

PENGARUH ENERGI FOTON SINAR-X TERHADAP EFISIENSI ABSORPSI DARI F-CENTER PADA KRISTAL LiF

Ratnawulan

Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP, email: ratna_unp@yahoo.com

ABSTRACT

There are two purposes in this research the first is to find out the effect of the x-ray photon energy on the absorption efficiency of F-center of LiF crystal. The second is to find out in what energy level the x-ray photon occurred associated to the absorption efficiency of F-centers is maximum. Sample is a single crystal from Physics Laboratory in Padang State University, with the crystal thickness is 0.302 cm. The F-centers were created by using the Cr, Cu and Mo x-ray target with photon energy are 5.42keV, 8.03 keV and 17.4 keV respectively. The data were collected in BATAN Bandung for the Cr and Cu x-ray target, where as at Department of Material Engginering on Bandung Institute of Technology (ITB) for the Mo x-ray target. The absorptions spectrum of F-centers are obtained by using UV/VIS Spectrometer at Department of Chemistry on ITB. It is found that F-centers for three targets occured at the same wavelength 190 nm but on the other hand showed different in the maximum absorption i.e: 91.18 %, 99.12 % and 98.89 % repectively for Cr, Cu and Mo x-ray target. Further, we found from the plot of the maximum absorption efficiency as a function of x-ray photon energy that the maximum absorptions efficiency decrease by increasing the foton energy. This research is supported by evidence that amount the electrons and hole pairs per volume is also decrease by the x-ray photon energy i.e : 1.0827×10^{18} number/cm³, 1.02×10^{18} number/cm³ dan 0.921×10^{18} number/cm³ for Cr, Cu and Mo x-ray target respectively.

Keywords: *energy level of the x-ray photon, absorption efficiency, F-centers, LiF*

PENDAHULUAN

Sebagai persiapan untuk menghadapi abad teknologi yang akan mewarnai abad ke-21, penemuan dan perancangan detektor-detektor baru dari material-material kristal merupakan salah satu peristiwa yang sangat penting. Sebagai contoh dalam bidang kristallografi telah dikembangkan sejenis detektor baru yang dikenal dengan nama pelat bayangan (*imaging plate*). Keunggulan detektor pelat bayangan ialah mampu merekam bayangan pada suhu yang sangat rendah, dapat menghasilkan foto tiga dimensi dan dapat ditampilkan di layar komputer. Dalam bidang kedokteran pelat bayangan digunakan sebagai pengganti film dalam pengambilan foto Rontgen dirumah sakit (Amemiya, dkk, 1988). Di

bidang struktur bahan, pelat bayangan digunakan untuk merekam pola-pola difraksi pada suhu yang sangat rendah dimana detektor-detektor yang biasa tidak dapat merekamnya (Kuroiwa, dkk, 1995). Dari beberapa keunggulan tadi, orang telah melirik pelat bayangan sebagai detektor masa depan.

Detektor pelat bayangan terbuat dari bahan kristal yang mempunyai fenomena F-centers. F-centers merupakan salah satu macam cacat kristal yang dikenal sebagai pusat warna. F-center banyak didapat pada kristal-kristal garam alkali halida seperti LiF. Bila kristal alkali halida menyerap radiasi sinar-X, beberapa ion alkali terionisasi dan elektron-elektron akan dibebaskan ke pita konduksi. Elektron-

elektron tersebut terperangkap pada suatu lapisan yang disebut F-center yaitu pusat-pusat warna pada kristal disebabkan adanya lowongan-lowongan (Ashroft, 1976). Karena proses luminesensi kristal akan berwarna sesuai dengan jenis kristalnya.

Bila kristal yang telah mengalami F-center disinari dengan cahaya tampak seperti sinar laser He-Ne, maka elektron-elektron yang terperangkap pada F-center dibebaskan kembali ke pita konduksi dan bertransisi ke pita valensi menjadi ion-ion alkali sambil memancarkan radiasi yang dinamakan "*photo-stimulated luminescence*" disingkat radiasi PSL. Jika sinar-X yang diserap kristal alkali halida tersebut merupakan hasil dari foto Rontgen maupun peristiwa difraksi maka radiasi PSL yang dipancarkan kristal alkali halida akan mengandung seluruh informasi dari sinar-X hasil dari foto Rontgen maupun dari peristiwa difraksi yang diserap.

Untuk mendapatkan secara optimal informasi yang dibawa oleh PSL maka absorpsi dari material yang mengalami F-centers ini haruslah sebesar mungkin. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan (Amemiya, dkk, 1988 dan Kuroiwa, dkk, 1995) diarahkan dalam merancang suatu alat yang bisa membaca secara optimal informasi yang terkandung dalam PSL. Adakalanya alat yang dihasilkan tersebut pemasangannya lebih rumit dari pada desain dari pelat bayangan itu sendiri. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dicoba alternatif lain untuk meningkatkan secara optimal efisiensi absorpsi dari F-centers pada kristal alkali halida yaitu dengan mengatur energi foton sinar-X sewaktu membuat F-centers pada kristal alkali halida. Sebagai sampel dari kristal alkali halida digunakan kristal LiF (Lithium Florida).

LiF adalah senyawa ionik yang merupakan campuran dari unsur golongan IA (alkali) dengan unsur golongan VIIA (halogen) dalam tabel periodik. Didalam struktur alkali halida setiap kation (ion logam alkali) dikelilingi oleh enam anion

tetangga terdekat (ion halogen), dan setiap anion dikelilingi oleh enam kation tetangga terdekat. Masing-masing kation dan anion disituasikan pada titik-titik dari kisi kubik *face-centered* yang terpisah dan dua kisi ini berselaan setiap lainnya.

Pada temperatur kamar, LiF merupakan material isolator, dan jika temperaturnya dinaikkan, konduktivitas listriknya bertambah sangat cepat dan bersifat sebagai konduktor. Sifat optik dan listrik dari LiF mengindikasikan bahwa material ini digambarkan sebagai isolator dengan energi gap pita terlarang dalam order 10 eV.

Absorpsi cahaya dalam daerah ultra violet berhubungan dengan pembebasan sebuah elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Karena pita valensi timbul dari elektron valensi dari ion halida yang berhubungan dengan perpindahan sebuah elektron dari sebuah ion halida. Lowongan akibat perpindahan sebuah elektron dikenal sebagai "hole positif", dan hole ini mempunyai sifat seperti sebuah elektron dengan sebuah muatan positif.. Karena sebuah elektron dibebaskan dan menghasilkan hole positif dalam ion halida, keduanya bebas untuk bergerak, fotokonduktivitas akan dihasilkan dari proses ini. Absorpsi cahaya pada panjang gelombang yang lebih panjang dari pada pita ultraviolet, tidak dihasilkan fotokonduktivitas. Cahaya dari panjang gelombang ini tidak cukup energitik untuk memisahkan secara komplet elektron dan hole positif, yang terikat satu sama lain dengan gaya Coulomb. Pergerakan partikel yang terdiri dari sebuah elektron yang terikat dengan sebuah hole positif dikenal sebagai eksiton dan keadaan energi yang berhubungan dengan konfigurasi seperti itu disebut keadaan eksiton.

Pada kristal LiF terdapat beberapa macam cacat kisi seperti lowongan dan sisipan. Cacat-cacat kisi ini merubah distribusi muatan listrik dan karena itu juga tingkat-tingkat elektronik disekitar cacat tersebut. Sebagai contoh yang sederhana

dapat diambil lowongan ion positif (Li^+) pada kisi kristal LiF . Elektron-elektron $1s$ dari ion yang letaknya berdekatan dengan lowongan-lowongan tersebut tidak terikat kuat sebagaimana biasanya, karena sekarang lowongan ion positif bertindak sebagai “muatan” yang negatif karena itu elektron-elektron tersebut lebih mudah terionisasi atau tereksitasi dibandingkan dengan elektron-elektron $2s$ dari ion F^- yang tidak normal terletak sedikit diatas batas atas pita valensi. Keadaan disekeliling lowongan ion F^- dapat diterangkan dengan cara yang sama. Elektron terluar dari ion F^+ yang tidak normal terletak sedikit dibawah dari batas bawah pita konduksi.

F-center adalah pusat warna yang sederhana. Elektron dari atom alkali yang tidak terikat pada atom mengalami perpindahan dalam kristal dan terperangkap pada lowongan tempat ion negatif. Elektron yang terperangkap pada kekosongan ion negatif, diasumsikan dengan elektron yang terdapat dalam suatu kotak yang dibatasi dengan potensial tak berhingga (Tanner, 1995).

Untuk alkali halida seperti kristal LiF , posisi puncak dari pita F pada temperatur kamar ditentukan dengan rumus empiris oleh Mollwo (op.cit Schulman & Compton, 1962) dengan hubungan $\lambda_{\text{max}}(\text{Å}) = 600 d^2$, dimana d adalah konstanta kisi dari alkali halida dalam satuan angstrom. Untuk kristal LiF dengan $d = 4,02 \text{ Å}$ posisi F-centers pada suhu kamar terletak pada daerah panjang gelombang 250 nm.

Posisi puncak dari F-centers dari kristal akan bergeser karena beberapa faktor (Markham, 1966) seperti; (1) pengaruh temperatur pada kristal dimana pada penurunan temperatur posisi puncaknya akan bergeser menuju panjang gelombang yang lebih pendek; (2) Pengaruh tekanan pada kristal dimana pada tekanan yang besar posisi puncak akan bergeser menuju panjang gelombang yang lebih pendek; dan (3) pengaruh ketidakmurnian pada kristal dimana pada kristal yang ketidakmurniannya tinggi maka posisi puncaknya akan

bergeser menuju panjang gelombang yang lebih pendek.

F-center dapat diperoleh dengan beberapa cara, salah satunya adalah pendedahan pada radiasi mengion. Radiasi mengion merupakan sumber yang dapat membangkitkan elektron dan hole bebas didalam kristal. Radiasi mengion berbentuk foton dengan energi sekitar 10 eV, sinar-X lunak dengan energi sekitar 10 – 60 keV, dan sinar gamma dengan energi sekitar 1,25 MeV.

Sumber sinar-X mempunyai spektrum energi yang lebar, absorpsi foton sangat tergantung pada energi foton tersebut. Tumbukan yang terjadi secara langsung dapat menyisipkan ion dari tempatnya semula. Lowongan inilah yang dapat berintegrasi dengan eksiton seperti yang dijelaskan sebelumnya. Kristal alkali halida yang mempunyai F-center yang didapat dengan cara ini akan berwarna tergantung dari jenis kristalnya. Pendedahan kristal LiF terhadap radiasi mengion menghasilkan lebih dari satu pusat warna.

Ketika kristal LiF menyerap energi sinar-X, maka kristal dapat menyimpan fraksi energi dalam bentuk pusat-pusat warna. Bila kemudian kristal disinari dengan cahaya tampak, maka akan dipancarkan radiasi yang dikenal sebagai “photo-stimulated luminescence (PSL)”. Bayangan sisa (residual) dapat dihapus dengan cara menyinari ulang pelat bayangan dengan cahaya tampak dosis besar.

Berdasarkan latar belakang masalah maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut (1), bagaimana pengaruh energi foton sinar-X terhadap efisiensi absorpsi dari F-centers pada kristal LiF , (2) pada energi foton sinar-X berapakah diperoleh efisiensi absorpsi dari F-centers paling besar.

Tujuan dari penelitian ini yaitu pertama, mengetahui pengaruh energi foton sinar-X terhadap efisiensi absorpsi F-center pada kristal LiF , dan kedua mengetahui pada energi foton sinar-X

berapa diperoleh efisiensi absorpsi dari F-center paling besar.

Penelitian ini memberikan manfaat terhadap perkembangan ilmu dan teknologi khususnya dalam memberikan informasi didalam memanfaatkan material-material kristal khususnya LiF untuk teknologi detektor. Jika dilihat dalam agenda penelitian Universitas Negeri Padang, maka penelitian ini termasuk kategori I, yaitu penelitian yang memberikan kontribusi pada pengembangan IPTEK khususnya dalam bidang fisika kristalografi.

METODE PENELITIAN

Sampel penelitian adalah kristal tunggal LiF (Lithium Florida) dengan tebal 0,302 cm yang tersedia di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Padang. Pembuatan F-centers menggunakan sinar-X sumber Cr dan Cu dilakukan di BATAN Bandung sedangkan pembuatan F-centers dengan sinar-X sumber Mo dilakukan di Departemen Teknik Material ITB. Pengambilan data spektrum absorpsi F-centers menggunakan spektrometer UV/VIS dilakukan di Departemen Kimia ITB.

Idealnya pembuatan F-center pada kristal LiF menggunakan sinar-X dengan sumber atau target yang berbeda-beda seperti (1) Cr yang menghasilkan energi foton $E = 5,42$ keV, (2) Fe yang menghasilkan energi foton $E = 6,41$ keV, (3) Co yang menghasilkan energi foton $E = 6,94$ keV, (4) Cu yang menghasilkan energi foton $E = 8,03$ keV, (5) Mo yang menghasilkan energi foton $E = 17,4$ keV, (6) Ag yang menghasilkan energi foton $E = 22,06$ keV. Tetapi karena keterbatasan jenis target yang tersedia di Bandung, maka dipilih tiga jenis target saja yaitu : Cr, Cu dan Mo.

Pembuatan F-center dilakukan dengan cara meradiasikan kristal tunggal LiF dengan sinar-X. Untuk menjamin agar tegangan pada unit sinar-X berharga stabil maka digunakan transformator yang langsung dihubungkan ketegangan PLN. Untuk mendapatkan ketebalan rata-rata dan luas

permukaan dari kristal tunggal LiF digunakan mikrometer sekrup dengan ketelitian 0,05 mm. Penyinaran dilakukan untuk setiap jenis sumber atau target dari tabung sinar-X untuk mendapatkan energi foton sinar-X yang berbeda-beda. Setelah F-center dibuat, dilakukan pengambilan data absorpsi menggunakan spektrometer UV/VIS dan selanjutnya F-center dikosongkan dengan menyinari dengan cahaya tampak seperti laser He Ne, agar kristal bisa digunakan kembali.

Absorbansi dari F-centers dari setiap energi foton sinar-X ditabelkan dan karena efisiensi absorpsi F-centers yang merupakan perbandingan intensitas sinar yang diserap dengan sinar yang datang yang juga disebut dengan absorpsi maka efisiensi absorpsi dari F-centers untuk setiap energi foton sinar-X diperoleh dengan rumus :

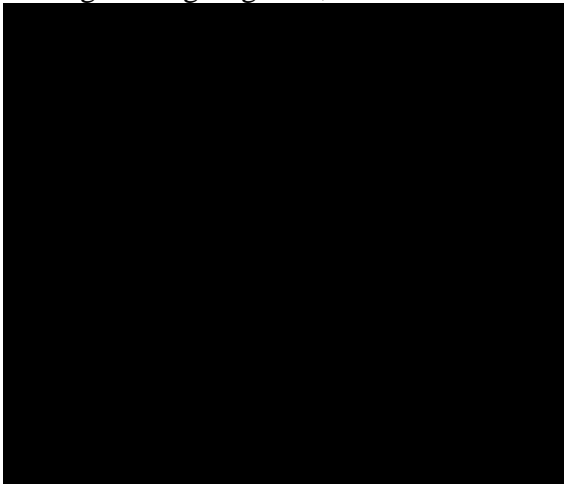
$$\text{absorpsi} = (1 - \text{anti log}(A)) \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

dimana A adalah absorpsi. Untuk memudahkan analisis dibuat kurva absorpsi F-centers dari setiap energi foton sinarX terhadap panjang gelombang cahaya UV/VIS. Pewarnaan yang dihasilkan oleh radiasi sinar-X lebih dari satu pusat warna, seperti F-centers, R-centers dan M-centers dimana untuk kristal LiF, Posisi F-centers terdapat pada daerah ultra violet, M-centers terdapat pada daerah panjang gelombang yang lebih panjang dari F-centers, sedangkan R centers terletak antara F-centers dan M-centers (Schulman dan Compton, 1962). Pada penelitian ini pembahasan difokuskan hanya pada spektrum F-centers yang terletak pada daerah ultra violet. Untuk setiap spektrum absorpsi F-centers untuk masing-masing harga energi foton sinar-X dibandingkan dan kemudian ditentukan pada harga energi foton sinar-X berapa efisiensi absorpsi dari F-centers paling besar.

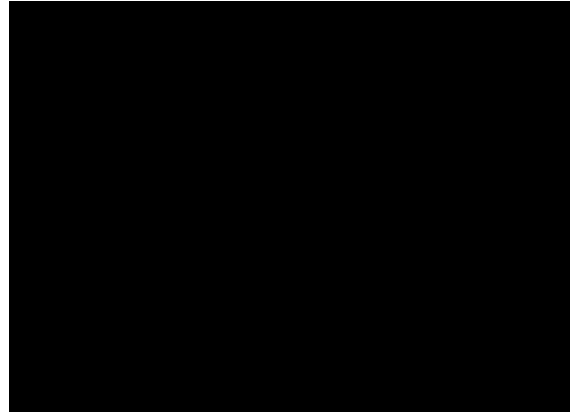
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan F-centers pada kristal LiF dilakukan pada temperatur 10°C untuk masing-masing target sinar-X yaitu Cr, Cu dan Mo dengan lama penyinaran 30 detik. Masing-masing target tersebut memiliki energi penyinaran 5,42 keV untuk Cr; 8,03 keV untuk Cu; dan 17,4 keV untuk Mo. Pengukuran absorbansi diambil dalam rentang panjang gelombang 190 – 820 nm dengan alasan bahwa pada panjang gelombang 190 nm absorbansi untuk ketiga jenis energi penyinaran sinar-X berharga maksimum untuk salah satu pusat warna dan simetri pada kedua sisinya.

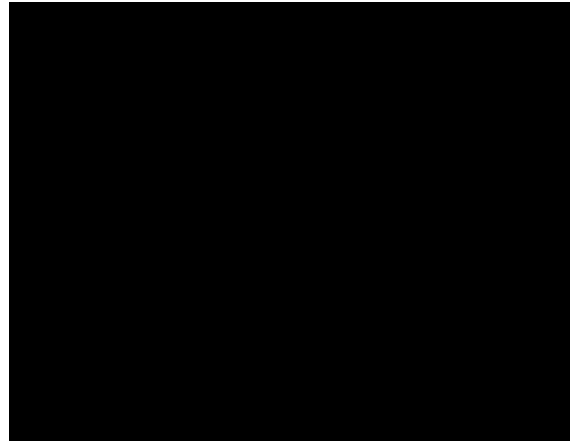
Akibat penyinaran dengan radiasi sinar-X menyebabkan terjadinya beberapa pusat-pusat warna pada kristal yang ditandai dengan munculnya puncak-puncak absorbansi pada daerah-daerah tertentu seperti pada panjang gelombang 190 nm, 486 nm, 582 nm, dan 656 nm. Data yang diperoleh melalui hasil pengukuran dianalisa untuk mengetahui efisiensi absorpsi dari masing-masing target sinar-X dengan memakai pers (1). Hasil perhitungan untuk masing-masing jenis target sinar-X kemudian dikonversi dalam bentuk grafik yang bisa dilihat pada Gambar 1, 2 dan 3 untuk masing-masing target Cr, Cu dan Mo.



Gambar 1. Spektrum absorpsi dari F-centers untuk penyinaran sinar-X dengan target Cr yang menghasilkan energi penyinaran 5,40 keV



Gambar 2. Spektrum absorpsi dari F-centers untuk penyinaran sinar-X dengan target Cu yang menghasilkan energi penyinaran 8,03 keV



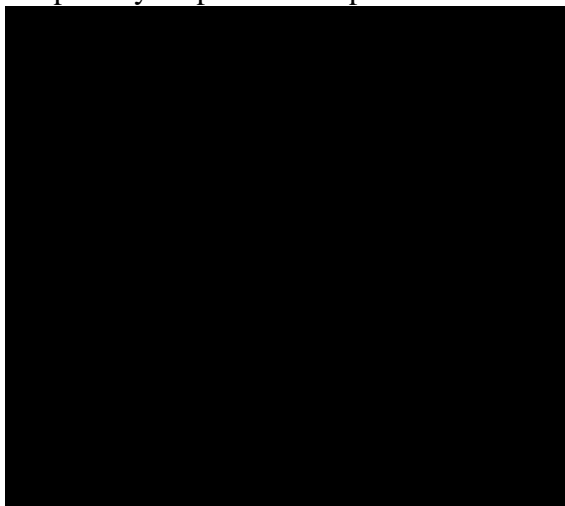
Gambar 3. Spektrum absorpsi dari F-centers untuk penyinaran sinar-X dengan target Mo yang menghasilkan energi penyinaran 17,4 keV

Dari Gambar 1 terlihat bahwa penyinaran kristal LiF dengan radiasi sinar-X yang memakai target Cr menghasilkan sejumlah pusat-pusat warna maksimum yaitu F-centers pada panjang gelombang 190 nm, R1 centers pada panjang gelombang 486 nm, R2 centers pada panjang gelombang 582 nm dan M-centers pada panjang gelombang 656 nm. Sesuai dengan tujuan penelitian maka analisa spektrum difokuskan pada F-centers. F-centers yang terjadi akibat penyinaran dengan radiasi sinar-X dengan target Cr mempunyai absorpsi maksimum mencapai 99,18 % pada daerah panjang gelombang sekitar 190 nm.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa penyinaran kristal LiF dengan radiasi sinar-X Cu juga menghasilkan sejumlah pusat-pusat warna maksimum yaitu F-centers pada panjang gelombang 190 nm, R1 centers pada panjang gelombang 486 nm, R2 centers pada panjang gelombang 582 nm dan M-centers pada panjang gelombang 656 nm. F-centers yang terjadi akibat penyinaran dengan radiasi sinar-X dengan target Cu mempunyai absorpsi maksimum mencapai 99,12 % pada daerah panjang gelombang 190 nm.

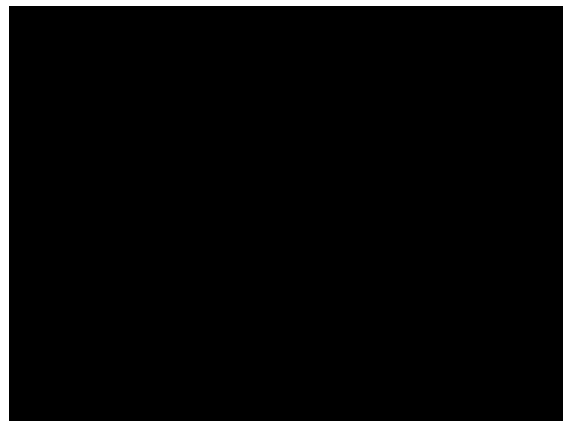
Dari Gambar 3 terlihat bahwa penyinaran kristal LiF dengan radiasi sinar-X Mo juga menghasilkan sejumlah pusat-pusat warna maksimum yaitu F-centers pada panjang gelombang 190 nm, R1 centers pada panjang gelombang 486 nm, R2 centers pada panjang gelombang 582 nm dan M-centers pada panjang gelombang 656 nm. F-centers yang terjadi akibat penyinaran dengan radiasi sinar-X dengan target Mo mempunyai absorpsi maksimum mencapai 98,89 % pada daerah panjang gelombang 190 nm.

Untuk melihat perbandingan absorpsi ketiga target atau energi penyinaran tersebut, maka ketiga grafik dari Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3 digabung dan tampilannya diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan spektrum pusat warna untuk ketiga jenis penyinaran (Cr, Cu, dan Mo)

Karena pewarnaan yang dihasilkan oleh radiasi sinar-X terjadi lebih dari satu pusat warna, seperti F-centers, R-centers dan M-centers dimana untuk kristal LiF, Posisi F-centers terdapat pada daerah ultra violet, M-centers terdapat pada daerah panjang gelombang yang lebih panjang dari F-centers, sedangkan R centers terletak antara F-centers dan M-centers (Schulman dan Compton, 1962), maka pembahasan difokuskan hanya pada spektrum F-centers yang terletak pada daerah ultra violet. Untuk setiap spektrum efisiensi absorpsi F-centers untuk masing-masing harga energi foton sinar-X dibandingkan dan kemudian ditentukan pada harga energi foton sinar-X berapa efisiensi absorpsi dari F-centers paling besar. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Efisiensi absorpsi dari LiF dihitung sebagai fungsi energi foton sinar-X

Dari gambar 5 dapat disimpulkan walaupun penurunan efisiensi absorpsinya tidak terlalu signifikan bedanya, namun bisa dinyatakan bahwa efisiensi absorpsi dari F-centers untuk kristal LiF akan makin kecil jika energi penyinaran sinar-Xnya makin besar. Perbedaan efisiensi absorpsi antara sumber radiasi sinar-X yang memakai target Cr dan Cu yang kurang signifikan, dipengaruhi oleh energi foton sinar-X untuk kedua target tersebut yang tidak terlalu berbeda jauh nilainya. Namun hasil yang berbeda diperlihatkan untuk target Mo. Oleh karena itu untuk memperoleh efisiensi absorpsi dari F-centers secara optimal disarankan untuk

menggunakan energi penyinaran sinar-X yang kecil.

Makin kecilnya efisiensi absorpsi dari F-centers untuk energi penyinaran sinar-X yang makin besar, dapat dijelaskan sebagai berikut: tumbukan foton sinar-X yang terjadi secara langsung dapat menyisipkan ion dari tempat semulanya dan lowongan ini berintegrasi dengan eksiton sehingga kristal akan berwarna sesuai dengan jenis kristalnya. Warna ini sebanding dengan jumlah lowongan yang ditimbulkan oleh sinar-X. Energi sinar-X akan mempengaruhi jumlah lowongan yang terbentuk. Warna dinyatakan juga dengan konsentrasi F-centers, yaitu jumlah pasangan elektron dan hole yang terbentuk pada kristal akibat radiasi sinar-X persatuan volume. Konsentrasi F-center dapat dilihat dari besarnya absorpsi dari kristal yang diukur dengan alat spektrometer UV-VIS. Makin besar konsentrasi F-centers maka makin besar pula absorpsi dari F-centers (Tanner, 1995).

Jumlah pasangan elektron dan hole yang terbentuk pada kristal LiF persatuan volume akibat diradiasi dengan sinar-X untuk setiap energi foton sinar- dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Schulman & Compton, 1962) :

$$Nf = \frac{9mn}{2e^2(n^2 + 2)^2} \alpha_{\max} W \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

N adalah jumlah pasangan elektron dan hole per cm^3 , f adalah kekuatan osilator yang dihubungkan dengan kebolehdian transisi optik yang menghasilkan absorpsi (untuk LiF $f = 0,22$), α_{\max} adalah koefisien absorpsi optik dalam cm^{-1} pada absorpsi maksimum volt, W adalah lebar pita absorpsi dalam elektron Volt pada setengah dari harga maksimum, n adalah indeks bias kristal (untuk LiF, $n = 1,3967$), m adalah massa elektron ($9,1 \times 10^{-31} \text{kg}$), e adalah muatan elektron ($1,609 \times 10^{-19} \text{C}$) dan c adalah kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

Nilai lebar pita absorpsi (W) untuk target Cr adalah = 2,84 eV. Nilai ini

diperoleh untuk penyinaran dengan energi foton 5,42 keV (target Cr) diperoleh koefisien absorpsi optik dalam cm^{-1} pada absorpsi maksimum $\alpha_{\max} = \text{Absorbansi maksimum} / \text{tebal kristal} = 2,08450 / 0,302 \text{ cm} = 6,90 / \text{cm}$ dan lebar pita absorpsi dalam eV pada setengah dari harga maksimum $W = 2,84 \text{ eV}$, maka diperoleh jumlah pasangan elektron dan hole persatuan volume $N = 1,0827 \times 10^{18} \text{ buah/cm}^3$.

Untuk penyinaran dengan energi foton 8,03 keV (target Cu) diperoleh koefisien absorpsi optik dalam cm^{-1} pada absorpsi maksimum $\alpha_{\max} = \text{Absorbansi maksimum} / \text{tebal kristal} = 2,05362 / 0,302 \text{ cm} = 6,80 / \text{cm}$ dan lebar pita absorpsi dalam elektron Volt pada setengah dari harga maksimum $W = 3,03 \text{ eV}$, maka diperoleh jumlah pasangan elektron dan hole persatuan volume $N = 1,02 \times 10^{18} \text{ buah/cm}^3$.

Untuk penyinaran dengan energi foton 17,4 keV (target Mo) diperoleh koefisien absorpsi optik dalam cm^{-1} pada absorpsi maksimum $\alpha_{\max} = \text{Absorbansi maksimum} / \text{tebal kristal} = 1,95639 / 0,302 \text{ cm} = 6,47 / \text{cm}$ dan lebar pita absorpsi dalam elektron Volt pada setengah dari harga maksimum $W = 2,78 \text{ eV}$, maka diperoleh jumlah pasangan elektron dan hole persatuan volume $N = 0,921 \times 10^{18} \text{ buah/cm}^3$.

Dari hasil perhitungan diatas jelas bahwa penyinaran radiasi sinar-X dengan energi foton yang makin kecil akan menyebabkan pembentukan pasangan elektron dan hole pada kristal yang makin besar yang ditandai dengan makin tingginya efisiensi absorpsi dari kristal LiF.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dikemukakan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai efisiensi absorpsi maksimum F-centers dari kristal LiF untuk setiap energi foton sinar-X berbeda satu sama lain, dimana untuk energi foton sinar-X target Cr yaitu 5,42 keV, efisiensi

absorpsi maksimumnya adalah 99,18 %, untuk energi foton sinar-X target Cu yaitu 8,03 keV, efisiensi absorpsi maksimumnya adalah 99,12 %, dan untuk energi foton sinar-X target Mo yaitu 17,4 keV, efisiensi absorpsi maksimumnya adalah 98,89 %.

2. Efisiensi absorpsi maksimum dari F-centers pada kristal LiF berkurang terhadap tingkat energi foton sinar-X
3. Jumlah pasangan elektron dan hole persatuan volume yang terjadi didalam kristal LiF sebanding dengan efisiensi absorpsi maksimum dari F-center dan berkurang terhadap tingkat energi foton sinar-X.

DAFTAR PUSTAKA

- Amemiya, Y., Satow, Y., Matsushita, T., Chikawa, J., Wakabayashi, K., and Miyara, Y. (1988). **A Storage Phosphor Detektor (imaging Plate) and its Application to Diffraction Studies Using Synchrotron Radiation**. *Current Chemistry*, 147, hal 121-148
- Amemiya, Y., and Miyahara, J. (1988). **Imaging Plate Illuminates many Fields**, *Nature*, 336, hal 89 - 90.
- Amemiya, Y., Matsushita, T., Nakagawa, A., Satow, Y., Miyahara, and Chikawa. (1988). **Design and Performance of An Imaging Plate System for X-Ray Diffraction Study, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**. A266, hal. 645-653.
- Ashroft, N.W., and Mermin, N, D. (1976). **Solid State Physics**. Sanders College, Philadelphia.
- Kittel, C. (1996). **Introduction to Solid State Physics**. John Wiley & Sons, New York.
- Kuroiwa, Y., Tamura, I., Ohe, F., Jidaisho, H., Akiyama, K., and Noda, Y. (1995). **Development of a Low-Temperature X-ray Diffractometer with a Weissenberg Camera utilizing an Imaging Plate**. *J. Appli. Cryst.*28, hal 341-347
- Markham, J. J. (1966). **F-centers in Alkali Halides**. Academic Press. New York and London
- Schilman and Compton. (1962). **Color Centers in Solids**. The Macmillan Company New York
- Tanner, Brian K. (1995). **Introduction to the Physics of Electrons in Solids**. University of Cambridge, Australia