



SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA V
"Kontribusi Kimia dan Pendidikan Kimia dalam
Pembangunan Bangsa yang Berkarakter"
Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS
Surakarta, 6 April 2013



**MAKALAH
PENDAMPING**

**PENDIDIKAN KIMIA
(Kode : E-03)**

ISBN : 979363167-8

PERANAN ILMU KIMIA PADA BIDANG PROTEKSI RADIASI

Eka Djatnika Nugraha^{1*}, Dewi Kartikasari², Mukhlis Akhadi³, Dyah Dwi Kusumawati⁴

¹*Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Jakarta, Indonesia*

^{2,3,4}*Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Jakarta, Indonesia*

*Keperluan korespondensi, Telepon :081320308260/021-7513906 EXT 317 / Email:
eka.dj.n@batan.go.id, eka.apih@gmail.com

ABSTRAK

Proteksi radiasi mutlak diperlukan pada pemanfaatan teknologi nuklir yang semakin luas dalam kehidupan modern sekarang ini, seperti pada bidang kedokteran, farmasi, industri pangan, industri pengolahan dan berbagai industri lainnya, Prinsip dari proteksi radiasi (ALARA) harus terpenuhi sehingga para pekerja radiasi dapat bekerja dengan aman. Pada bidang proteksi radiasi banyak prinsip kimia dan bahan kimia yang biasa digunakan antara lain adalah dosimeter kimia (larutan frike, ferro-cupri sulfat, ceri-cero sulfat) dan dosimeter termoluminesensi (CaSO₄:Dy, LiF). Dalam makalah ini dibahas peranan ilmu kimia pada bidang proteksi sebagai detektor radiasi standar dan sebagai dosimeter pemantauan dosis perorangan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pada dosimeter kimia (frike, Ferro-cupri sulfat, ceri-cero sulfat) fenomena reaksi redoks dari larutan yang telah diradiasi dapat dikonversi menjadi dosis dan pada pembuatan dosimeter termoluminesensi (CaSO₄:Dy, LiF) proses kimia menjadi hal yang sangat penting, karena proses sintering, doping, coating dan kesempurnaan proses kristalisasi merupakan hal yang menentukan baik tidaknya TLD dalam merespon radiasi.

Kata kunci : dosimeter kimia, sintering, ALARA

PENDAHULUAN

Penggunaan radiasi telah berkembang dalam beberapa puluh tahun terakhir, hal ini ditandai dengan banyak penggunaan teknologi nuklir di bidang medik untuk radiologi dan radioterapi, bidang industri untuk sterilisasi, pengawetan bahan pangan serta aplikasi lainnya [1]. Dalam pemanfaatan radiasi ini dilakukan secara terkendali sehingga para pekerja dan konsumen yang memakai produk hasil

radiasi dapat merasa aman. Proteksi radiasi mutlak diperlukan pada pemanfaatan teknologi nuklir sehingga prinsip dari proteksi radiasi yaitu *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA) dapat terpenuhi [9].

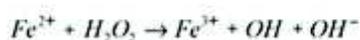
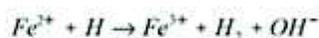
Bidang Proteksi radiasi berkaitan dengan proteksi yang perlu diberikan kepada seseorang atau sekelompok orang terhadap kemungkinan diperolehnya akibat negatif dari radiasi pengion.

Peranan ilmu kimia dalam bidang proteksi radiasi sangat besar karena bahan kimia seperti larutan frike, ferro-cupri sulfat dan cerri-cerro sulfat banyak digunakan sebagai dosimeter standar. Ketiga dosimeter ini bekerja berdasarkan proses kimia, yaitu fenomena oksidasi-reduksi. Oleh sebab itu dikenal sebagai dosimeter kimia. Sedangkan bahan $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dan LiF biasanya digunakan sebagai dosimeter pemantauan dosis perorangan,

DOSIMETER KIMIA

a. Larutan Frike

Larutan frike merupakan salah satu jenis pengukur dosis serap yang dipakai sebagai dosimeter standar karena absorbsinya yang tinggi dan mempunyai hubungan yang linier terhadap dosis serap. Dosimeter frike dibuat dengan cara melarutkan $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ferro ammonium sulfat) dan NaCl (natrium klorida) dalam H_2SO_4 (asam sulfat). Larutan diencerkan hingga menjadi satu liter dengan H_2SO_4 pada suhu 25°C . Larutan asam sulfat 0,8 N dibuat dengan cara melarutkan 22,5 mL asam sulfat pekat dalam air destilat sehingga membentuk satu liter larutan. [1]



Gambar 1. Prinsip reaksi redoks dari larutan frike

Reagen yang digunakan untuk pembuatan larutan pemantau frike harus merupakan reagen murni. Air destilat yang

digunakan harus bebas dari pengotor-pengotor organik, dan kontaminan tembaga. Terjadinya kontak antara larutan pemantau frike dengan bahan-bahan organik maupun logam dapat menyebabkan timbulnya gangguan terhadap hasil bacaan perubahan rapat optis pada pemantau, meskipun kandungan pengotor tersebut dalam jumlah yang sangat kecil. Oleh sebab itu, selama proses irradiasi harus digunakan wadah atau tempat dari bahan gelas borosilikat yang secara kimia tahan terhadap larutan asam pekat. Wadah dari bahan polietilin juga dapat digunakan tetapi harus bersih. Proses irradiasi dapat menghasilkan oksidasi ion Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} . Oksidasi ini akan menyebabkan terjadinya perubahan rapat optik pada larutan dosimeter sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran radiasi. Jumlah ion ferri yang terbentuk sebanding dengan besar perubahan rapat optik dan dapat diukur secara teliti dengan metode spektrofotometri. Pengukuran dilakukan dengan peralatan spektrofotometer varian uv-visible yang dilengkapi dengan pengatur suhu pada panjang gelombang serapan maksimal ion ferri pada 305 nanometer ($\lambda = 305$ nanometer, nm)[1].

b. Dosimeter ferro-cupri sulfat

Dosimeter ferro-cupri sulfat dibuat dengan cara melarutkan $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ferro ammonium sulfat) dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (cupri sulfat) dalam H_2SO_4 . Larutan selanjutnya diencerkan hingga volumenya menjadi satu liter dengan menambahkan aqua tridest. Proses kerja pemantau ferro-cupri sulfat jugadidasarkan pada prinsip oksidasi ion ferro menjadi ferri

karena radiasi pengion. Pemantau ini serupa dengan pemantau frike, namun kepekaannya berkurang dengan penambahan cupri sulfat pada larutan, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran radiasi dengan dosis yang lebih tinggi. Jangkauan kemampuan pengukurannya dapat mencapai 20 kali lebih tinggi dibandingkan dengan kemampuan dosimeter frike. Perubahan rapat optis pada larutan $\text{FeSO}_4 + \text{CuSO}_4$ karena oksidasi oleh radiasi pengion diukur menggunakan spektrofotometer yang dilengkapi pengatur suhu. Pengukuran kadar ion ferri melalui spektrofotometri ini dilakukan pada panjang gelombang 305 nm. Seperti halnya pemantau frike, tanggapan yang dihasilkan oleh pemantau ferro-cupri sulfat ini juga linier terhadap dosis radiasi yang diterima. Oleh sebab itu, perhitungan dosis radiasi dapat dilakukan menggunakan faktor konversi yang menunjukkan hubungan antara dosis radiasi dan tanggapan [1].

c. Dosimeter jenis Ceri-cero

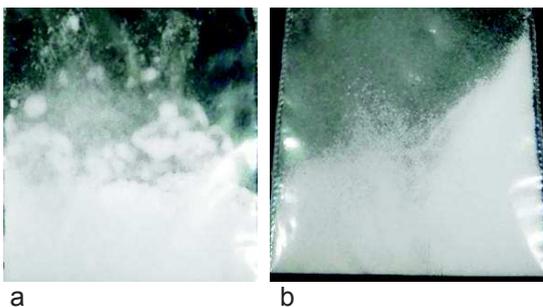
Dosimeter jenis ceri-cero juga dapat dipakai sebagai dosimeter standar dalam dosimetri gamma dosis tinggi. Dosimeter cericero sulfat merupakan sistem pemantau radiasi dosis tinggi yang sudah sejak lama dikenal, namun sistem ini memiliki beberapa kelemahan, seperti harus digunakan bahan-bahan kimiadengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi serta semua peralatan yang dipergunakan harus benar-benar bersih untuk mendapatkan sistem pemantau yang baik. Dosimeter ceri-cero sulfat untuk mengukur dosis tinggi dengan jangkauan 10–1000 kGy sudah umum digunakan dalam proses radiasi. Larutan ceri sulfat

dibuat dengan menggunakan reagen $\text{Ce}(\text{SO}_4) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$, H_2SO_4 dan H_2O_2 30% yang dilarutkan dalam pelarut aqua trides. Dosimeter ceri-cero telah ditetapkan oleh ICRU sebagai dosimeter acuan karena cukup stabil sebelum dan sesudah irradiasi serta memiliki ketelitian yang sangat baik ($\pm 1\%$). Apabila larutan ceri-cero sulfat disinari dengan gamma dosis tinggi, maka akan terjadi proses reduksi ion ceri (Ce^{4+}) menjadi ion cero (Ce^{3+}). Karena itu, sistem pemantau ini dikenal dengan nama ceri-cero sulfat. Semakin besar dosis radiasi, semakin banyak pula ion ceri yang tereduksi menjadi cero. Oleh sebab itu akan terdapat perbedaan jumlah ion cero pada larutan yang diirradiasi dengan larutan yang tidak diirradiasi. Perubahan kerapatan optik pada dosimeter ceri-cero yang telah diirradiasi diukur menggunakan spektrofotometer uv-visible pada panjang gelombang 320 nm. Pengukuran kadar ion cero dapat pula dilakukan melalui pengukuran beda potensial elektrokimia antara larutan pemantau yang disinari dan tidak disinari radiasi. Jumlah ion cero yang terbentuk cukup linier dengan dosis radiasi yang diterima dosimeter [1].

DOSIMETER TERMOLUMINISENSE

Dosimeter Termoluminisense $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dan LiF digunakan sebagai dosimeter perorangan. Bahan kimia tersebut dapat menyimpan/merekam dosis radiasi yang diberikan padanya [2]. Kemudian, TLD akan memancarkan cahaya (foton) jika dipanaskan pada suhu tertentu. Prinsip kerjanya seperti efek fotolistrik, ketika TLD mendapatkan dosis radiasi dengan energi tertentu, maka elektron-elektron akan dalam kristal LiF atau $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ akan naik ke level

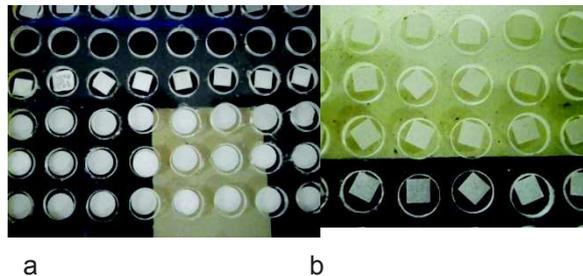
energi yang lebih tinggi [3]. Kebanyakan elektron tersebut akan kembali ke level energi awalnya (keadaan dasar), namun ada beberapa elektron yang terjebak dalam impuritas. Apabila TLD dipanaskan, maka elektron yang terjebak tersebut akan terangkat ke level energi yang lebih tinggi yang dari sana elektron-elektron tersebut akan kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan cahaya (foton)[4]. Banyaknya cahaya (foton) yang dipancarkan akan proporsional dengan energi yang terserap dari pemberian dosis radiasi. Selanjutnya, banyaknya cahaya (foton) tersebut akan dibaca oleh *TLD reader* [5].



Gambar 2. Gambar serbuk Kristal CaSO_4 a. serbuk Kristal CaSO_4 tidak sempurna ; b. serbuk Kristal CaSO_4 sempurna

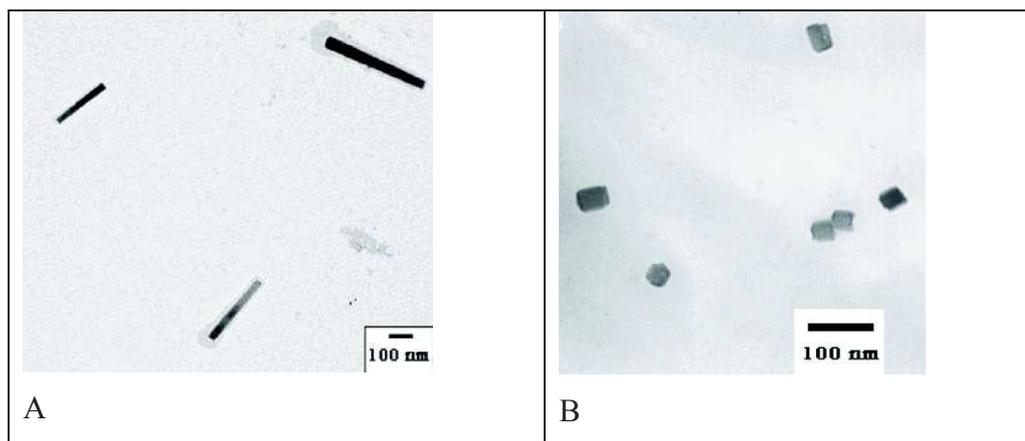
Pada pembuatan TLD($\text{CaSO}_4:\text{Dy}$, LiF) proses kimia menjadi hal yang sangat penting, karena proses *sintering*, *dopping*, *coating* dan kesempurnaan proses kristalisasi. Proses *sintering* dimulai pada pemanasan Kristal $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ yang

dicampurkan dengan Disposium Oksida (Dy_2O_3) sebagai *doppper*. [6][7]



Gambar 3. Perbandingan TLD $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ terbuat dari serbuk kristal sempurna dan tidak sempurna a. TLD terbuat dari serbuk Kristal tidak sempurna ; b terbuat dari serbuk kristal sempurna

TLD terbentuk dari kristal yang murni, sehingga proses kristalisasi menjadi sangat penting agar bahan tersebut dapat menyimpan energi [8]. Kesempurnaan proses sintering akan berpengaruh terhadap respon TLD terhadap radiasi sehingga jika proses sintering dan *dopping* tidak berjalan dengan baik maka respon TLD akan menurun dantidak dapat digunakan sebagai TLD. Selain itu, kesempurnaan kristal juga berpengaruh terhadap kekompakan dari TLD. Apabilapembentukan kristal TLD tersebut tidak sempurna maka TLD akan rapuh, walaupun sudah dilapisi dengan bahan perekat seperti Teflon atau PTFE. Gambar kesempurnaan kristal TLD terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 4.



Gambar 4. Gambar struktur Kristal TLD dengan menggunakan XRD pada perbesaran 100 nm
a. Gambar Struktur Kristal LiF ; b. Gambar struktur Kristal $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ [3]

KESIMPULAN

Peranan ilmu kimia pada bidang proteksi radiasi dalam sangat besar. Hal ini ditunjukkan dengan digunakannya prinsip-prinsip kimia pada dosimeter kimia sebagai dosimeter standard yaitu prinsip reaksi reduksi oksidasi pada larutan frike dan larutan ferro-cupri sulfat terjadi reaksi oksidasi dari Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} sedangkan pada larutan ceri cero sulfat terjadi proses reduksi ion ceri (Ce^{4+}) menjadi ion cero (Ce^{3+}). dan pada pembuatan dosimeter termoluminesensi ($\text{CaSO}_4:\text{Dy}, \text{LiF}$) atau TLD proses kimia menjadi hal yang sangat penting, karena proses sintering, dopping, coating dan kesempurnaan proses kristalisasi merupakan hal yang menentukan bagus tidaknya TLD dalam merespon radiasi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Thamrin, M.T., Akhadi, M. dan Kusumawati, D.D., 2004, Pengukuran Dosis Serap dengan Dosimeter Kimia, Buletin ALARA, Vol. 5 No. 2&3
- [2] Adtani, M.M., et.al., 1981. Reliability of TLD System for routine personel monitoring. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 2(1) Nuclear Technology publishing pp.43-46
- [3] Delgado, A. 1995. Basic concepts of thermoluminescence, personal thermoluminescence dosimetry (ed:m.oberhofer).report EUR 16 277 EN, Luxembourg (1995) pp. 47-69
- [4] Carillo, R.E. et.al., 1987. Lithium Fluoride response to mixed thermal neutron and gamma field, Radiation protection dosimetry, nuclear technology publishing vol 19(1)
- [5] Furetta. C. TL Material and their properties, 1995. Personal Thermoluminescence dosimetry (ed: m Oberhofer). Report EUR 16 277 EN. Luxembourg
- [6] A R Lakshmanan, M T Jose, V Ponnusamy and P R Vivek kumar., 2002. Luminescence in $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ Phosphor – Dependence on Grain Agglomeration, Sintering Temperature, Sieving and Washing. J.Phys.D:Appl. Phys. 35

- [7] Y. Wang, N. Can, P. Townsend. 2005. Influence of Li dopants on thermoluminescence spectra of CaSO₄: with Dy or Tm. Luminescence in Rare-Earth Doped CaSO₄ Phosphors. Rad. Meas
- [8] Salah, N, 2010. Nanocrystalline materials for the dosimetry of heavy charged particles: A review, radiation physic and chemistry journal
- [9] Akhadi, M., 2005, Mengoptimalkan Penggunaan Dosimeter Perorangan di Medan Radiasi Campuran, Buletin ALARA, Vol. 7 No. 1&2

TANYA JAWAB

PARALEL : E

NAMA PEMAKALAH : Eka Djantika N.

NAMA PENANYA : Kartika

PERTANYAAN :

Menurut anda metode mana yang lebih bagus dalam pembuatan TLD? Dalam presentasi anda tadi disebutkan 2 metode pembuatan kering dan basah.

JAWABAN :

Kedua-duanya baik, yang terpenting adalah kesempurnaan dari bentuk Kristal. Selama ini yang biasa digunakan adalah jalur basah atau dengan cara destilasi.