

ISBN :978-602-73159-0-7

SEMINAR NASIONAL
KIMIA DAN PENDIDIKAN
KIMIA VII



SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA VII

“Penguatan Profesi Bidang Kimia dan Pendidikan Kimia
Melalui Riset dan Evaluasi”

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan P.MIPA FKIP UNS
Surakarta, 18 April 2015



MAKALAH
PENDAMPING

KIMIA ANALITIK

ISBN :978-602-73159-0-7

**PEMBUATAN *THERMOLUMINESCENCE DOSIMETER*
(TLD)SERBUK MELALUI METODE SINTERING SEBAGAI
PROSES AWAL PRODUKSI DOSIMETER PERSONAL**

**Muhammad BadarSulaeman Aslam^{1,*}, Eri Hiswara², Sutanto¹,
EkaDjatnika Nugraha²**

¹Program Studi Kimia FMIPA UniversitasPakuan, Bogor, Indonesia

²Pusat TeknologiKeselamatandanMetrologiRadiasi – BATAN, Jakarta, Indonesia

tel/fax :081320308260, email: eka.dj.n@batan.go.id

ABSTRAK

Pengembangan dan aplikasi teknologi nuklir semakin berkembang sehingga banyak yang perlu diperhatikan, salah satunya mengenai keselamatan pekerja radiasi akan resiko yang ditimbulkan dari radiasi nuklir yang dipaparkan. Sesuai dengan rekomendasi IAEA yaitu GSR Part 3 Tahun 2014 dan PP No. 33 Tahun 2007 mengenai keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif, oleh karena itu perlu adanya alat ukur radiasi untuk monitoring personal seperti *Thermoluminescence Detector* (TLD). TLD CaSO₄:Dy merupakan dosimeter personal yang banyak digunakan saat ini di Indonesia, akan tetapi TLD tersebut masih impor dari luar negeri, untuk itu perlu adanya studi pendahuluan untuk pembuatan TLD CaSO₄:Dy sebagai tahap awal produksi dosimeter personal dalam negeri. Penelitian ini bertujuan untuk pembuatan TLD serbuk yang memiliki respon baik terhadap radiai. TLD CaSO₄:Dy serbuk dibuat melalui proses kristalisasi menggunakan prinsip sintering dengan menggunakan bahan dasar CaSO₄.2H₂O yang ditambahkan Dy₂O₃ dengan jumlah yang berbeda. Campuran keduanya diaduk hingga merata dan dipanaskan pada temperatur 900°C dengan *holding time* selama 3 jam. TLD serbuk CaSO₄:Dy yang dihasilkan kemudian diaktivasi pada temperatur 700°C agar siap untuk digunakan. Selanjutnya dilakukan analisis uji morfologi dan komposisi bahan dengan menggunakan XRD dan XRF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TLD serbuk CaSO₄:Dy yang telah dibuat melalui metode sintering mempunyai respon yang baik terhadap radiasi dengan konsentrasi dopan disprosium 0,4 % dan temperatur optimum antara 800-900 °C dengan faktor kalibrasi sebesar 0,0863 mGy/nC.

Kata kunci: TLD, CaSO₄:Dy, Sintering, Dosis



PENGUATAN PROFESI BIDANG
KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA
MELALUI RISET DAN EVALUASI

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, pengembangan dan aplikasi teknologi nuklir semakin berkembang sehingga banyak yang perlu diperhatikan, salah satunya mengenai keselamatan pekerja radiasi akan resiko yang ditimbulkan dari radiasi nuklir yang dipaparkan. Kebutuhan akan suatu alat pemantau dosis radiasi secara personal semakin meningkat melihat jumlah pekerja radiasi yang semakin bertambah banyak. Ini dikarenakan, pada aplikasi nuklir pekerjaannya sangat diwajibkan memakai alat dosimeter untuk melihat banyaknya jumlah paparan radiasi pengion yang diterima agar tidak melampaui batas dosis yang ditetapkan. Hingga saat ini, Indonesia belum mengembangkan pembuatan dosimeter personal dan masih menggunakan alat dosimeter yang di impor dari beberapa negara, seperti India dan Amerika Serikat.

Sesuai dengan rekomendasi IAEA yaitu GSR Part 3 Tahun 2014 dan PP No. 33 Tahun 2007 mengenai keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif, oleh karena itu perlu adanya alat ukur radiasi untuk monitoring personal seperti *Thermoluminescence Detector* (TLD). TLD merupakan jenis dosimeter personal yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi gamma, sinar-X, dan beta, serta neutron. TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ merupakan dosimeter personal yang banyak digunakan saat ini di Indonesia, akan tetapi TLD tersebut masih impor dari luar negeri, untuk itu perlu adanya studi pendahuluan untuk pembuatan TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ sebagai tahap awal produksi dosimeter personal dalam negeri. Penelitian ini bertujuan untuk pembuatan TLD serbuk yang memiliki respon baik terhadap radiasi.

2. Teori

Thermoluminescence Detector (TLD) merupakan jenis dosimeter personal yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi gamma, sinar-X, dan beta, serta neutron. TLD ini menggunakan kristal anorganik termoluminensi, seperti bahan LiF dan CaSO_4 . Dosimeter ini digunakan dalam jangka waktu tertentu, misalnya satu bulan, yang kemudian diproses untuk mengetahui jumlah dosis radiasi yang sudah diterimanya. Pemrosesan dilakukan dengan memanaskan kristal TLD sampai temperatur tertentu, kemudian mendeteksi percikan-percikan cahaya yang dipancarkan. Keunggulan TLD adalah terletak pada ketelitiannya. Selain itu, ukuran kristal TLD relatif lebih kecil dan setelah diproses kristal TLD tersebut dapat digunakan kembali. TLD terbuat dari bahan yang mampu menyimpan energi radiasi pengion yang diterimanya. Secara komersial, TLD tersedia dalam bermacam tipe bahan. Tipe bahan TLD diantaranya $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, LiF, CaSO_4 , CaF_2 dengan berbagai tipe pengotornya.

Luminesensi merupakan fenomena fisika berupa pancaran cahaya dari suatu bahan yang sebelumnya menyerap radiasi pengion. Peristiwa ini terjadi karena adanya elektron-elektron yang menyerap energi radiasi dan berpindah ke orbit yang lebih tinggi, sehingga bahan berada dalam keadaan tereksitasi [1]. Elektron yang tereksitasi akhirnya terikat dalam suatu perangkap muatan yang terbentuk di dalam bahan. Apabila elektron mendapatkan energi yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan perangkap, elektron tersebut akan kembali ke orbit semula disertai dengan pancaran cahaya luminesensi. Ada kalanya proses luminesensi baru terjadi jika suatu bahan mendapatkan pemanasan dari

luar. Peristiwa luminesensi dengan bantuan panas dari luar ini disebut thermoluminesensi [5]. Terdapat dua peristiwa luminesensi, yaitu *fluoresensi* dan *fosforesensi*. *Fluoresensi* adalah pancaran sinar secara spontan, dimana pancarannya akan berakhir jika proses eksitasi yang terjadi pada bahan juga berakhir. Sedang pada peristiwa *fosforesensi*, pancaran cahayanya berakhir beberapa saat setelah proses eksitasi pada bahan berakhir. Bahan yang mampu memperlihatkan gejala ini disebut *fosfor*. Pada termoluminesensi, intensitas luminesensi sebanding dengan energi radiasi pengion yang diserap bahan fosfor sebelumnya.

Proses pemantauan dosis dengan TLD dilakukan dengan cara membaca jumlah energi radiasi yang tersimpan di dalam dosimeter tersebut. Energi radiasi yang diserap fosfor dapat dikeluarkan dalam bentuk cahaya tampak dengan intensitas sebanding dengan jumlah energi yang diterima fosfor sebelumnya. Karena keluarnya cahaya tampak tersebut sebagai akibat pemanasan fosfor dari luar, maka sistem instrumen pembaca TLD dirancang agar mampu memberikan pemanasan pada fosfor dan mendeteksi cahaya tampak yang dipancarkan.

Dy sangat berperan dalam menciptakan perangkap. Menurut J.I Lee unsur-unsur lantanida atau tanah jarang dapat meningkatkan sifat *optic electric material*, jadi sangat cocok sebagai dopan untuk tujuan material optoelektrik. Dalam literatur sebelumnya juga dinyatakan bahwa dopan Dy berfungsi sebagai *sensitizer* yang dapat meningkatkan kepekaan [3]. Alasan lainnya adalah karena Dy merupakan unsur golongan lantanida

yang memiliki eksitasi 4f, cenderung menghasilkan pusat f dan pusat H, dimana pusat tersebut juga merupakan perangkap elektron [4].

Untuk mendapatkan hasil TL bersih dilakukan pembacaan sebanyak dua kali, bacaan pertama merupakan bacaan intensitas total sedangkan bacaan kedua merupakan bacaan intensitas latar.

$$TL_{bersih} = TL_{total} - TL_{latar}$$

Sedangkan dosis radiasi dari beberapa kali penyinaran distrik yang diterima TLD selama proses pemantauan. Secara matematik dosis radiasi dirumuskan:

$$D = TL_{bersih} \cdot FK$$

Dengan :

- D = Dosis radiasi (mGy)
- TL_{bersih} = Intensitas (nC)
- FK = Faktor Kalibrasi (mGy/nC)

Sintering pada dasarnya adalah untuk menghilangkan pori-pori yang ada diantara partikel-partikel awal. Sehingga bergabung dan tumbuh bersama dan timbul ikatan yang kuat diantara partikel-partikel yang berdekatan [2]. Sintering secara esensial dikatakan sebagai suatu pergerakan pori dan atau partikel yang disertai dengan tumbuhnya butiran partikel dan bertambahnya kekuatan partikel yang berdekatan. Sintering diawali dengan prasintering dimana dilakukan dengan suhu pemanasan 1/3 dari titik leleh, sedangkan untuk proses sintering dipanaskan pada 2/3 titik leleh untuk meningkatkan ikatan antar partikel. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat.

3. Tata Kerja

3.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam proses penelitian adalah krusibel, spatula, neraca analitik, grinder, sumber radiasi ^{90}Sr , *furnace muffle* (alat sintering), saringan 150 *mesh*, TLD reader buatan Harsaw model 3500 yang berada di Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR-BATAN). Untuk analisis morfologi bahan digunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) serta *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang berada di Pusat Pengembangan Galian Nuklir (PPGN-BATAN). Semua alat yang digunakan dalam kondisi terkalibrasi dan terjaga dengan baik.

Bahan-bahan yang digunakan antara lain, kalsium sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dopan disprosium (III) oksida (Dy_2O_3) dan H_2SO_4 pekat.

3.2 Pembuatan TLD Serbuk

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan TLD serbuk yang diperoleh dengan cara kristalisasi menggunakan metode sintering. Dicampurkan 10 gram dari bahan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan berbagai variasi konsentrasi dopan disprosium (III) oksida (Dy_2O_3). Ditambahkan sedikit asam sulfat (H_2SO_4) pekat kemudian diaduk hingga merata. Dilakukan kristalisasi dengan menggunakan alat sintering yaitu *furnace muffle* pada temperatur 100°C dengan *holding time* selama 1 jam, dilanjutkan pada temperatur 900°C dengan *holding time* selama 3 jam hingga kristal $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ terbentuk. Panaskan kristal yang terbentuk pada temperatur 700°C selama 1 jam. Proses ini dilakukan dengan beberapa variasi konsentrasi dari dopan disprosium (III) oksida yaitu 0,3%; 0,4% dan 0,5% dari

banyaknya bahan kalsium sulfat dihidrat. Setelah didapatkan perbandingannya, dilakukan proses pengecilan ukuran dari partikel kalsium sulfat dan disprosium dengan menggunakan *grinder impactor* hingga ukuran partikel menjadi 150 *mesh*.

3.3 Analisis Morfologi dan Komposisi Bahan

Setelah proses pembuatan serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, diambil sebanyak 2 gram sampai 5 gram dari konsentrasi yang optimum untuk dilakukan analisis morfologi bahan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) serta *X-Ray Fluorescence* (XRF).

3.4 Kalibrasi dan Uji Respon

TLD yang telah dibuat terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dan uji respon terhadap radiasi dengan cara dilakukan penyinaran dari sumber radiasi ^{90}Sr sehingga didapatkan keseragaman respon. Setelah dilakukan kalibrasi, kemudian TLD tersebut dipanaskan pada suhu 400°C selama satu jam. Setelah itu, TLD tersebut disinari kembali dengan berbagai variasi dosis antara lain 1,5 mGy; 7,5 mGy; 15 mGy; 30 mGy; 60 mGy; dan 90 mGy untuk pengujian respon radiasi. Setelah tahapan analisis respon TLD dilakukan, maka dibuatkan grafik kalibrasinya.

4. Hasil dan Pembahasan

Diperoleh dosimeter $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dalam bentuk serbuk. Secara kasat mata terlihat bentuk dan warna dari ketiga jenis sampel yang dilakukan memiliki kesamaan yaitu berbentuk padat dan berwarna putih serta mempunyai bobot sebesar 8 gram. Padatan yang terbentuk dipengaruhi oleh proses pembakaran dan

adanya pertumbuhan butir selama proses sintering berjalan, sehingga dengan adanya bantuan panas akan menyebabkan ukuran butir yang semakin kecil maka akan semakin mudah butir tersebut untuk bergabung dengan butir yang lain. Pemberian tekanan pada proses sintering menyebabkan partikel kalsium sulfat dengan disprosium bergerak mengisi ruang kosong didalam campuran sehingga akan menghasilkan luas bidang kontak antara butir bertambah besar dan ikatan antar butir akan semakin bertambah kuat.

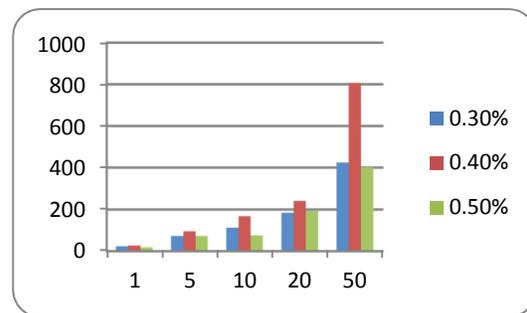
Untuk menentukan konsentrasi yang paling optimum, dilakukan uji keseragaman respon sehingga akan diketahui konsentrasi yang mempunyai sensitivitas yang baik terhadap radiasi. Uji respon dilakukan dengan menggunakan sumber radiasi β yaitu ^{90}Sr . Keseragaman respon yang diberikan untuk masing-masing konsentrasi antara lain 1 putaran, 5 putaran, 10 putaran, 20 putaran dan 50 putaran. Lampiran 1. menunjukkan hasil uji respon terhadap sumber radiasi $\beta^{90}\text{Sr}$.

Tabel 1. Hasil uji respon terhadap sumber radiasi.

K	Putaran	Bacaan ke-1 (nC)	Bacaan Ke-2 (nC)	$T_{L_{\text{Bersih}}}$ (nC)
0,3%	1	43,61	20,00	23,61
	5	117,20	43,52	73,68
	10	146,70	33,96	112,74
	20	214,70	30,37	184,33
	50	464,30	39,10	425,20
0,4%	1	60,82	33,18	27,64
	5	131,10	35,86	95,24
	10	224,50	57,28	167,22
	20	350,30	109,60	240,70
	50	897,90	94,83	807,3
0,5%	1	52,60	33,70	18,90
	5	106,10	33,51	72,49
	10	167,70	91,84	75,86

	20	231,60	38,91	192,69
	50	438,20	35,74	402,46

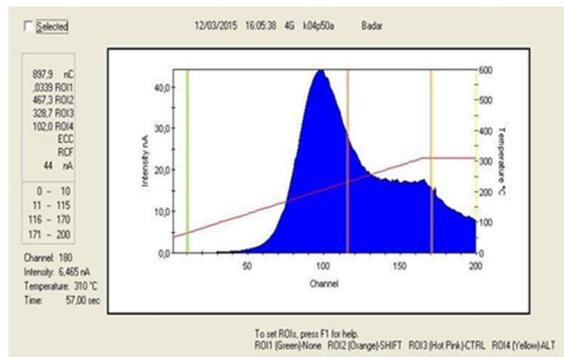
Pada Gambar 1. menunjukkan bahwa TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dengan konsentrasi dopan 0,4 % memiliki sensitivitas terhadap radiasi yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi 0,4 % memiliki nilai bacaan (nC) yang lebih tinggi dan mengalami intensitas luminesens maksimum dan dopan disprosium menyisip dengan sempurna diantara kisi CaSO_4 , sedang pada konsentrasi 0,3 % dan 0,5 % perangkat yang terbentuk berlebihan sehingga menimbulkan kendala menghambat elektron yang akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi, akibatnya perangkat yang tersedia tidak optimal dalam menangkap elektron, sehingga banyak perangkat yang kosong. Untuk mendapatkan hasil $T_{L_{\text{Bersih}}}$ dilakukan pembacaan sebanyak dua kali, bacaan pertama merupakan bacaan intensitas latar total sedangkan bacaan kedua merupakan bacaan intensitas latar.



Gambar 1. Grafik uji keseragaman respon.

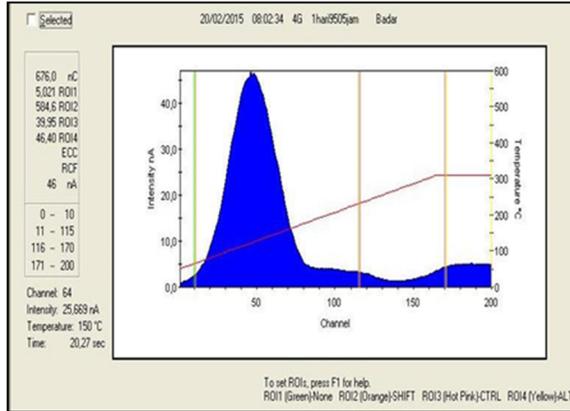
Gambar 2. menunjukkan kurva pancar TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ konsentrasi Dy 0,4 %. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang baik yakni puncak dosimetrik diperoleh pada temperatur 190 °C. TLD dikatakan baik apabila menghasilkan puncak

dosimetrik diantara suhu 170-190 °C untuk menghindari proses pemudaran (*fading*) pada suhu ruangan. Hal ini berarti TLD yang dibuat mempunyai daya serap energi radiasi yang paling tinggi karena jumlah perangkap optimum sehingga luminesens yang dipancarkan maksimum. Energi panas yang diperlukan untuk mengeluarkan elektron dari *dosimetric trap* biasanya sekitar 50-260 °C. Apabila puncak kurva terjadi pada temperatur di atas 190 °C maka akan mengakibatkan ada bagian energi yang tersimpan dalam TLD tidak dapat dilepaskan seluruhnya. Fenomena tersebut terjadi karena proses aktivasi dan proses penyisipan disprosium dalam kisi CaSO₄ yang kurang optimal dimana pembentukan *dosimetric trap* menjadi tidak teratur sehingga elektron akan mengisi *dosimetric trap* yang paling dalam. Dikarenakan *dosimetric trap* yang terisi pada bagian dalam, sehingga diperlukan energi yang lebih besar untuk mengeluarkan elektron tersebut. Energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan secara sempurna elektron tersebut yaitu dengan temperatur diatas 300 °C. Temperatur 190 °C sendiri didapatkan dari pembacaan pada kurva pancar dengan cara menarik garis lurus antara puncak dosimetrik dengan *channel* yang dipotong pada garis tengah sehingga menunjukkan temperatur tersebut.



Gambar 2. Kurva pancar TLD serbuk CaSO₄:Dy yang dibuat.

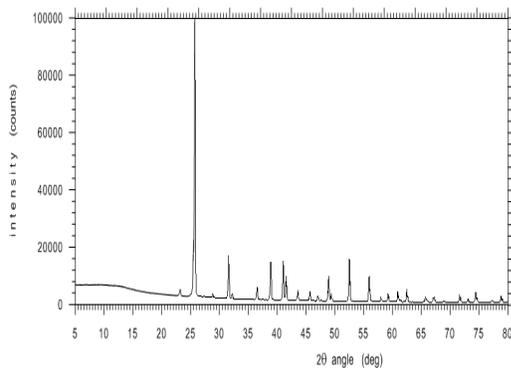
Berbeda dengan percobaan sebelumnya, pada penelitian yang dilakukan hanya dengan mencampurkan kedua bahan dasar tanpa penambahan H₂SO₄ pekat didapatkan perbedaan yang sangat signifikan dibandingkan dengan percobaan yang menggunakan penambahan H₂SO₄ pekat. Walaupun mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap radiasi, tetapi didapatkan puncak kurva yang tidak bagus, karena didapatkan titik puncak terjadi pada temperatur sekitar 100 °C (Gambar 3), seharusnya titik puncak ini berada pada kisaran temperatur 170 °C sampai 190 °C agar elektron dalam keadaan stabil dan akan bertahan dalam jangka waktu tertentu. Hal ini akan mengakibatkan elektron-elektron yang terdapat pada *dosimetric trap* paling atas ini akan dengan mudah keluar dari *trap* hanya dengan suhu ruang. Ini disebabkan proses penyisipan disprosium ke dalam kisi CaSO₄ yang kurang optimal dimana pembentukan *dosimetric trap* menjadi tidak teratur dan elektron hanya mengisi *dosimetric trap* paling atas.



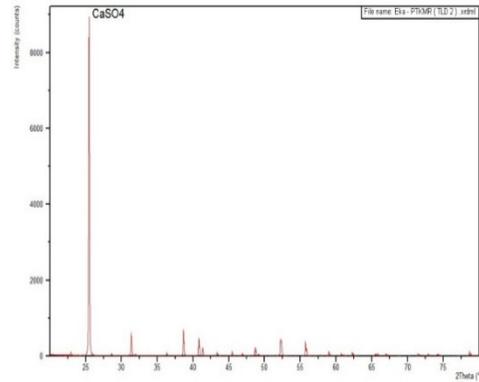
Gambar 3.Kurva pancar TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ tanpa penambahan H_2SO_4 p.

Penambahan H_2SO_4 pekat pada proses ini dapat memecah ikatan ionik pada molekul CaSO_4 menjadi ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-} , sehingga akan membantu ion Dy^{3+} dengan mudah menyisip diantara ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-} tersebut.

Uji dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) bertujuan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi, mengetahui struktur kristal yang terbentuk dan mendapatkan ukuran partikel. Pada uji menggunakan XRD didapatkan hasil yang baik karena terlihat dari intensitas, kristal CaSO_4 yang dibuat memiliki kandungan kalsium yang sangat tinggi dan sedikit terdapat pengotor lain yakni terdapat pada kisaran 100000 (Gambar 4) sedangkan TLD referensi didapatkan pada kisaran 8500 (Gambar5).



Gambar 4.Hasil uji XRD dari TLD yang dibuat.



Gambar 5.Hasil uji XRD dari TLD Referensi.

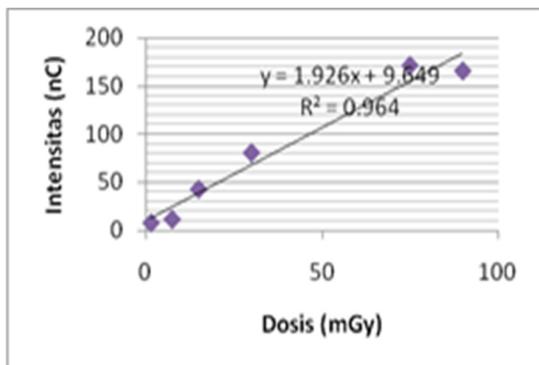
Uji dengan menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) bertujuan untuk melihat unsur-unsur yang terkandung dalam TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$. Uji dengan menggunakan XRF ini dapat memperlihatkan hasil karakterisasi hasil karakterisasi XRF secara kuantitatif, pada Lampiran 7.menunjukkan bahwa TLD serbuk yang dibuat mempunyai komposisi unsur kalsium yang lebih besar yakni sebesar 32,09 %. Ketidakmurnian bahan menyebabkan adanya pengotor lain yang meliputi unsur Na, Mg, Al, Si, P, K, Ti dan Fe. Hal ini dijelaskan dari nilai konsentrasi % yang diperoleh menunjukkan nilai tertinggi dari unsur lainnya.

Tabel 2..Hasil uji XRF sampel TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$.

No. Atom	Unsur	Konsentrasi (%)
11	Na	6,69
12	Mg	0,161
13	Al	0,557

14	Si	0,1722
15	P	0,1994
19	K	0,0113
20	Ca	32,09
22	Ti	0,00531
26	Fe	0,0823

Setelah diketahui bahwa TLD yang paling sensitif adalah TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dengan konsentrasi 0,4 % maka untuk melengkapi sifat dosimetrik TLD buatan tersebut di uji linieritasnya. (Lampiran 8) adalah hubungan antara intensitas (nC) terhadap dosis yang diberikan (mGy). Didapatkan hasil bahwa TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ mempunyai faktor kalibrasi sebesar 0,0863 dan memiliki nilai $R^2 = 0,9642$ yang berarti bahwa TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ yang dibuat memiliki linieritas yang baik terhadap beberapa dosis yang diberikan sehingga layak sebagai alat ukur radiasi dari aspek respon terhadap radiasi.



Gambar 6. Grafik kalibrasi TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$

5. Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ yang telah dibuat melalui metode sintering mempunyai respon yang baik terhadap radiasi dengan konsentrasi dopan

disprosium 0,4 % dan temperatur optimum antara 800-900 °C dengan faktor kalibrasi sebesar 0,0863 mGy/nC.

Untuk meningkatkan kualitas dari TLD CaSO_4 ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan TLD tersebut antara lain:

- Temperatur pemanasan pada saat proses sintering berlangsung harus dijaga konstan sehingga pembentukan kristal menjadi sempurna.
- Perlu dilakukan proses rekristalisasi pada TLD serbuk $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ sehingga akan didapatkan kristal yang lebih sempurna dan bebas dari pengotor.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut yang meliputi proses pemudaran dosis (*fading*), pengaruh waktu sinter dan temperatur terhadap pembentukan kristal dari $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, juga perlu adanya pembuatan TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ berupa chip sehingga dapat digunakan dalam bidang proteksi radiasi sebagai dosimeter personal.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

7. Daftar Pustaka

- David, W. R., 1982. *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use In Design*, Garret Turbine Engine. Co. Phoenix, Arizona.
- Delgado, A., 1995. Basic Concepts of Thermoluminescence, Personal Thermoluminescence Dosimetry (Ed. :

- M. Oberhofer). *Report EUR 16 277 EN*,
Luxemburg, pp. 47-69.
3. J. I. Lee, 1984. High Sensitivity LiF
Thermoluminescent Dosimeter
LiF(Mg,Cu,P). *Health Physics*, 46, 1063-
1067.
 4. Krebs, R. E., 1922. *The History and Use
of Our Earth's Chemical Elements: A
Reference Guide, Second Edition*.
Greenwood Press: London.
 5. Scharmann, A., 1995.
Thermoluminescence Dosimetry –
Historical Review, Status Quo and
Respective, Personal
Thermoluminescence Dosimetry. (Ed.:
M. Oberhofer), *Report EUR 16 277 EN*,
Luxemburg pp. 1-19

TANYA JAWAB

PENANYA : Eka Djatnika Nugraha

Pertanyaan :

- a. Mengapa TLD yang telah ditambahkan
 H_2SO_4 terlihat berhasil daripada TLD
yang hanya dipanaskan?

Jawaban :

- a) Karena dengan adanya penambahan
 H_2SO_4 dapat memecah ikatan ionik
pada $CaSO_4$ menjadi ion Ca^{2+} dan SO_4^{2-}
sehingga Dy^{3+} dapat dengan mudah
menyisip pada $CaSO_4$.