

VISUALISASI PENGARUH MEDAN LISTRIK TERHADAP INDEKS BIAS DALAM KRISTAL ISOTROP

Widya Elyani^{1,*}, Arif Hidayat^{1,2}, Hari Wisodo¹, Eny Latifah¹, Ahmad Taufiq^{1,2}

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5 Malang, 65145, Indonesia

²Laboratorium Material dan Mineral Maju, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5 Malang, 65145, Indonesia

*Email: widya.elyani1994@gmail.com

Abstrak

Efek elektro-optik dapat diketahui melalui perubahan indeks bias medium optik akibat pengaruh medan listrik. Perubahan indeks bias dapat dikaji melalui perubahan arah polarisasi cahaya yang merambat didalam medium optik. Perubahan indeks bias divisualisasi dalam bentuk perubahan elipsoida indeks. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan dengan memasukkan persamaan matematis untuk memperoleh hasil berupa kurva indeks bias. Dalam penelitian ini, kristal GaAs diberi medan listrik sepanjang sumbu-z sebesar 5×10^8 V/m, 5×10^{10} V/m, 5×10^{12} V/m. Saat diberi medan 5×10^8 V/m, indeks bias kristal tidak mengalami perubahan. Saat diberi medan 5×10^{10} V/m, indeks bias kristal berubah karena kristal mengalami perubahan sifat optis yang semula bersifat isotrop berubah menjadi anisotrop biaksial. Saat diberi medan 5×10^{12} V/m, perubahan indeks bias tidak terlihat karena medan yang diberikan terlalu besar dan skala kurva yang kecil tidak bisa membacanya. Penelitian ini bisa dimanfaatkan untuk sistem telekomunikasi WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Kata Kunci: Elektro-optik, GaAs, isotrop, anisotrop

1. Pendahuluan

Perubahan indeks bias dalam kristal isotrop merupakan interaksi elektro-optik. Interaksi elektro optik merupakan perubahan indeks bias (n) kristal sebagai media akibat pengaruh medan listrik yang diberikan terhadap kristal tersebut. Perubahan indeks bias ini diketahui dari perubahan arah polarisasi cahaya. Perubahan indeks bias tersebut divisualisasi dalam bentuk indeks elipsoid[1]. Elektro optik adalah perubahan sifat optik medium karena diberikan gangguan medan dari luar. Gangguan ini berupa medan listrik. Ada dua macam efek elektro optik, yaitu efek Pockels dan efek Kerr. Efek Pockels merupakan efek elektro optik linier yang tergantung pada struktur kristal dan simetris bahan kristal tersebut. Efek Kerr merupakan efek kuadrat pada media interaksi berupa zat cair [1]. Karena medium yang digunakan adalah kristal, maka efek yang berlaku hanya efek Pockels saja.

Kristal didefinisikan sebagai komposisi atom-atom zat padat yang memiliki susunan teratur dan periodik dalam pola tiga dimensi. Keteraturan susunan tersebut terjadi karena kondisi geometris yang harus memenuhi adanya ikatan atom yang berarah dan susunan yang rapat [2]. Secara umum sifat kristal berdasarkan sumbu optik terbagi menjadi dua, yaitu kristal isotrop dan anisotrop [3]. Kristal isotrop merupakan suatu bahan kristal yang

indeks biasanya sama di semua tempat dan kecepatan rambat gelombangnya sama. Karakteristik perambatan gelombang elektromagnet dalam medium isotrop tidak bergantung pada arah, sedangkan kristal anisotrop merupakan suatu bahan kristal yang apabila dikenai medan listrik indeks biasanya akan berubah di setiap tempat [4].

Berkas cahaya yang diberikan pada kristal uniaksial akan dipolarisasi menjadi dua berkas sinar, yaitu sinar biasa (*ordinary ray*) dengan indeks bias n_o dan sinar istimewa (*extraordinary ray*) dengan indeks bias n_e [5]. Perambatan sinar biasa di kristal uniaksial mengikuti hukum Snellius dan untuk sinar istimewa tidak mengikuti hukum Snellius [6]. Sinar istimewa tidak menaati hukum Snellius karena indeks biasanya berubah terhadap vektor sudut gelombang dan sumbu optis. Perambatan sinar istimewa dalam kristal uniaxial tidak hanya relevan dengan indeks bias medium isotrop dan indeks bias kristal uniaksial, tetapi juga terhadap sumbu optisnya [7].

Visualisasi yang dilakukan dengan memasukkan persamaan perubahan indeks bias secara bertahap. Perubahan indeks bias pada efek Pockels lebih tepat dideskripsikan sebagai perubahan $\frac{1}{n^2}$ sepanjang medan listrik luar yang diterapkan. Persamaan umumnya dituliskan seperti persamaan:

$$\left[\frac{1}{n_o^2} + \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_1 \right] x^2 + \left[\frac{1}{n_o^2} + \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_2 \right] y^2 + \left[\frac{1}{n_e^2} + \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_3 \right] z^2 + 2\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_4 yz + 2\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_5 xz + 2\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_6 xy = 1$$

Sehingga

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_i = \sum_{j=1}^3 r_{ij} E_j, i = 1, \dots, 6 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana

r_{ij} = koefisien elektro optik linier (Pockels).

E_j = komponen medan listrik luar yang diterapkan sepanjang arah x, y, dan z.

Jika dituliskan dalam bentuk matriks, maka hasilnya akan menjadi :

$$\begin{pmatrix} \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_1 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_2 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_3 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_4 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_5 \\ \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

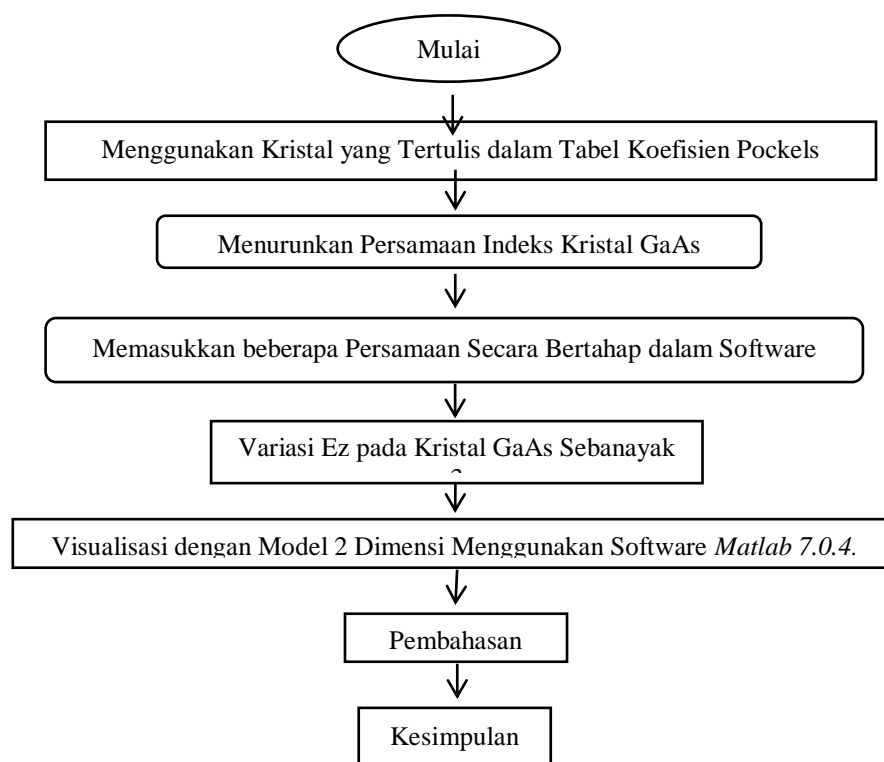
Matriks 6×3 dari persamaan (2) sering disebut sebagai $[r_{ij}]$ dan disebut sebagai tensor elektro optik linear. Tensor tersebut terdiri dari 18 elemen, tetapi banyak dari 18 elemen tersebut bernilai nol dan beberapa elemen tidak nol memiliki nilai tergantung pada simetri kristal [8]. Tabel 1 menunjukkan daftar beberapa nilai dari elemen yang tidak nol.

Tabel 1. Daftar Koefisien Pockels

Material	$r_{ij} \left(\frac{10^{-12} m}{V} \right)$	$\lambda_v (\mu m)$	Indeks bias
GaAs	$r_{41} = r_{52} = r_{63} = 1.2$	0.9	$n_o = n_o = 3.42$ (cubic)

2. Metode Eksperimen

Penelitian ini menggunakan metode teoritik dan komputasi. Pemodelan yang akan dibuat adalah perubahan indeks bias kristal yang dijadikan medium akibat pengaruh medan listrik yang dikenakan pada kristal tersebut. Perubahan indeks bias tersebut menunjukkan bahwa sifat optis kristal bisa berubah. Kristal yang akan digunakan sebagai medium diberikan medan listrik sepanjang sumbu z dengan besar tertentu untuk mengetahui perubahan indeks bias yang terjadi. Alur yang dilakukan dalam penelitian tertulis pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Diagram Alur penelitian

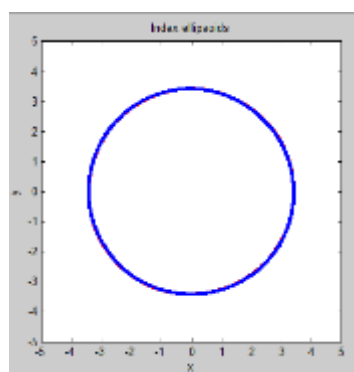
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data pada software Matlab 7.0.4 digunakan untuk menunjukkan perubahan indeks bias pada beberapa kristal. Perubahan indeks bias yang terjadi menunjukkan bahwa medan listrik yang diberikan berpengaruh terhadap sifat optis kristal. Kristal kubik memiliki ketiga sumbu yang sama besar dan saling tegak lurus. Indeks bias kristal dalam arah sumbu x, sumbu y, dan sumbu z sama besar. Oleh sebab itu cahaya yang terpolarisasi yang melewati kristal dengan arah sejajar sumbu x, sumbu y, dan sumbu z

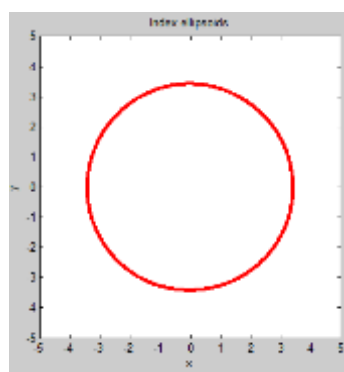
tidak akan berubah arahnya. Untuk mengubah sifat optis kristal kubik ini, diterapkanlah medan listrik dengan tegangan yang sangat besar.

Tabel 2 Hasil Penelitian Pada GaAs

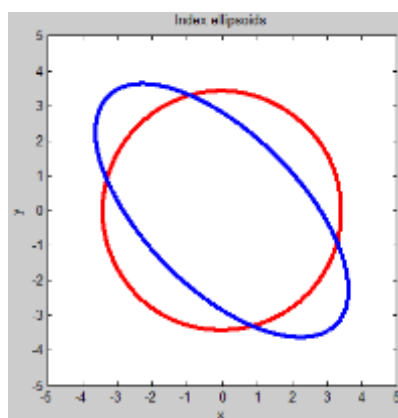
E_z (V/m)	$r_{ij}(\frac{10^{-12}m}{V})$	n_0	Indeks bias
5×10^8	$r_{63} = 1.2$	3.42	Tidak mengalami perubahan
5×10^{10}	$r_{63} = 1.2$	3.42	Berubah elips
5×10^{12}	$r_{63} = 1.2$	3.42	Tidak terjadi perubahan



Gambar 2. Indeks Bias GaAs dengan $E_z = 5 \times 10^8 \text{V/m}$



Gambar 3. Indeks Bias GaAs dengan $E_z = 5 \times 10^{12} \text{V/m}$



Gambar 4. Indeks Bias GaAs dengan $E_z = 5 \times 10^{10} \text{V/m}$

Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa indeks bias kristal GaAs (Tabel 2) tidak mengalami perubahan saat diberi medan listrik masing-masing sebesar 5×10^8 V/m dan 5×10^{12} V/m. Perubahan terlihat sangat jelas pada saat medan listrik sebesar 5×10^{10} V/m (Gambar 4). Kristal GaAs merupakan kristal kubik dengan sifat optis kristal isotrop. Namun setelah diberi medan listrik sifat optis kristal GaAs menjadi anisotrop, khususnya akan memiliki sifat kristal biaksial dengan tiga indeks bias berbeda. Perubahan tersebut disebabkan saat medan listrik diberikan searah sumbu z, sumbu x dan sumbu y dirotasi sebesar 45° sehingga menjadi sumbu x' dan sumbu y' . Perputaran sumbu inilah yang menyebabkan perubahan indeks bias. Hal ini bisa dilihat dari bentuk persamaan indeks elipsoid GaAs setelah diberi medan listrik, yaitu:

$$\frac{x^2}{n_0^2} + \frac{y^2}{n_0^2} + \frac{z^2}{n_e^2} + 2r_{63}E_zxy = 1 \dots\dots\dots(3)$$

dengan masing-masing nilai untuk $n_{x'}$ dan $n_{y'}$ yang menunjukkan indeks bias pada sumbu x' dan sumbu y' adalah:

$$n_{x'} = \left(n_0 + r_{63} \frac{n_0^3}{2} E_z \right) \dots\dots\dots(4)$$

$$n_{y'} = \left(n_0 - r_{63} \frac{n_0^3}{2} E_z \right) \dots\dots\dots(5)$$

Namun saat medan listrik sebesar 5×10^{12} V/m diberikan pada kristal GaAs perubahan indeks bias tidak terlihat. Bisa jadi disebabkan karena medan listrik yang terlalu besar menyebabkan perubahan indeks bias yang terjadi tidak terbaca oleh Matlab, sehingga medan listrik sebesar 5×10^{10} V/m merupakan medan listrik maksimal yang bisa mengubah sifat optis kristal GaAs dan terbaca oleh program.

4. Kesimpulan

Medan listrik yang paling sesuai untuk diterapkan dalam efek Pockels sebesar 5×10^{10} V/m bisa mengubah sifat optis kristal. Jika medan listrik terlalu besar, efek Pockels tidak berlaku lagi untuk mengetahui perubahan indeks bias kristal.

Daftar Rujukan

- [1] Setiawan Rg, dkk. 2011. *Perancangan modulator elektro-optik transversal Pockels*. Semarang: Universitas Diponegoro Semarang. Jurnal Transmisi, Volume 13 No.4, 2011, hal 148-155.
- [2] Parno, 2006. *Fisika Zat Padat*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- [3] Diantoro M, 2015. *Kristalografi*. Malang: Universitas Negeri Malang
- [4] Gusti BW, dkk, 2015. *Mineral Optik Anisotropis*, diakses pada 5 desember 2015 pukul 03.47 WIB
- [5] J.F. Wu, dkk. 2008. *Refraction of extraordinary rays and ordinary rays in the Savart polariscope*. Chinese Physic
- [6] J.F. Wu, dkk. 2009. *The double refraction in the interface of uniaxial crystals in the Savart polariscope*. Science in China Series G, Phys. Mech. Anstron
- [7] J.F. Wu, dkk. 2013. *The relation between the propagation of extraordinary ray and the optical axis in the uniaxial crystal*. China: Xi'an Polytechnic University.
- [8] Chung Poon, Ting, 2006, *Engineering optic with matlab*. Virginia Tech, USA Taegeun Kim Sejong University, South Korea Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.