

STUDI AWAL SIFAT OPTIS TAKLINIER LARUTAN GARAM DALAM MEDAN MAGNET LUAR

Priyono, K. Sofjan Firdausi, Asep Y. Wardaya, Much. Azam,
Indras Marhaendrajaya, dan Wahyu Setia Budi

Jurusan Fisika, FMIPA - UNDIP

Jl. Prof. Sudarto, SH., Semarang

ABSTRAK

STUDI AWAL SIFAT OPTIS TAKLINIER LARUTAN GARAM DALAM MEDAN MAGNET LUAR. Telah dilakukan kajian pada sifat optis taklinier dari larutan garam dalam medan magnet luar (B). Besar medan magnet maksimum adalah sekitar 0,049 T yang dihasilkan dari kumparan kawat sebanyak 6625 lilitan dan dialiri arus listrik bolak-balik sebesar maksimum 5 A. Interaksi radiasi sinar Laser He-Ne 633 nm, 5 mW, dengan sampel dalam medan magnet digunakan untuk mengukur perubahan sudut polarisasi cahaya laser. Sedangkan perubahan indeks bias terhadap B diperoleh dengan metode interferometer Michelson. Untuk variasi konsentrasi larutan NaCl, diperoleh bahwa perubahan sudut polarisasi bertambah secara linier terhadap B . Sedangkan indeks bias cenderung berkurang secara linier dengan kenaikan B .

Kata kunci : Optis taklinier, sudut polarisasi, indeks bias, kedalaman *frinji*

ABSTRACT

THE STUDIES OF NON LINEAR OPTIC OF SODIUM IN EXTERNAL MAGNETIC FIELD.

The characteristics of nonlinear optics of NaCl solution in an external magnetic field (B) have been studied. A maximum external magnetic field of 0.049 T is produced by 6625 turns of coil with maximum current 5 A. The interaction of 5 mW, 633 nm, He-Ne Laser with the sample in B leads to change of polarization angle, β of the electric field of light. The change of refractive index of the materials is measured using Michelson interferometer. For various NaCl-solution concentrations, we have proved that the change of polarization angle varies linearly to B . It has also been concluded that the refractive index of NaCl-solution are decreased linearly if B is increased..

Key words : Nonlinear optics, polarization, refractive index, resolution of fringes

PENDAHULUAN

Respon tak linier pada suatu media, seperti suseptibilitas, dielektrik, indeks bias, dan polarisabilitas, akan muncul bila dikenai cahaya dengan intensitas yang sangat kuat seperti laser daya tinggi, atau diletakkan dalam medan listrik luar (atau magnet) yang cukup besar. Secara umum, suseptibilitas media, χ karena adanya medan listrik luar E [1-6].

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sifat tak linier lainnya juga diperoleh dari polarisabilitas molekul *Azo Dyes*, yang sering digunakan sebagai bahan pewarna pada makanan dan tekstil, bila digunakan laser dengan intensitas tinggi [7].

Sejak tahun 2002, di Jurusan Fisika, FMIPA UNDIP telah dikembangkan penelitian-penelitian untuk menyelidiki sifat orientasi bahan dengan menempatkannya dalam medan luar. Hasil-hasil non-linier dari polarisabilitas ditunjukkan untuk bahan dielektrik KDP (KH_2PO_4) yang dilarutkan dalam air terhadap perubahan konsentrasi dan suhu. Kecenderungan yang

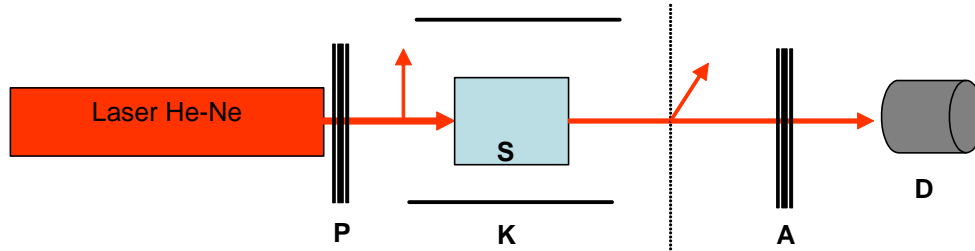
sama terjadi pula terhadap variasi frekuensi medan listrik bolak-balik [8-10].

Untuk bahan yang transparan, ketergantungan suseptibilitas terhadap medan listrik dapat digantikan oleh indeks bias. Studi awal kami menyimpulkan bahwa indeks bias berubah terhadap medan. Ketergantungan tersebut linier atau tidak, sangat tergantung dari besar medan yang dikenakan. Secara umum, skala eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan bahwa perubahan indeks bias terhadap medan listrik berkisar antara orde satu atau orde dua, bergantung pada material yang digunakan [11].

Analog dengan sebelumnya, E dapat diganti dengan B , yang menurut hipotesis awal indeks bias berbanding lurus dengan B [2-4]:

$$\Delta n \propto B \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dalam tulisan ini, persamaan di atas hendak diuji menggunakan Interferometer Michelson,



Gambar 1. Skema pengukuran, P = Polarimeter, K = Kumparan, S = Sampel, A = Analisator, dan D = Detektor

mengingat metode ini cukup andal untuk mengamati perubahan fasa yang kecil. Beda fasa pada interferensi Michelson secara umum berbanding lurus terhadap indeks bias bila pada salah satu lengan ditempatkan material transparan. Dengan mempertimbangkan faktor absorpsi dari wadah dan kepekatan larutan, konsentrasi, dan ukuran sampel, diusulkan bahwa jumlah *frinji* interferensi (m) sebagai fungsi B dirumuskan dalam bentuk :

$$m = m_0 - aB \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana m_0 adalah jumlah *frinji* interferensi sebelum dikenakan medan, dan a merupakan parameter yang tergantung dari ukuran sampel, konsentrasi, sifat polarisabilitas, dan panjang gelombang sumber yang digunakan.

METODE PERCOBAAN

Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah air mineral, dan larutan NaCl (1%, 2%, dan 3%). Wadah untuk sampel berupa kaca kubus ukuran $(4,1 \times 4,1 \times 4,1) \text{ cm}^3$. Dalam kasus ini, semua sifat taklinier efektif praktis dianggap dari sampel.

Medan Magnet Luar

Untuk memperoleh sifat nonlinier yang cukup signifikan, diperlukan medan magnet yang kuat. Hal ini diperoleh dengan kumparan yang mempunyai 6625 lilitan, panjang 6,1 cm, diameter kawat 0,3 cm, dan dialiri arus listrik AC maksimum 5 A. Hasil pengukuran dengan Teslameter menunjukkan bahwa di pusat kumparan dihasilkan maksimal sekitar 0,049 T searah dengan berkas laser.

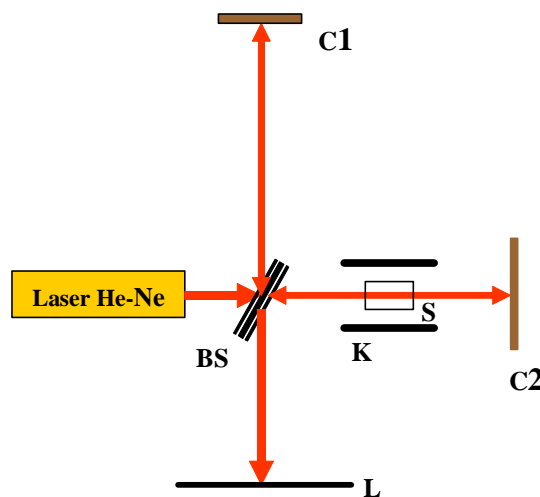
Pengukuran Sudut Polarisasi

Untuk mengamati perubahan sudut polarisasi dari berkas laser digunakan polarimeter dan analisator. Intensitas diukur menggunakan detektor fotodiode. Sumber penyinaran adalah Laser He-Ne 633 nm, 5 mW. Tahap awal pengujian sifat polarisasi menggunakan air mineral, dan terakhir larutan NaCl untuk berbagai

konsentrasi. Adapun skema pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.

Perhitungan Kedalaman *Frinji*

Sumber gelombang untuk pengamatan *frinji* interferensi adalah laser He-Ne 632,8 nm, 1 mW. Banyaknya *frinji* dihitung dari pusat lingkaran pola interferensi sampai radius 10 cm pada layar pengamatan. Skema uji interferometer Michelson dapat dilihat pada Gambar 2.

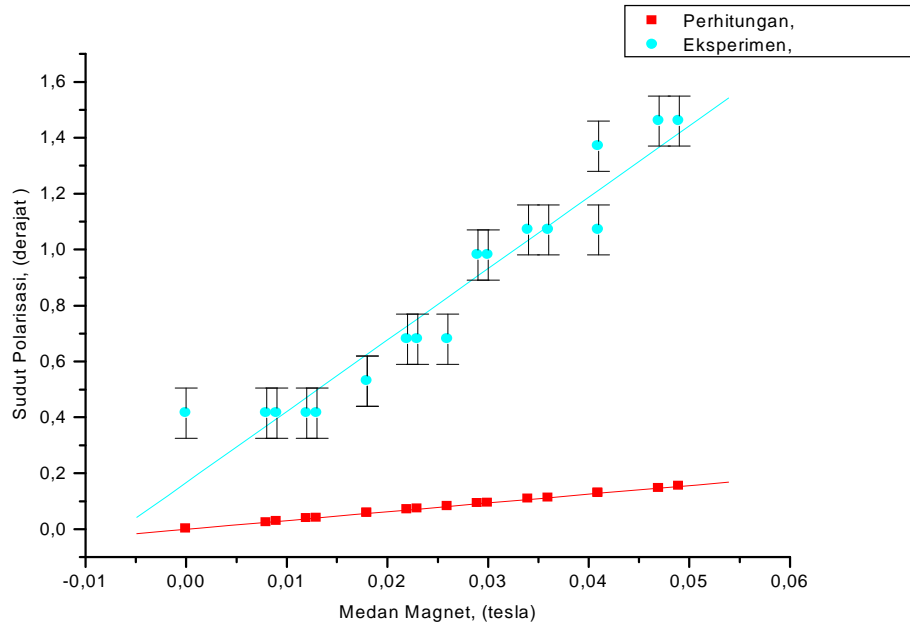


Gambar 2. Skema uji interferometer Michelson. BS = Beam Splitter, K = Kumparan, S = Sampel, C = Cermin datar, dan L = Layar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Optis Air Mineral dan Larutan Garam

Konstanta *Verdet* untuk air murni sebesar $2,183 \times 10^{-1} \text{ cm}^{-1}$ pada $\lambda = 580 \text{ nm}$ [2]. Bila digunakan persamaan (1) diperoleh nilai perubahan sudut polarisasi terhadap medan magnet B sebesar, $\beta = 3,122 \cdot B$. Hasil percobaan untuk air mineral diperoleh $\beta = 25,52 \cdot B + 0,17$ pada $\lambda = 633 \text{ nm}$ seperti terlihat pada Gambar 3 dengan nilai konstanta *Verdet* sebesar $(21 \pm 1) \times 10^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Disimpulkan bahwa kenaikan perubahan sudut polarisasi yang cukup besar dihasilkan oleh molekul garam atau mineral yang ada pada air mineral. Hal ini dapat



Gambar 3. Grafik β vs B hasil percobaan untuk air mineral (\bullet , $\beta=25,52B+0,17$ pada 633 nm) dan hasil teoritik untuk air murni (\square , $\beta=3,13B$, pada 580 nm [2])

dibuktikan secara signifikan pada larutan NaCl. Perubahan linier terhadap B juga ditunjukkan untuk berbagai konsentrasi bila dilewatkan seberkas laser (Gambar 4).

Perubahan Beda Fase Terhadap B

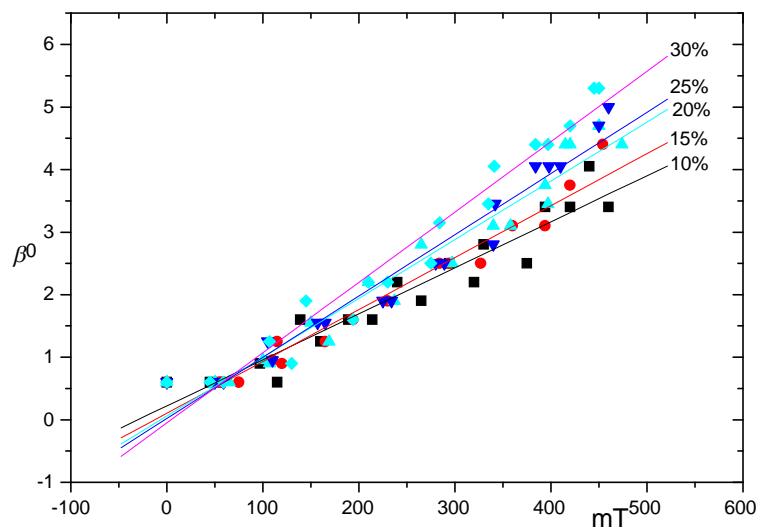
Dalam penelitian, sangat sulit menghitung jumlah *frinji* yang ke luar atau masuk saat B divariasikan. Hanya dapat mengukur perubahan fasa terhadap B pada kondisi awal dan sesaat setelah dikenakan medan magnet. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa jumlah *frinji* sesaat berkurang secara bertahap dengan kenaikan B .

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan grafik perubahan beda fasa interferensi terhadap medan magnet untuk air mineral dan larutan NaCl. Beda fasa

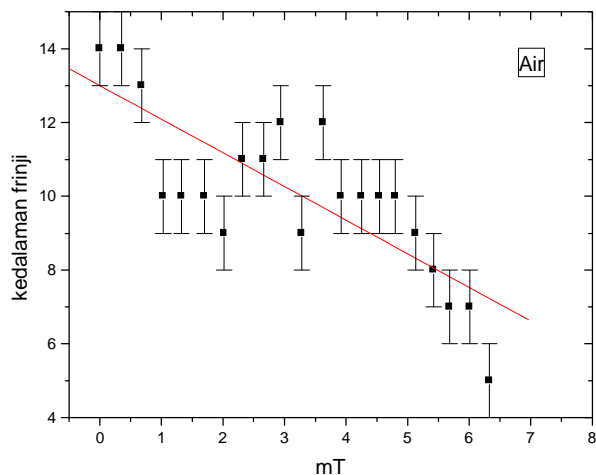
dinyatakan dalam kedalaman *frinji*, m , dan besar medan magnet dalam mT.

Secara keseluruhan, kesalahan pengukuran terletak pada pengabaian wadah sampel dan pembacaan jumlah *frinji*, mengingat intensitas laser yang hanya 1 mW, berakibat pada kurang tajamnya pola-pola interferensi. Namun demikian, jumlah *frinji* untuk tiap jarak 10 cm dihitung dari pusat masih dapat dihitung dengan kesalahan 0,5 sampai 1. Grafik Gambar 5 dan Gambar 6 secara eksperimen masih bersesuaian dengan hasil hipotesa pada persamaan (2), dengan gradien negatif. Juga ditunjukkan bahwa kenaikan B , beda fasa akan berkurang secara signifikan.

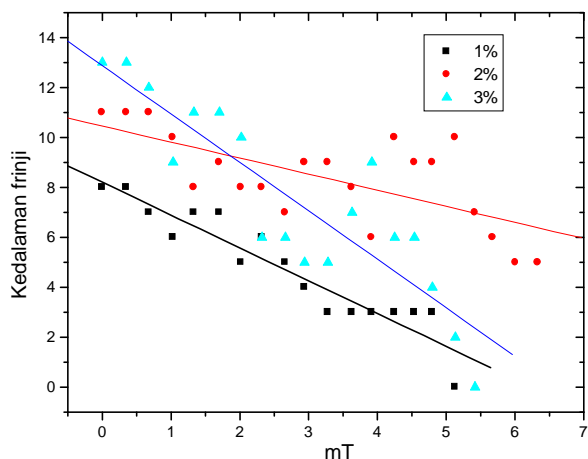
Aspek lain adalah parameter a pada persamaan (2). Nilai kuantitas itu konstan terhadap B , namun tergantung dari ukuran, konsentrasi,



Gambar 4. grafik β vs B untuk larutan NaCl berbagai konsentrasi



Gambar 5. Perubahan beda fasa terhadap medan magnet dinyatakan oleh kedalaman *frinji* terhadap B untuk bahan air mineral. Titik potong dengan sumbu, $m_0 = 13,0 \pm 0,6$, gradient $a = -0,9 \pm 0,2$



Gambar 6. Perubahan beda fasa terhadap medan magnet dinyatakan oleh kedalaman *frinji* m sebagai fungsi B untuk larutan NaCl berbagai konsentrasi.

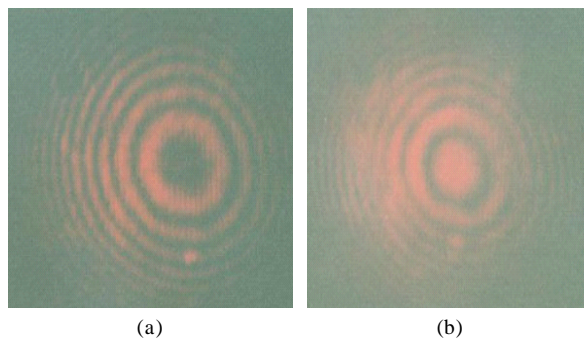
polarisabilitas, dan juga panjang gelombang yang digunakan. Hal yang perlu ditambahkan adalah desain ulang bagaimana wadah sampel dimodifikasi untuk beberapa ukuran. Penambahan konsentrasi sampai beberapa orde di atas 5% atau lebih belum dapat dimanfaatkan karena banyaknya intensitas cahaya yang terserap. Perlu adanya penambahan daya laser yang digunakan, juga variasi panjang gelombangnya.

Kedalaman *Frinji*

Pada lampiran ditampilkan gambar pola *frinji* beberapa sampel tanpa medan dan saat dikenakan medan. Tidak semua hasil kami tampilkan mengingat pengambilan gambar dalam ruang gelap yang cukup sulit, sehingga beberapa gambar tidak terekam dengan baik.

Secara umum, dengan kenaikan medan, banyaknya *frinji* yang dihasilkan semakin berkurang, hal ini ditunjukkan dengan kualitas tampilan *frinji* yang semakin membesar.

Gambar 7 memperlihatkan contoh hasil tampilan *frinji* pada sampel air untuk dua kondisi berbeda. Terlihat bahwa kualitas *frinji* sebelum dan saat diberikan medan magnet berbeda. Secara umum, kondisi sebelum ada B , jumlah *frinji* banyak dan rapat. Saat dikenakan B , jumlah *frinji* berkurang. Foto-foto pola *frinji* untuk beberapa larutan dapat dilihat pada Gambar 7[12].



Gambar 7. Contoh pola *frinji* pada air mineral. (a), $B = 0$, (b) $B = 2,02$ mT

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Metode pengukuran sifat optis taklinier dengan mengamati perubahan arah getar medan listrik dari laser setelah berinteraksi dengan media air mineral memberikan konstanta *Verdet* $V = (21 \pm 1)^{\circ}T^{-1} \text{ cm}^{-1}$ pada kondisi percobaan.

Perubahan arah getar medan listrik dari laser setelah berinteraksi dengan larutan NaCl juga bertambah secara linier dengan meningkatnya medan magnet. Metode ini secara kualitatif juga menunjukkan adanya perubahan indeks bias dengan kenaikan B , yang ditunjukkan dengan berkurangnya intensitas transmisi.

Dengan pengukuran interferometer *Michelson* dapat disimpulkan bahwa perubahan beda fasa secara linier terhadap B . Jumlah *frinji* sebagai fungsi B masih dalam orde satu (linier) sesuai dengan hipotesis pada persamaan (2) menunjukkan perubahan indeks bias bahan terhadap B .

Saran

Beberapa saran untuk memperoleh hasil yang optimal adalah, (a) pengukuran intensitas transmisi yang lebih teliti, (b) pengukuran β dari intensitas refleksi, (c) perlu pengukuran beda fase yang lebih teliti misalkan dengan teknik ESPI (d) arah medan magnet luar tegak lurus terhadap berkas cahaya, (e) pengujian menggunakan medan listrik statis ataupun bolak-balik,

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Pak Gunadi yang telah meminjamkan kameranya sehingga pengambilan gambar pada ruang gelap dapat berlangsung dengan baik.

DAFTAR ACUAN

- [1]. HECHT, EUGENE. *Optics*, 2nd Ed., Addison-Wesley, 1992.
- [2]. PEDROTTI, FRANK L., S.J. LENO S. PEDROTTI. *Introduction to Optics*, 2nd Ed, Prentice Hall, New Jersey (1993) 411-419 dan 541-559
- [3]. MILLS, D.L. *Nonlinear Optics*. Springer -Verlag. Bab 1. (1991)
- [4]. BUTCHER, P.N. and D. COTTER. *The Elements of Nonlinear Optics*. Cambridge University Press. (1990)
- [5]. YARIV, AMNON. *Optical Electronic*, 3rd Ed., HOLT, RINEHART and WINSTON, New York, chapter 8-9, (1985)
- [6]. KAMINOV, IVAN P. *An Introduction to Electrooptic devices*. Academic Press, New York, chapter 3, (1974)
- [7]. FIRDAUSI, K. SOFJAN, K. KNEIPP, K. GUELDNER, R. LIEDTKE, *Berkala Fisika*, **4**(1), (2000)
- [8]. OKTAVIAN, YOPIE. Karakteristik Polarisabilitas Bahan Dielektrik KH_2PO_4 Terhadap Perubahan Konsentrasi, *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA UNDIP, (2002)
- [9]. OKTAVIAN, YOPIE, W. SETIABUDI, PRIYONO. *Berkala Fisika*, **5** (4) (2002)
- [10]. MULYADI. Pengaruh Perubahan Frekuensi Medan Bolak-Balik Terhadap Karakteristik Permittivitas Relatif Bahan Dielektrik KH_2PO_4 , *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA UNDIP, 2004.
- [11]. WARDAYA, K. SOFJAN FIRDAUSI, *Berkala Fisika*, (2004)
- [12]. SULISTYABUDIWATI, Analisis Pengaruh Medan Magnet Terhadap Indek Bias Bahan Transparan Menggunakan Interferometer Michelson, *Skripsi*, Jurusan Fisika FMIPA UNDIP, (2005)