggapan, seperti proses *annealing*, laju pemanasan pada saat proses pembacaan, integrasi daerah kurva pancar dan tanggapan tabung *photomultiplier* yang terdapat dalam alat baca TLD. Dalam penelitian Kirby (16), berkaitan dengan penentuan akurasi sistem TLD LiF yang digunakan pada aplikasi medik, diperoleh hasil tingkat kesalahan lebih besar dari 10% dari sekitar 22% peserta yang melaporkan. Dalam dosimetri medik, TLD yang layak digunakan harus memiliki batas akurasi sebesar 3–5% (9). Untuk itu, supaya dosis yang diterima setiap pasien radiodiagnostik dapat diketahui secara teliti dan akurat, maka perlu dilakukan pengelompokan TLD berdasarkan tanggapan yang diberikan.

Dosimeter LiF yang digunakan dalam penelitian ini merupakan TLD yang telah dikelompokkan berdasarkan pada keseragaman tanggapan terhadap paparan radiasi pengion. Setiap TLD disinari pada jarak dan dosis yang sama dengan menggunakan pesawat sinar X. Setiap TLD diperlakukan sama agar dapat memberikan tanggapan dan sensitivitas yang optimal, kecuali untuk proses *annealing*. Kelompok TLD yang digunakan, memiliki keseragaman tanggapan dalam interval deviasi antara 3,04–4,06% untuk TLD LiF:Mg,Ti dan 3,80–4,10% untuk TLD LiF:Mg,Cu,P.

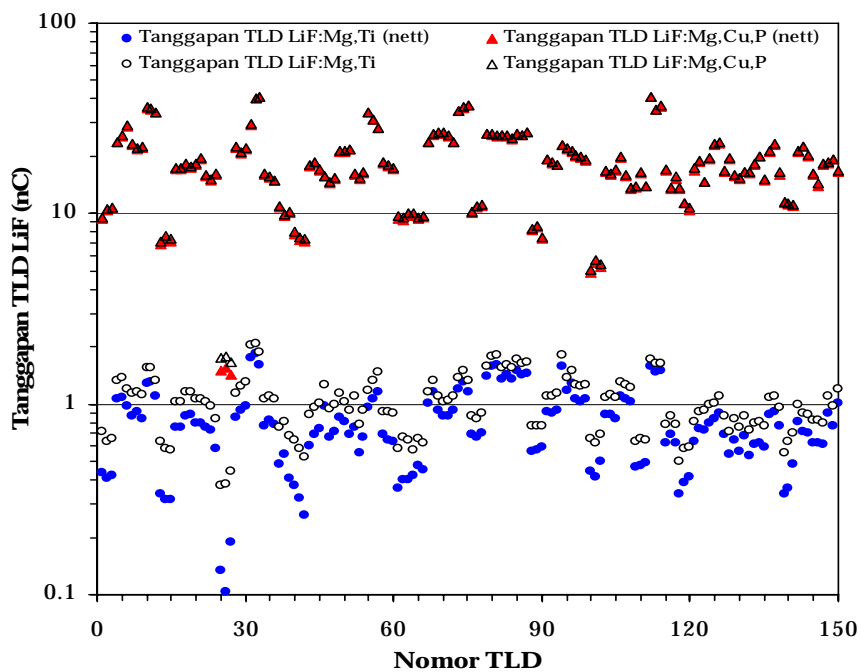
Pada Gambar 3 diperlihatkan perbandingan tanggapan relatif TLD LiF:Mg,Cu,P terhadap TLD LiF:Mg,Ti yang disinari dengan sumber gamma ( $^{60}\text{Co}$ ). Dari hasil bacaan tanggapan pasangan TLD

LiF:Mg,Cu,P dengan LiF:Mg,Ti, dapat dilihat perbedaan tanggapan relatif yang bervariasi dalam interval 15 – 30. Tanggapan relatif rerata TLD LiF:Mg,Cu,P terhadap TLD LiF:Mg,Ti yang diperoleh dari data ini adalah sebesar 23. Data ini menyatakan bahwa TLD LiF:Mg,Cu,P memiliki sensitivitas 23 kali lebih besar dari LiF:Mg,Ti. Pada Gambar 3 juga terlihat adanya beberapa pasangan TLD yang memiliki perbandingan tanggapan relatif berada di luar interval 15 – 30. Meskipun dosimeter yang digunakan sudah diseleksi, namun perbedaan ini dapat saja terjadi karena ketidakseragaman sensitivitas setiap dosimeter dan juga kemungkinan adanya ketidakstabilan alat TLD Reader Harshaw model 2000A/B pada saat digunakan.

Gambar 4 merupakan kurva hasil perbandingan tanggapan antara TLD LiF:Mg,Cu,P dengan LiF:Mg,Ti yang diaplikasikan dalam pemantauan dosis yang diterima pasien dosimetri *in vivo* kedokteran nuklir dan radiodiagnostik. Tanggapan  $R_{net}$  diperoleh dari pengurangan tanggapan  $R_1$  dengan tanggapan latar. Pada TLD LiF:Mg,Cu,P, terlihat perbandingan tanggapan antara  $R_{net}$  ( $\blacktriangle$ ) dengan  $R_1$  ( $\triangle$ ) relatif kecil dan sangat berbeda dengan perbandingan tanggapan  $R_{net}$  ( $\bullet$ ) dan  $R_1$  ( $\circ$ ) TLD LiF:Mg,Ti. Hasil ini menunjukkan bahwa deviasi tanggapan yang diberikan oleh setiap paket TLD LiF:Mg,Cu,P (3 TLD) dalam satu titik pengukuran juga menjadi relatif lebih kecil, sehingga estimasi dosis rendah yang diterima pasien akan lebih teliti dan akurat.



Gambar 3. Tanggapan relatif TLD LiF:Mg,Cu,P terhadap LiF:Mg,Ti ( $R = R_{LiF:Mg,Cu,P} / R_{LiF:Mg,Ti}$ ) yang disinari sumber gamma (● =  $20 \leq R \leq 25$ ; ● =  $15 \leq R \leq 30$ ; dan ● =  $15 > R > 30$ ).



Gambar 4. Tanggapan TLD LiF:Mg,Cu,P ( $\Delta = R_1$  dan  $\blacktriangle = R_{nett}$ ) dan TLD LiF:Mg,Ti ( $\circ = R_1$  dan  $\bullet = R_{nett}$ ) dalam aplikasi kedokteran nuklir.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan tanggapan TLD dari hasil bacaan alat TLD Reader Harshaw

model 2000A/B, dapat disimpulkan bahwa TLD LiF:Mg,Cu,P memiliki kemampuan lebih baik dari LiF:Mg,Ti. Hal ini terlihat dari



deviasi tanggapan yang lebih kecil. Deviasi tanggapan relatif TLD LiF:Mg,Cu,P dan LiF:Mg,Ti yang disinari dengan  $^{60}\text{Co}$ , masing-masing adalah 6,85% dan 9,42%, sehingga TLD LiF:Mg,Cu,P sangat cocok untuk aplikasi medik yang membutuhkan hasil pengukuran dosis yang akurat dan teliti. TLD LiF:Mg,Cu,P dengan kemampuan 23 kali lebih tinggi dari LiF:Mg,Ti dapat dipertimbangkan menjadi dosimeter alternatif dalam memenuhi tuntutan kebutuhan aplikasi dosimetri medik dosis rendah.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang tulus kami sampaikan kepada dokter Fadil Natsir, juga kepada Sdri Nunung Nuraeni, S.Si., Bu Helfi Yuliaty, A.Md., Bu Suyati dan rekan kerja di Bidang Dosimetri PTKMR lainnya yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam banyak hal sehingga makalah ini dapat diselesaikan.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Rah JE, Hong JY, Kim GY, Kim YL, Shin DO, Suh TS. A comparison of the dosimetric characteristics of a glass rod dosimeter and a thermoluminescent dosimeter for mailed dosimeter. *Radiat Meas* 2009;44:18–22.
2. Gonzalez PR, Furetta J, Azorin C. Comparison of the TL responses of two different preparations of LiF:Mg,Cu,P irradiated by photons of various energies. *Appl Radiat Isotopes* 2007;65:341–4.
3. Gonzalez PR, Quiroz MC, Azorin J, Furetta C, Avila O. Improvement in the preparation method of LiF:Mg,Cu,P thermoluminescent phosphor. *J Appl Sci* 2005;5(8):1408–11.
4. McKeever SWS, Moscovitch M, Townsend PD. Thermoluminescence dosimetry materials property and uses. Nuclear Technology Publishing, Ashford, UK 1994.
5. Zoetelief J, Julius HW, Christensen P. Recommendations for patient dosimetry in diagnostic radiology using TLD. Rep. EUR 19604, Luxembourg: European Commission; 2000.
6. Freire L, Calado A, Cardoso JV, Santos LM, Alves JG. Comparison of LiF (TLD-100 and TLD-100H) detectors for extremity monitoring. *Radiat Meas* 2008;43: 646 –50.
7. Lupke M, Goblet F, Polivka B, Seifert H. Sensitivity loss of LiF:Mg,Cu,P thermoluminescence dosimeters caused by oven annealing. *Radiat Prot Dosim* 2006;121:195–201.
8. Tang K, Zhao J, Shen W, Zhu H, Wang Y, Liu B. Influence of readout parameters on TL response, re-usability and residual signal in LiF:Mg,Cu,P. *Radiat Prot Dosim* 2002;100:353–6.
9. Moscovitch M, Horowitz YS. Thermoluminescent materials for medical applications: LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P. *Radiat Meas* 2007;41: S71–7.
10. Edwards CR, Mountford PJ, Green S, Palethorpe JE, Moloney AJ. The low energy X-ray response of the LiF:Mg,Cu,P thermoluminescent dosimeter: A comparison with LiF:Mg,Ti. *British Journ Radiol* 2005;78:543–7.

- 
11. Gilvin PJ. Comparison of time effects, decision limit and residual signal in Harshaw LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P. *Radiat Prot Dosim* 2007;125:233–6.
  12. Gilvin, PJ, Burkett, RA, Baker ST, Garratt NJ. Long-term stability of Harshaw LiF:Mg,Cu,P TLDs. *Radiat Prot Dos* 2011;144:192–4.
  13. Al-Haj, A, Lagarde C, Mahyoub F, A comparative study on the susceptibility of LiF:Mg,Ti (TLD-100) and LiF:Mg,Cu,P (TLD-100H) to spurious signals in thermoluminescence dosimetry. *Radiat Prot Dos* 2007;125:399–402.
  14. Baker ST, Gilvin PJ. Comparison of the effects of exposure to light in Harshaw LiF:Mg,Ti and LiF:Mg,Cu,P. *Radiat Prot Dos* 2007;125:258–60.
  15. Bos, AJJ. Theory of thermoluminescence. *Radiat Meas* 2007;41: S45–56.
  16. Kirby TH, Hanson WF, Johnson DA. Uncertainty analysis of absorbed dose calculations for thermoluminescence dosimeters. *Med Phys* 1992;19:1427–33.