

TANGGAPAN THERMOLUMINESCENT DOSIMETER $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ TERHADAP MEDAN RADIASI CAMPURAN BETA, GAMMA DAN MEDAN RADIASI CAMPURAN BETA GAMMA

Riza Rahma¹, Chomsin S. Widodo¹, Nazaroh²

¹) Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya

²) Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN Pasar Jum'at

Email : Orizarahma0@gmail.com

Abstrak

Thermoluminescence Dosimeter (TLD) $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ merupakan detektor pasif yang digunakan merekam jumlah energi radiasi yang diterima pekerja radiasi. TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ menghasilkan respon yang nilainya tergantung terhadap energi partikel beta yang datang. TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ sensitif terhadap radiasi beta dan gamma. Penyinaran kalibrasi dan campuran antara sumber radiasi beta ^{90}Sr , ^{85}Kr dan ^{147}Pm dan sumber gamma ^{137}Cs . Kurva kalibrasi memiliki gradien kemiringan terbesar pada sumber ^{90}Sr yang memiliki energi paling tinggi. Hasil evaluasi dosis campuran dari algoritma $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ menunjukkan persen kesalahan yang besar sedangkan pada semua kombinasi dosis campuran dan metode kurva kalibrasi menghasilkan persen kesalahan terbesar pada sumber radiasi beta ^{147}Pm . Hasil ini sama dengan hasil penelitian Bakshi sebagai referensi dimana persen kesalahan paling besar terjadi pada sumber radiasi beta ^{147}Pm .

PENDAHULUAN

Pemantauan dosis perorangan yang diterima para pekerja radiasi adalah hal yang wajib dilakukan. Hal ini dilakukan untuk membatasi dosis radiasi yang diterima para pekerja radiasi sebagaimana yang tertulis dalam PERKA BAPETEN no. 4 tahun 2013. Pemantauan dosis perorangan pada para pekerja radiasi dilakukan dengan memberikan dosimeter kepada pekerja radiasi yang berfungsi menangkap energi radiasi yang mengenainya selama pemantauan. Dosimeter tersebut kemudian dievaluasi secara periodik, misal setiap bulan atau setiap kwartalan (Kusumawati dkk., 2004). Dosimeter perorangan yang banyak digunakan di Indonesia adalah thermoluminescence Dosimeter atau yang disebut TLD.

Thermoluminescence Dosimeter atau yang disebut TLD merupakan detektor pasif yang dapat menangkap dan menyimpan energi radiasi yang mengenainya dan memancarkannya dalam bentuk cahaya ketika dipanaskan. Salah satu jenis TLD adalah TLD yang terbuat dari bahan $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$. TLD dengan bahan $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ini memiliki kepekaan terhadap radiasi beta dan gamma. Kepekaan TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ terhadap radiasi beta gamma ini menyebabkan TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ banyak digunakan pabrik kertas. TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ memiliki respon yang tergantung terhadap energi sumber radiasi. Pengaruh energi sumber radiasi terhadap respon TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dapat mempengaruhi hasil evaluasi dosis yang dihasilkan.

Evaluasi dosis yang dilakukan untuk mengetahui dosis yang diterima TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dari respon yang dihasilkan dapat dilakukan

dengan metode kurva kalibrasi dan metode algoritma.. Selama ini, evaluasi dosis yang dihasilkan dari TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ di Indonesia adalah dengan menggunakan kurva kalibrasi.

Peneliti melakukan penelitian untuk mengetahui ketergantungan respon TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ terhadap energi sumber radiasi yang berpengaruh terhadap kurva kalibrasi dari beberapa sumber yang digunakan. Hal ini yang mendasari peneliti menggunakan sumber radiasi beta ^{90}Sr , ^{85}Kr dan ^{147}Pm , sehingga dapat dilihat pengaruh perbedaan energi radiasi dari ketiga sumber tersebut terhadap kurva kalibrasi yang dihasilkan. Selain itu, peneliti ingin mengetahui pengaruh penambahan radiasi gamma terhadap hasil evaluasi dosis pada TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, sehingga pada penelitian dilakukan penyinaran campuran antara ketiga sumber radiasi beta dengan sumber radiasi gamma ^{137}Cs . Penelitian tentang TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ yang diradiasi dengan menggunakan medan radiasi campuran pernah dilakukan oleh bakshi [1]. Penelitian tersebut menghasilkan error evaluasi dosis beta yang besar ketika TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ disinari dengan menggunakan sumber radiasi ^{147}Pm . Pada penelitian tersebut, evaluasi dosis dilakukan dengan menggunakan metode algoritma buatan bakshi. Penelitian tentang kurva kalibrasi pada penyinaran medan campuran beta gamma belum pernah dilakukan, sehingga peneliti merasa perlu untuk melakukannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium gamma, Laboratorium beta dan Laboratorium TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ Reader Pusat Teknologi

Keselamatan dan Metrologi Radiasi mulai tanggal 18 agustus 2014 sampai dengan 10 November 2014.

Metode yang digunakan pada penelitian kali ini terbagi menjadi empat tahap. Empat tahap tersebut adalah persiapan TLD, penyinaran keseragaman, penyinaran kalibrasi dan penyinaran campuran. Persiapan TLD meliputi annealing dan pelabelan. Annealing pada TLD dilakukan untuk menghilangkan respon dari TLD yang terjadi karena radiasi dari lingkungan sehingga TLD digunakan dalam keadaan bersih dari radiasi lingkungan. Pelabelan dilakukan untuk memberi nomor pada setiap TLD.

Langkah selanjutnya adalah penyinaran keseragaman. Penyinaran keseragaman dilakukan untuk mendapatkan kelompok TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ yang memiliki sensitivitas respon terhadap radiasi seragam atau minimal memiliki standrat deviasi yang rendah. Penyinaran keseragaman dilakukan dengan meradiasi TLD dengan sumber gamma standart ^{137}Cs dengan dosis sebesar 1 mSv. Penyinaran pada penelitian ini, TLD ditempelkan pada fantom slab dikarenakan fantom slab dapat digunakan untuk merepresentasikan tubuh manusia [2].



Gambar 1. Fantom Slab PMMA

Langkah berikutnya adalah penyinaran kalibrasi. Penyinaran kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan kurva kalibrasi dari sumber beta ^{90}Sr , ^{85}Kr dan ^{147}Pm dan sumber gamma ^{137}Cs . Penyinaran kalibrasi dilakukan dengan meradiasi TLD dengan menggunakan keempat sumber tersebut pada berbagai dosis. Hasil dari penyinaran kemudian diplot pada grafik dengan sumbu x sebagai dosis dan sumbu y sebagai respon sehingga didapatkan kurva linier dari hubungan pertambahan dosis penyinaran dan respon dari TLD. Setelah penyinaran kalibrasi dilakukan, hasil penyinaran kalibrasi dipolt pada kurva terompet. Kurva terompet berfungsi untuk mengetahui apakah hasil penyinaran kalibrasi menghasilkan data kalibrasi yang valid atau tidak.

Persamaan batas atas dan batas bawah kurva terompet adalah sebagai berikut

$$7 \times \left(1 - \frac{2X_0}{X_0 + X_e} \right) \leq \frac{X_s}{X_e} \leq 1.5 \times \left(1 + \frac{X_0}{2X_0 + X_e} \right) \quad (1)$$

dimana X_0 adalah konstanta parameter yang direkomendasikan untuk radiasi 1 mSv; X_s adalah dosis yang diketahui dan X_e adalah dosis hasil perhitungan[3].

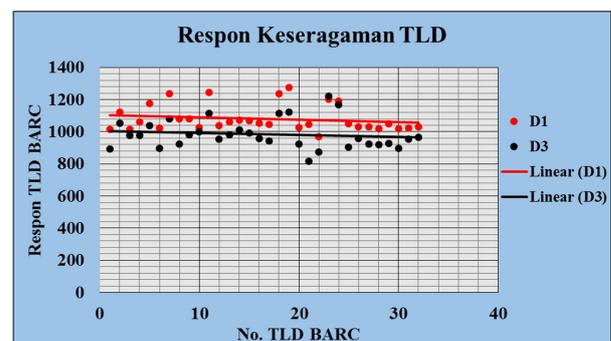
Tahap setelah dilakukan penyinaran kalibrasi adalah penyinaran campuran. Penyinaran campuran dilakukan dengan meradiasi TLD dengan menggunakan sumber radiasi beta dan gamma. Campuran yang dilakukan adalah (1) ^{90}Sr dan ^{137}Cs , (2) ^{85}Kr dan ^{137}Cs dan (3) ^{147}Pm dan ^{137}Cs . Kombinasi penyinaran terebut dilakukan dengan menggunakan dosis 6 mSv dan 2 mSv secara bergantian. Dosis 6 mSv dan 2 mSv dipilih berdasarkan presentase kombinasi yang dilakukan bakshi. Bakshi melakukan penyinaran campuran dengan kombinasi dosis 75% dosis beta + 25% dosis gamma dan 25% dosis beta + 75% dosis gamma.

Setelah penyinaran campuran, langkah berikutnya adalah analisa data. Analisa data dilakukan mengevaluasi hasil bacaan respon dari TLD setelah disinari dengan radiasi beta dan gamma dengan menggunakan metode kurva kalibrasi dan metode algoritma. Hasil dosis dari evaluasi tersebut dibandingkan dengan nilai dosis yang sebenarnya dengan dihitung nilai kesalahannya dengan persamaan.

$$\text{Kesalahan evaluasi dosis (\%)} = \frac{Dm - Dt}{Dt} \times 100\% \quad (2)$$

Hasil dan Pembahasan

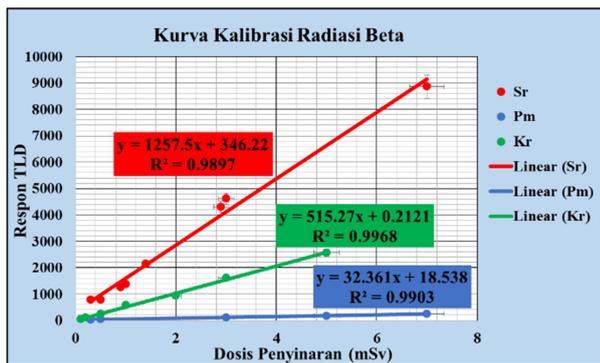
Respon yang dihasilkan pada penyinaran keseragaman dengan menggunakan sumber radiasi gamma standart ^{137}Cs ditunjukkan pada gambar 2.



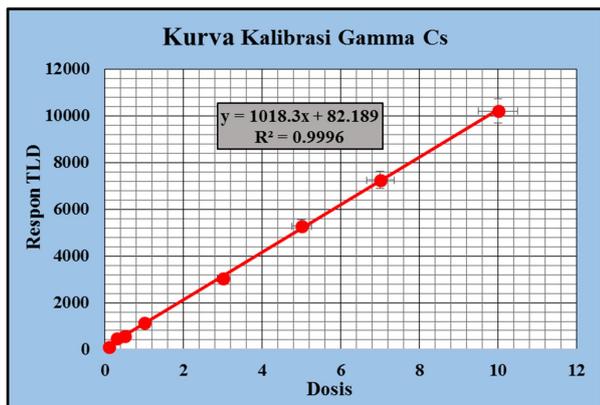
Gambar 2. Kurva Keseragaman TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$

Hasil penyinaran keseragaman dapat diketahui sebaran nilai respon keping D1 dan D3 dari 32 TLD CaSO₄:Dy yang disinari. Keping TLD CaSO₄:Dy yang dievaluasi adalah keping D1 dan D3 dikarenakan kedua keping tersebut yang digunakan untuk evaluasi dosis gamma dan beta. Didapatkan dari sebaran nilai respon TLD CaSO₄:Dy pada keping D1 dan D3 nilai respon TLD CaSO₄:Dy pada keping D1 sebesar 1081.53±81.8 dengan standart deviasi sebesar 8% dan untuk keping D3 didapatkan nilai respon TLD CaSO₄:Dy sebesar 982.9±90.7 dengan standart deviasi sebesar 9.2%. Menurut Tawil [4], keseragaman TLD CaSO₄:Dy dalam satu kelompok yang digunakan untuk penelitian dosimeter seluruh tubuh dapat ditoleransi dengan nilai standart deviasi sebesar ± 9%, sehingga 32 TLD CaSO₄:Dy yang disinari tersebut dapat dimasukkan ke dalam satu kelompok penelitian dikarenakan memiliki standart deviasi yang memenuhi kriteria.

Kurva kalibrasi sumber radiasi beta ⁹⁰Sr, ⁸⁵Kr dan ¹⁴⁷Pm dan sumber radiasi gamma ¹³⁷Cs pada penyinaran kalibrasi pada gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Kurva Kalibrasi Radiasi Beta



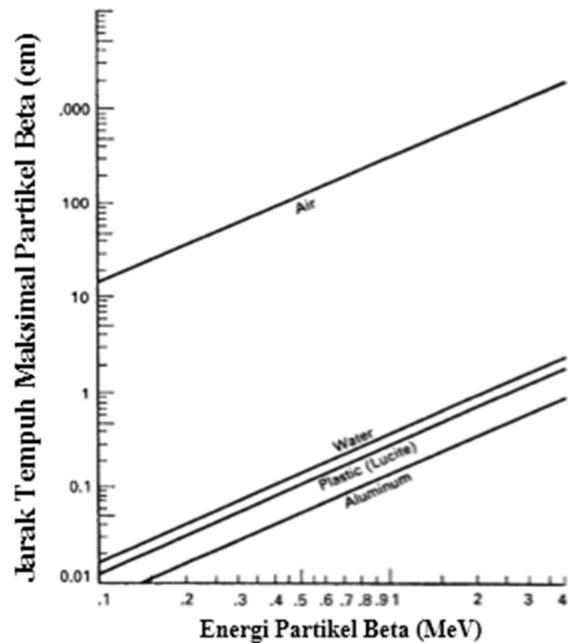
Gambar 4. Kurva Kalibrasi Radiasi Gamma

Kurva kalibrasi radiasi beta pada gambar 4.2 menggambarkan kurva linier respon TLD CaSO₄:Dy terhadap radiasi beta dengan menggunakan sumber radiasi ⁹⁰Sr, ⁸⁵Kr dan ¹⁴⁷Pm sedangkan kurva kalibrasi radiasi gamma menggambarkan kurva linier respon TLD

CaSO₄:Dy terhadap radiasi gamma dengan menggunakan sumber radiasi gamma ¹³⁷Cs. Kurva kalibrasi dengan menggunakan sumber radiasi beta terdapat perbedaan gradien kemiringan kurva linier yang terjadi. Perbedaan gradien kemiringan ini berurutan dari yang paling besar adalah ⁹⁰Sr sebesar 1257.5, kemudian ⁸⁵Kr sebesar 515.27 dan yang terkecil adalah ¹⁴⁷Pm yang memiliki gradien paling kecil sebesar 32.361.

Perbedaan besar energi radiasi dari tiap sumber ini menyebabkan perbedaan interaksi radiasi dengan materi. Selain itu, menurut Cember dan Johnson [5] partikel beta adalah partikel radiasi yang dipancarkan secara continue mulai dari energi nol sampai pada energi maksimal. Hal yang perlu diperhatikan adalah sumber radiasi ¹⁴⁷Pm. ¹⁴⁷Pm memiliki energi maksimal 225 keV, namun energi partikel beta rata-ratanya hanya sebesar 62 keV. Padahal Cember dan Johnson [5] mengatakan bahwa partikel beta yang memiliki energi kurang dari 200 keV memiliki daya tembus yang terbatas. Sehingga bisa dikatakan radiasi beta yang dihasilkan ¹⁴⁷Pm memiliki daya tembus yang sangat lemah.

Selain itu, daya tembus di udara partikel beta dengan energi kurang dari 200 keV adalah sangat kecil. Seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Kurva daya tembus partikel beta

Daya tembus yang sangat lemah menjadi salah satu sebab kenapa respon TLD CaSO₄:Dy sangat kecil terhadap radiasi ¹⁴⁷Pm.

Nilai respon dari TLD CaSO₄:Dy juga dipengaruhi nilai dari energi partikel radiasi beta yang dipancarkan. Perbedaan mendasar pada partikel beta dengan energi rendah dan energi tinggi adalah terletak pada kemampuan

menembus masuk ke dalam atom dan menyebabkan radiasi sekunder. Partikel beta dengan energi rendah memiliki kemungkinan masuk ke dalam atom yang kecil sehingga kemampuan menghasilkan radiasi sekunder menjadi kecil. Hal ini yang menyebabkan respon yang didapatkan dengan penyinaran sumber

radiasi beta ^{147}Pm menghasilkan respon yang rendah dikarenakan partikel beta yang dihasilkan ^{147}Pm memiliki energi yang rendah.

Setelah dilakukan penyinaran campuran maka didapatkan hasil evaluasi penyinaran campuran seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Penyinaran Campuran

Sumber Radiasi	Dosis (mSv)		Kurva Kalibrasi				Algoritma BARC	
	Beta	Gamma	Dosis Beta (mSv)	Kesalahan	Dosis Gamma (mSv)	Kesalahan	Dosis Beta (mSv)	Kesalahan
Sr + Cs	6	2	5.5	8%	2.1	3%	0.4	-94%
	2	6	1.6	22%	6.8	13%	0.0	-98%
Kr + Cs	6	2	6.5	8%	1.9	6%	0.3	-95%
	2	6	2.0	1%	6.1	1%	0.0	-99%
Pm + Cs	6	2	3.5	42%	2.1	5%	0.0	-100%
	2	6	5.1	153%	7	17%	0.0	-100%

Evaluasi dosis dengan menggunakan kurva kalibrasi pada tabel 1 menghasilkan persen kesalahan yang kecil untuk sumber radiasi beta dengan menggunakan sumber radiasi ^{90}Sr dan ^{85}Kr . Evaluasi dosis dengan menggunakan kurva kalibrasi pada sumber radiasi beta ^{147}Pm persen kesalahan yang didapatkan adalah 153% untuk

dosis beta 2 mSv dan sebesar -42% untuk dosis beta 6 mSv. Hasil evaluasi dosis yang memiliki persen kesalahan besar hanya pada sumber radiasi beta ^{147}Pm juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh bakshi. Perbandingan kesalahan penelitian dan bakshi pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Persentase kesalahan

Sumber Radiasi	Presentase Dosis		Penelitian		Algoritma Bakshi	
	Beta	Gamma	Kurva Kalibrasi	Algoritma BARC	Lama	Baru
Sr + Cs	7.5 %	2.5 %	8%	-94%	41%	8.2%
	2.5 %	7.5 %	22%	-98%	42%	10.0%
Kr + Cs	7.5 %	2.5 %	8%	-95%	-69%	6.0%
	2.5 %	7.5 %	1%	-99%	---	-7.0%
Pm + Cs	7.5 %	2.5 %	42%	-100%	-95%	-78%
	2.5 %	7.5 %	153%	-100%	---	-66%

Persen kesalahan yang besar ini diakibatkan kecilnya peningkatan respon yang dihasilkan pada TLD setelah disinari dengan menggunakan sumber radiasi beta ^{147}Pm . Evaluasi dosis yang dilakukan pada dosis beta pada TLD dilakukan dengan melihat nilai respon D3-D1 dimana D3 adalah keping TLD pada open window atau tanpa filter dan D1 adalah keping TLD dibawah filter Al-Cu. Ketika disinari dengan menggunakan radiasi beta sumber radiasi ^{147}Pm , energi partikel beta masuk seluruhnya kedalam D3 dikarenakan tidak adanya filter namun sedikit energi partikel beta yang dapat menembus filter Al-Cu pada D1. Hal yang berbeda terjadi pada penyinaran dengan

menggunakan sumber radiasi gamma ^{137}Cs . Ketika disinari menggunakan sumber radiasi ^{137}Cs , sebagian besar foton gamma masuk dan meningkatkan respon menjadi tinggi ketika masuk kedalam D3.

Kurva kalibrasi dari ketiga sumber radiasi beta ^{90}Sr , ^{85}Kr dan ^{147}Pm menunjukkan kurva dari sumber radiasi beta ^{147}Pm memiliki gradien kemiringan paling kecil. Kemiringan gradien paling kecil ini memiliki 2 arti, yaitu perubahan dosis yang diberikan memberikan perubahan respon TLD yang pelan dan sebaliknya, ketika dilakukan perubahan nilai respon yang pelan, akan terjadi perubahan nilai dosis yang cepat.

Perubahan nilai respon yang terjadi dikarenakan adanya dosis gamma yang ditambahkan.

KESIMPULAN

TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ menghasilkan respon yang linier terhadap perubahan dosis beta. Kelinieran yang didapatkan memiliki gradien kemiringan yang terbesar pada sumber radiasi dengan energi paling besar. TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ juga memiliki respon yang linier terhadap perubahan dosis gamma. TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ tidak sesuai digunakan pada sumber radiasi beta dengan energi rendah pada medan radiasi campuran.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bakshi, A. K., S. K dan K. R.K. Development of Algorithm for the Measurement of

Hp(0.07) using $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ Teflon TL Dosemeter System.

- [2] ISO. 2012. Reference Radiation Fields for Radiation Protections. *Definitions and Fundamentals Concept*. Switzerland, International Standart Organization.
- [3] Helmstadter, K. dan P. Ambrosi. 2001. Intercomparison measurements of extremity doseimeters in beta and/or photon radiation fields. *Radiat Prot Dosim*. 96: 183–186.
- [4] Tawil, R. A. 1993. *TLD System For Whole Body Dosimetry: Instrument, Dosimeters, Algorithms*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- [5] Cember, H. dan T. E. Johnson. 2009. *Introduction to Health Physics*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York