

ANALISIS PENGARUH MEDAN MAGNET EKSTERNAL TERHADAP PERUBAHAN POLARISASI SINAR LASER PADA LARUTAN GULA PASIR DAN LARUTAN GARAM INGGRIS

ANALYSIS INFLUENCE OF EXTERNAL MAGNETIC FIELD TO CHANGE OF POLARIZATION LASER RAY AT SUGAR SAND SOLUTION AND SALT of ENGLAND (MgSO₄) SOLUTION

By Thithit Romadhona; M. Azam, M.Si; Drs. K. Sofyan F

ABSTRACT

Have been done by experiment concerning influence of external magnetic field to laser ray polarization angle at transparent materials. Transparent materials used is sand sugar solution and MgSO₄ solution with a few concentrations (5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, and 35 %)

Maximum magnetic field used 178 mT. The magnetic field yielded from girded enamel wire to soft magnetic with 810 coils, the circumferences of enamel wire is 0.8 mm, flowed by maximum AC current 2 A. In this research will be studied the vibration direction rotation of electric fields β from transmitted laser trace of external magnetic fields in the transparent material, the laser light passing by Polarisator and the different of β have analyzed on Analisator.

From measurement at all of solution, result of obtained experiment show tendency similar with theory. That is more bigger magnetic field given also change of polarization angle more bigger too. Result of experiment also indicate if solution concentration more bigger also change of polarization angle more bigger too. The different of polarization angle can knowed with change value of gradient, the gradient value from MgSO₄ solution for magnetic field equal 178 mT, concentration 35 %, and the direction vibration light parallel with the magnetic field is $0,103 \pm 0,015$ °/mT. Mean while the gradient value from sugar solution with the same marking is $0,085 \pm 0,013$ °/mT.

Keywords: polarization, magnetic field, soft magnetic, laser

I. Latar Belakang

Sifat-sifat optis non linier seperti suseptibilitas, absorpsi, refleksi, transmisi, reflektansi, dan sebagainya pasti akan dimiliki oleh suatu bahan. Suatu bahan tersebut akan mempunyai sifat-sifat optis non linier bila bahan tersebut dikenai suatu cahaya dengan intensitas yang sangat tinggi seperti laser daya tinggi. Pemberian medan listrik dan medan magnet luar pada bahan dalam orde yang cukup besar juga akan menyebabkan suatu bahan mengalami perubahan sifat-sifat optis. Yaitu semakin besar medan magnet/medan listrik semakin besar maka intensitas cahaya akan menjadi

lebih besar, sehingga bila intensitas cahaya yang sangat besar tersebut mengenai suatu medium optis maka sifat-sifat linier optis tidak berlaku lagi karena peristiwa-peristiwa optis seperti indeks bias bergantung pada besarnya medan magnet/medan listrik yang diberikan. Dalam hal ini prinsip-prinsip superposisi yang dipenuhi oleh dua gelombang harmonik yang saling berinterferensi tidak akan berlaku lagi di dalam kasus optik non linier ini (Pedrotti, 1993).

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Polarisabilitas Bahan

Jika bidang elektrik tidak statis, tetapi terdiri dari bidang yang berubah, dipol, ion dan elektron akan mencoba untuk mengikuti perubahan pada arah bidang dan bergerak bolak balik. Efek ini digunakan dalam oven gelombang mikro, yang membombardir isi dengan radiasi pada frekuensi sekitar 100Hz. Karena bidang elektrik terapan berubah arah, dipol, khususnya yang dihubungkan dengan molekul air, berorientasi ulang bolak-balik. Gerakan kontinu ini memanaskan makanan dalam oven. Namun demikian, gerakan dibatasi untuk dipol molekul dan ketika frekuensi dari bidang elektrik yang dipakai menjadi jauh lebih besar dari frekuensi gelombang mikro, berbagai kontribusi dipol hilang karena bidang elektrik sekarang berubah terlalu cepat baginya untuk dipertahankan.

Besarnya polarisabilitas turun pada bidang yang lebih rendah. Ketika frekuensi bidang mencapai frekuensi dekat radiasi infra merah bahkan ion paling ringan tidak lagi dapat bergerak bolak balik dengan cukup cepat dan kontribusinya pada polarisabilitas sekarang hilang. Namun demikian elektron dapat mengikuti osilasi dari bidang elektrik yang bervariasi pada frekuensi yang tampak dan ultraviolet, dan ini adalah frekuensi yang paling penting dalam produksi warna. Respon elektron pada bidang elektrik yang berganti disebut polarisabilitas elektronik.

Polarisasi sebesar P , diberikan dengan persamaan:

$$P = E\epsilon_0\chi \quad (2.1)$$

dengan ϵ_0 dan χ berturut-turut menyatakan permitivitas dari ruang bebas dan kerentanan/suseptibilitas dielektrik. Indeks refraktif dari suatu bahan, n_r , adalah refleksi dari polarisabilitas elektroniknya (Pedrotti, 1993).

2.2 Ketidaklinieran Optik

Apabila cahaya dengan medan listrik yang cukup besar mengenai medium optis dengan suseptibilitas, akan menghasilkan polarisasi yang sebanding dengan medan listriknya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya peristiwa kenonlinieran optik (Pedrotti, 1993).

Efek yang muncul karena adanya interaksi cahaya dengan materi transparan melibatkan polarisasi elektronik dengan bidang elektrik dari gelombang cahaya. Untuk sinar cahaya dari intensitas biasa, polarisasi P , adalah fungsi linier dari bidang elektrik.

Apabila cahaya dengan medan yang cukup besar mengenai medium dengan suseptibilitas χ akan menghasilkan polarisasi P sebesar persamaan (2.1). Dari persamaan (2.2) di bawah ini, orde pertama merupakan kontribusi optik linier, sedangkan orde kedua dan selanjutnya merupakan kontribusi dari optik non linier (Jenkins, 1957).

Apabila suseptibilitas χ menjadi fungsi yang non linier terhadap medan listrik maka persamaan (2.11) berubah menjadi:

$$P = \epsilon_0(\chi_1 E + \chi_2 E^2 + \chi_3 E^3 + \dots) \quad (2.2)$$

dengan $\chi_{(1)}$ adalah kerentanan dielektrik linier, $\chi_{(2)}$ kerentanan dielektrik urutan kedua, $\chi_{(3)}$ kerentanan dielektrik urutan ketiga dan sebagainya. Polarisasi tidak lagi merupakan fungsi linier sederhana dari bidang elektrik.

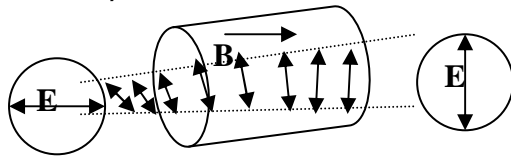
2.3 Efek Faraday

Dalam eksperimennya, Faraday menyimpulkan bahwa perubahan indek bias dari bahan juga sebanding dengan perubahan medan magnet yang dikenakan ($\Delta n \sim B$).

Dalam penelitian ini Faraday meletakkan sebuah bahan transparan di dalam suatu medan magnet yang cukup besar. Kemudian seberkas cahaya dilewatkan melewati bahan tersebut dan ternyata cahaya tersebut terpolarisasikan sebesar β . Dari eksperimen ini, Faraday

merumuskan bahwa perubahan polarisasi akan sebanding dengan perubahan medan magnet yang mengenai bahan.

$$\beta = VBd \quad (2.3)$$



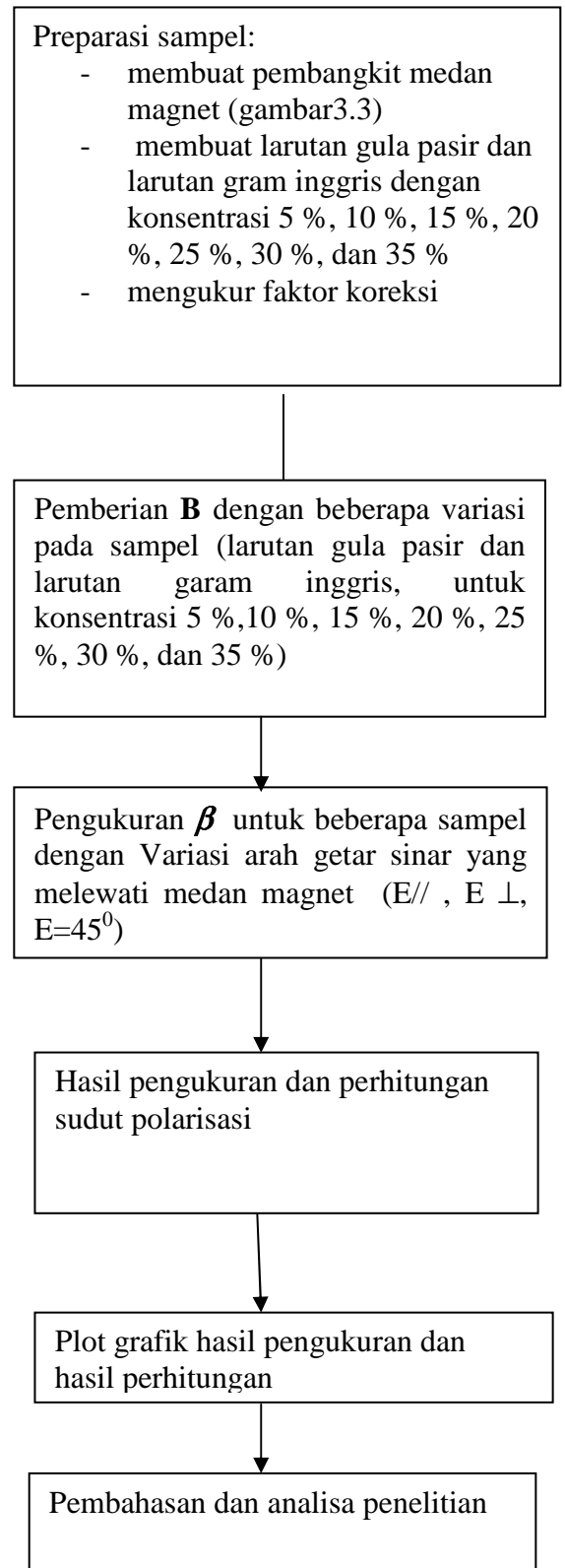
Gambar 2.9 rotasi cahaya terpolarisasi dalam medium termagnetkan (Pedrotti, 1993)

Dengan E , B , V , d berturut-turut adalah perubahan arah getar cahaya, medan magnet ($1T = 10^4$ G), konstanta Verdet (min/G-cm), tebal lintasan (cm). Cahaya sebagaimana dikenal sebagai gelombang elektromagnetik apabila melewati suatu bahan, maka cahaya tersebut akan memindahkan kabut elektron di sekeliling inti atom. Akibatnya, kecepatan cahaya akan menjadi lebih kecil daripada kecepatan cahaya di dalam vakum. Perubahan kecepatan cahaya dalam bahan ini akan merubah dari arah cahaya serta akan mengakibatkan perubahan indeks bias dari bahan. Menurut hukum Snellius, indeks bias bahan berbanding terbalik dengan kecepatan cahaya dalam bahan. Hal ini berarti jika medan magnet yang diberikan kepada bahan semakin besar, maka polarisasi juga akan semakin besar dan polarisasi yang semakin besar ini akan membuat kecepatan cahaya dalam bahan justru akan semakin kecil. Kejadian ini akan mengakibatkan indeks bias bahan akan mengalami perubahan yang semakin besar (Suidia, 1999).

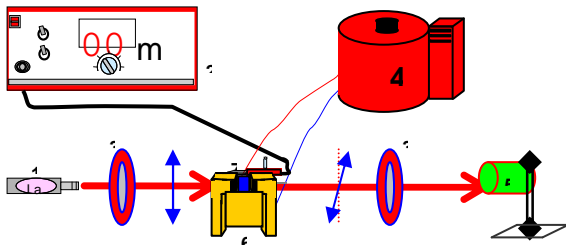
3. Metodologi Penelitian

Pengukuran polarisasi cahaya ini dilakukan dengan memberikan medan magnet yang divariasikan kepada larutan, dengan arah sinar yang melewati sampel diarahkan sejajar dengan medan magnet $E=0^\circ$, sinar membentuk sudut 45° terhadap medan magnet $E=45^\circ$, dan sinar tegak lurus terhadap medan magnet $E=90^\circ$. Eksperimen diulang untuk konsentrasi dan jenis larutan yang berbeda. Kemudian dibuat grafik hubungan medan magnet dan

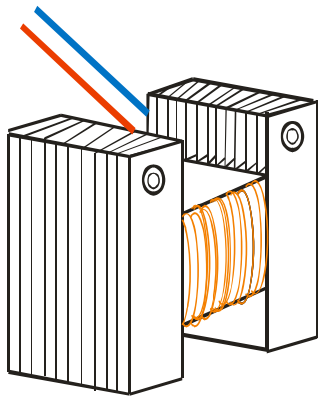
polarisasinya (β). Berikut gambar diagram kerja penelitian dan skema alat penelitian:



Gambar 3.1 skema kerja penelitian



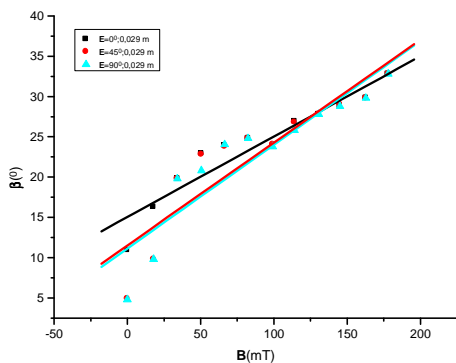
Gambar 3.2 skema alat penelitian, Keterangan gambar: 1. Laser; 2. Teslameter; 3. Polarisator dan Analisator; 4. Slide regulator; 5. Detektor; 6. Kumparan; 7. Sampel



Gambar 3.3 Kumparan tampak samping kiri

4. Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan pengaruh medan magnet B , ketika cahaya sinar laser dengan panjang gelombang 632,8 nm dilewatkan dalam medium larutan $MgSO_4$ diperoleh gambar grafik sebagai berikut :

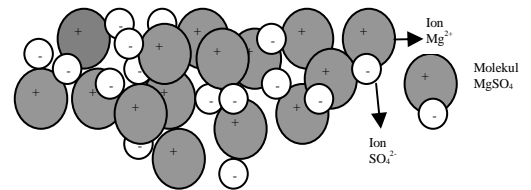


Gambar 4.1 grafik hubungan B vs β dengan $E//$, $E=45^\circ$, $E\perp$, dengan konsentrasi larutan 0,029 molal/35% untuk larutan $MgSO_4$

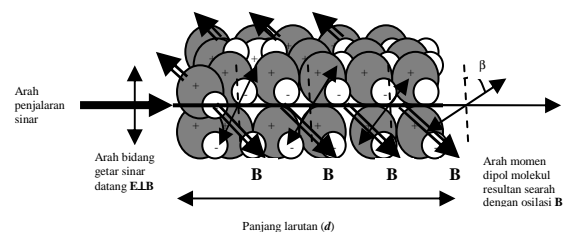
Tabel 4.3 Gradien grafik hubungan B vs β dengan $E//$, $E=45^\circ$, $E\perp$, dengan konsentrasi larutan 0,029 molal/35% untuk larutan $MgSO_4$

No	E ($^\circ$)	Gradien ($^\circ/mT$)	R	R^2
1.	0	$0,099 \pm 0,011$	0,95	0,91
2.	45	$0,12 \pm 0,018$	0,91	0,82
3.	90	$0,13 \pm 0,017$	0,91	0,82

Perbedaan nilai gradien disebabkan oleh penyearahan dipol-dipol yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.1(a) dan 4.1(b) dibawah ini:



Gambar 4.1 (a) keacakan distribusi molekul Nacl pada larutan garam membuat momen dipol antar molekul saling meniadakan

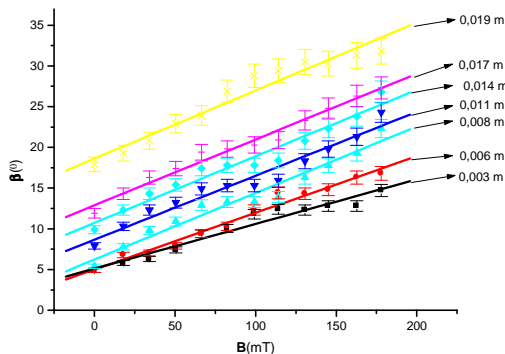


Gambar 4.1 (b) proses perputaran bidang getar sinar ketika melewati larutan $MgSO_4$ yang terimbas medan magnet

Pada gambar 4.1(a) terlihat bahwa sebelum larutan $MgSO_4$ medan magnet ($B=$

0 mT) dipol-dipol dalam larutan terlihat acak atau random dan cenderung saling berjauhan. Tetapi ketika larutan $MgSO_4$ mulai diberi medan magnet maka lama-kelamaan dipol-dipol tersebut akan terimbas yaitu dengan adanya momen dipol, dipol-dipol tersebut akan teratur dan berosilasi bolak-balik mengikuti pergerakan medan magnet yang mengimbasnya. Dalam grafik diatas perubahan sudut polarisasi terbesar terjadi pada saat arah getar sinar tegak lurus dengan medan magnet, karena jika arah medan magnet sejajar dengan bahan sedangkan arah getar sinar tegak lurus dengan bahan maka sinar laser yang masuk akan cenderung disearahkan oleh medan magnet.

Hasil eksperimen pengaruh medan magnet terhadap perubahan polarisasi adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2.1 grafik hubungan β dengan B larutan gula pasir dengan beberapa konsentrasi untuk E//

Tabel 4.2.1 gradien grafik hubungan β dengan B larutan gula pasir dengan beberapa konsentrasi untuk E//

No	Konsentrasi (molal)	Gradien ($^{\circ}/mT$)	R	R ²
1.	0,003	0,054 ± 0,019	0,92	0,84
2.	0,006	0,071 ± 0,011	0,96	0,92
3.	0,008	0,079 ± 0,012	0,97	0,94

4.	0,011	0,081 ± 0,013	0,95	0,91
5.	0,014	0,082 ± 0,012	0,91	0,82
6.	0,017	0,083 ± 0,012	0,98	0,96
7.	0,019	0,085 ± 0,013	0,97	0,94

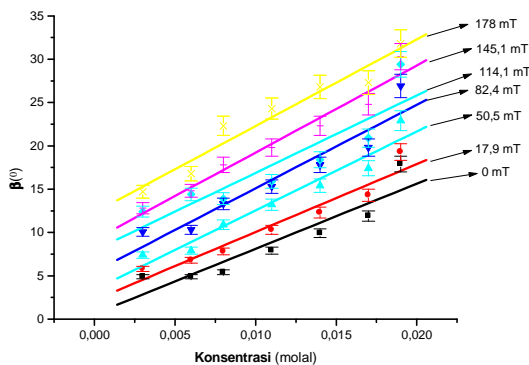
Dari grafik diatas dapat diamati perubahan nilai sudut polarisasi sebelum dikenakan medan magnet B maupun sesudah dikenakan medan magnet B mengalami kecenderungan berubah. Perubahan tersebut dapat diketahui pada perubahan nilai gradien yang dapat dilihat pada tabel 4.2.1.

Pada saat larutan gula pasir dalam keadaan tanpa medan atau $B = 0$ mT sudut polarisasi sudah mengalami perubahan yang sangat signifikan. Perubahan sudut polarisasi tersebut disebabkan oleh sifat dari larutan gula pasir yang mempunyai sifat optis aktif. Gula merupakan senyawa yang merupakan karbohidrat, menurut referensi semua jenis karbohidrat mempunyai sifat optis aktif. Walaupun kemampuan untuk memutar sinar atau cahaya yang melewati bahan tersebut tidaklah sama.

Sifat optis aktif yang terdapat pada karbohidrat berasal dari struktur molekul karbohidrat tersebut. Struktur molekul karbohidrat dalam hal ini adalah larutan gula mempunyai gugus atom C (karbon) yang asimetris, struktur tersebut mengikat atom/gugus yang berlainan dan membentuk dua ikatan yang sama besar yaitu sebesar 109° . Ikatan inilah yang menyebabkan bentuk struktur molekul gula berbentuk helix / terpilin. Sehingga bila ada suatu sinar atau cahaya yang melewati larutan tersebut akan diputar terus menerus mengikuti alur dari bentuk molekul gula tersebut (Poedjiani).

Pada saat larutan gula dikenakan medan magnet B juga terjadi perubahan sudut polarisasi, larutan gula terbuat dari pecampuran gula dan air. Di dalam larutan tersebut tidak terjadi pembentukan senyawa baru melainkan hanya terjadi ikatan antara atom-atom H dan O. Air merupakan senyawa elektrolit dan bila larutan tersebut dikenakan medan magnet atau medan listrik larutan tersebut akan terimbas, karena akan terjadi momen dipol dalam larutan yaitu interaksi antar dipol yang akan menyebabkan perubahan sudut polarisasi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada polarisasi larutan $MgSO_4$.

Dalam tabel 4.2.1 dapat diketahui juga setiap penambahan konsentrasi juga terjadi peningkatan nilai gradien ini berarti menunjukkan bahwa konsentrasi juga berpengaruh terhadap perubahan sudut polarisasi.



Gambar 4.2.2 grafik hubungan β dengan konsentrasi larutan gula pasir dengan beberapa medan magnet untuk $E//$

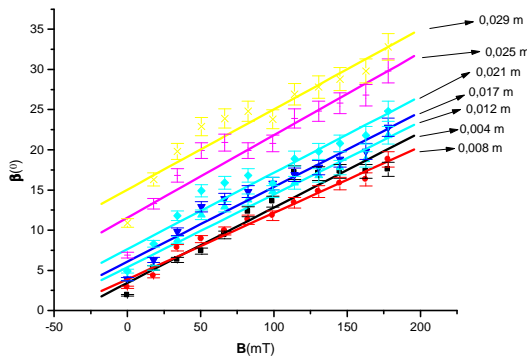
Tabel 4.2.2 gradien grafik hubungan β dengan konsentrasi larutan gula pasir dengan beberapa medan magnet untuk $E//$

No	Medan magnet (mT)	Gradien ($^{\circ}/m$)	R	R^2
1.	0	750 ± 110	0,92	0,84
2.	17,9	780 ± 91	0,96	0,92
3.	50,5	910 ± 72	0,97	0,94
4.	82,4	960 ± 120	0,95	0,91
5.	114,1	960 ± 91	0,91	0,82
6.	145,1	1100 ± 150	0,98	0,96
7.	178	1200 ± 110	0,97	0,94

Ketika larutan gula dalam keadaan tanpa medan magnet, gradien akan berubah seiring dengan bertambahnya konsentrasi. Karena semakin tinggi konsentrasi akan mengakibatkan bertambahnya jumlah molekul gula semakin banyak, yang berarti struktur gula terpilin semakin banyak juga, dan bila cahaya laser melewati larutan cahaya tersebut akan diputar mengikuti alur struktur gula yang terpilin.

Pada saat medan magnet diberikan dan konsentrasi bertambah, gradien juga bertambah, seperti yang dijelaskan diatas jika konsentrasi bertambah maka jumlah molekul juga akan bertambah. Dalam hal ini dipol-dipol dalam larutan gula juga bertambah yang akan menyebabkan berubahnya sudut polarisasi larutan.

Perubahan sudut polarisasi terhadap medan magnet juga terjadi pada larutan $MgSO_4$, seperti dapat dilihat pada gambar 4.3 (a). Kenaikan sudut polarisasi pada sinar laser, sebanding dengan besar pemberian medan magnet luar pada larutan $MgSO_4$. Pada gambar 4.3 (a), juga kenaikan konsentrasi merupakan faktor kenaikan sudut polarisasi.



Gambar 4.3 (a) grafik hubungan β dengan B larutan $MgSO_4$ dengan beberapa konsentrasi untuk E//

Tabel 4.3 (a) gradien grafik hubungan β dengan B larutan $MgSO_4$ dengan beberapa konsentrasi untuk E//

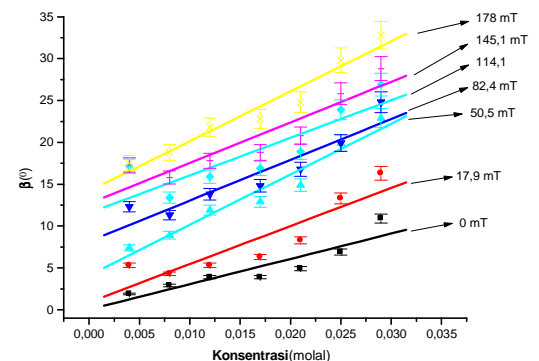
No	Konsentrasi (molal)	Gradien ($^{\circ}/mT$)	R	R^2
1.	0,004	$0,093 \pm 0,012$	0,96	0,92
2.	0,008	$0,085 \pm 0,012$	0,99	0,98
3.	0,012	$0,094 \pm 0,012$	0,98	0,96
4.	0,017	$0,095 \pm 0,014$	0,97	0,94
5.	0,021	$0,099 \pm 0,016$	0,96	0,92
6.	0,025	$0,110 \pm 0,013$	0,95	0,91

7.	0,029	$0,130 \pm 0,015$	0,95	0,91
----	-------	-------------------	------	------

Larutan $MgSO_4$ juga merupakan larutan elektrolit yaitu elektrolit kuat, karena tersusun dari logam alkali tanah. Sifat logam alkali adalah sebagai penghantar listrik yang baik atau dengan kata lain bersifat konduktor, dengan demikian larutan tersebut mengandung dipol-dipol listrik. Struktur molekul $MgSO_4$ yang tidak simetri akan mengakibatkan setiap sel satuan bersifat dwikutub, ketika medan magnet/listrik diberikan maka muatan positif akan tertarik ke elektroda ujung negatif dan muatan negatif akan tertarik ke elektroda ujung positif. Hal inilah yang menyebabkan perubahan dimensi molekul larutan $MgSO_4$ dan akan mampu untuk memutar sudut polarisasi.

Ketika larutan tersebut diberikan medan magnet maka akan terjadi interaksi antara molekul air dan medan magnet, yang menyebabkan terjadinya interaksi antar dipol, yaitu adanya momen dipol. Momen dipol inilah yang membuat keteraturan dipol-dipol. Dipol-dipol tersebut yang akan menyelaraskan arah sinar mengikuti arah medan yang mengimbas larutan.

Pada larutan $MgSO_4$ juga terjadi perubahan sudut putar jika konsentrasi juga berubah, seperti yang terdapat pada gambar 4.3 (b)



Gambar 4.3 (b) grafik hubungan β dengan konsentrasi larutan $MgSO_4$ dengan beberapa medan magnet untuk E//

Tabel 4.3.(b) gradien grafik hubungan β dengan konsentrasi larutan $MgSO_4$ dengan beberapa medan magnet untuk E//

No	Medan magnet (mT)	Gradien ($^{\circ}/m$)	R	R^2
1.	0	320 ± 53	0,91	0,82
2.	17,9	450 ± 61	0,91	0,82
3.	50,5	630 ± 52	0,98	0,96
4.	82,4	540 ± 62	0,93	0,86
5.	114,1	520 ± 53	0,86	0,73
6.	145,1	550 ± 41	0,91	0,82
7.	178	680 ± 61	0,97	0,94

Dapat dilihat kenaikan yang terjadi pada gambar 4.3(b) walaupun konsentrasi bertambah besar pada saat tanpa medan magnet kenaikan sudut polarisasi meningkat tetapi tidak begitu besar. Ketika medan magnet diberikan mulai terjadi perubahan sudut polarisasi yang cukup signifikan. Dalam hal ini jelas sifat keelektrolitan bahan yang besar membuat perubahan sudut polarisasi juga semakin besar

Konsentrasi yang besar berpengaruh pada jumlah molekul pada larutan, semakin tinggi konsentrasi semakin banyak dipol-dipol listrik yang terdapat di dalam larutan elektrolit. Jika diberikan medan magnet yang besar maka semakin banyak dipol-dipol tersebut akan terimbas dan jika semakin banyak dipo-dipol yang terimbas

arah getar sinar laser akan lebih lama diputar ketika melewati larutan tersebut , ini berarti perubahan sudut polarisasi yang akan terbaca pada analisator juga akan berubah semakin besar.

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sudut polarisasi sebagai fungsi medan magnet memperlihatkan kecenderungan bahwa jika medan magnet yang diberikan kepada bahan transparan semakin besar, maka akan didapatkan sudut polarisasi yang semakin besar pula. Untuk medan magnet maksimum 178 mT
2. Sudut Polarisasi sebagai fungsi konsentrasi juga memperlihatkan kecenderungan apabila konsentrasi larutan semakin besar, maka sudut polarisasi yang terjadi jika bahan transparan tersebut diberikan medan magnet juga akan semakin besar. Untuk konsentrasi larutan hingga 35 %.
3. Larutan elektrolit maupun larutan non elektrolit akan mampu memutar sudut polarisasi sesuai dengan besarnya medan magnet yang diberikan, sedangkan larutan elektrolit memutar lebih besar dibandingkan dengan larutan non elektrolit, hal ini disebabkan sifat keelektrolitannya yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, M. dan Finn E. J. 1992, *Dasar-Dasar Fisika Universitas* (terjemahan) edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Beiser, A. 1995, *Konsep Fisika Modern* (terjemahan The Houw Liong), Edisi 3. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Crawford, Frank S, Jr. 1968, *Waves (berkeley physics course-vol 3)*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Djuhana, D, 2000, *Polarisasi*, Departemen Fisika FMIPA-UI, Jakarta.
- Halliday, D, Resnick, R, 1996, *Fisika jilid 2 edisi ketiga*. Erlangga, Jakarta.
- Jenkins, F, A & White, H, E, 1957, *Fundamental of Optics*, McGraw-Hill bokk Company, Inc. Tokyo.
- Kerr, P, F, 1992, *Mineralogi Optik* (Edisi terjemahan), Dewan Bahasa dan Pustaka Kementrian Pendidikan Malaysia, Kuala Lumpur.
- Krane, K, 1992, *Fisika Modern* (terjemahan Hans J. Wosparick), Jakarta, UI-press.
- K, Sofyan F., Sulistya B., Asep Y,W., Priyono, dan Wahyu S.B 2004, *Uji Interferometri bahan Transparan Dalam Medan Magne*, Berkala fisika, vol. 8, no.5.
- Oktavian, Y, W, Setia Budi, Priyono, 2002, *Karakteristik Polarisabilitas Bahan Dielektrik KH_2PO_4 Terhadap Perubahan Konsentrasi dan Temperatur*. Berkala Fisika, Vol.5, no.4.
- Pedroti, F, L. and L, S, Pedroti, 1993, *Introduction to Optics*, second edition, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.
- Poedjiani, A, 1994, *Dasar-Dasar Biokimia*, Penerbit UI, Jakarta.
- Rossi, B, 1962, *Optics*, Addison-Wesley Publishing Company Inc, London.
- Sears Z, 1987, *Fisika Untuk Universitas 3, Optika dan Fisika Modern*, Bina Cipta, Jakarta.
- Soedjojo, P, 2001, *Asas-Asas ilmu Fisika Jilid 4 Fisika Modern*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Suidia, T, dan Saito, S, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Edisi Keempat, PT Kradnaya Paramita, Jakarta.
- Tilley, R, 2000, *Colour And Optical Properties Of Materials*, John Wiley and Sons Ltd, England.
- Tipler, P, A, 1996, *Fisika Untuk Sains dan Teknik edisi ketiga*, Erlangga, Jakarta.
- Wangness, R, K, 1986, *Electromagnetic Fields 2nd edition*, John Wiley & Sons, New York.
- Widarsono, 2005, *Pengaruh Medan Magnet Terhadap Sudut Polarisasi Sinar Laser Pada Bahan Transparan*, Skripsi S1, Undip, Semarang.