

**PERBANDINGAN SIFAT OPTIS AKTIF  
LARUTAN GULA DAN GARAM DALAM MEDAN LISTRIK LUAR  
MENGUNAKAN LASER DIODA**

**Oleh:  
Endri Ernawati, K.Sofjan Firdausi, Indras M  
Laboratorium Optoelektronik & Laser Jurusan Fisika FMIPA UNDIP**

**ABSTRACT**

*An experiment to study the optical properties of sugar and salt solutions using external electric field variation has been conducted.*

*The solution concentration used here 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, and 35% and a pair of parallel plates is connected to a high voltage source (0-10<sup>6</sup> V/m) to provide the electric field and diode laser with 645 nm wavelength and 5 mw power here also used. The optical properties studied is the electric field  $\beta$  vibrational rotation of a laser beam transmitted as a result of the given external electric field on transparent materials.*

*Results show that even without electric field present sugar solution does rotate the polarization angle, where as salt solution does not. Salt solution can only rotate polarization angle on the present of electric field*

*Keywords : external electric field, concentration, polarization, polarization angle*

**INTISARI**

Telah dilakukan penelitian sifat optis pada larutan garam dan gula dengan variasi medan listrik luar.

Penelitian dilakukan dengan variasi larutan 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dan medan listrik yang dikenakan pada plat sejajar yang dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi sebesar 0 sampai 10<sup>6</sup> V/m. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser dioda dengan panjang gelombang 645 nm dan daya 5 mW. Perilaku sifat optis yang dikaji dalam penelitian adalah pemutaran arah getar medan listrik  $\beta$  dari berkas sinar laser yang ditransmisikan karena pemberian medan listrik luar pada bahan transparan.

Dari penelitian diketahui bahwa tanpa medan listrik larutan gula memutar sudut polarisasi sedangkan pada larutan garam tidak bisa. Larutan garam dapat memutar sudut polarisasi bila mendapat medan listrik luar.

*Kata Kunci : medan listrik luar, konsentrasi, polarisasi, sudut polarisasi*

## PENDAHULUAN

Beberapa fenomena alam mengenai transmisi, refraksi, refleksi, superposisi dan refraksi ganda merupakan kasus-kasus optika non linier dengan perambatan cahaya dalam medium optis dinyatakan oleh suatu persamaan gelombang yang linier. Hal ini memberikan konsekuensi bila dua gelombang harmonis yang berpadu dalam suatu media akan memenuhi prinsip superposisi, merambat secara tetap. Jika suatu medium dikenai cahaya dengan intensitas yang cukup tinggi seperti laser dengan daya tinggi atau diletakkan dalam medan listrik luar (atau medan magnet) luar yang cukup besar, maka respon tak linier dari suatu media seperti suseptibilitas, indeks bias dan polarisabilitas akan tampak [7].

Fenomena optika non linier diakibatkan karena dua gelombang tidak lagi hanya saling berinteraksi, dalam artian cahaya satu berinteraksi dengan cahaya yang lainnya menghasilkan pola-pola interferensi, akan tetapi juga berinteraksi dengan medium yang dilaluinya [2].

Jika suatu cahaya dilewatkan pada dua buah polarisator maka intensitas cahaya yang ditransmisikan akan mencapai nilai maksimum bila arah

transmisi cahaya dari kedua polarisator tersebut saling sejajar. Sebaliknya akan dihasilkan intensitas minimum bila arah transmisi cahaya dari kedua polarisator saling tegak lurus. Namun apabila di antara kedua polarisator ini diberikan suatu medium transparan yang dikenai medan listrik luar maka dimungkinkan arah sudut polarisasi cahaya yang ditransmisikan oleh polarisator tersebut mengalami perubahan.

## Polarisasi Cahaya

Cahaya, seperti halnya semua radiasi elektromagnet, diramalkan oleh teori elektomagnetik sebagai gelombang transversal (*transverse wave*), yakni vektor listrik dan vektor magnet yang bergetar adalah tegak lurus kepada arah penjalaran dan bukan sejajar kepada arah penjalaran tersebut, seperti dalam sebuah gelombang longitudinal [1].

Pandang dua gelombang dalam vektor medan listrik:

$$\mathbf{E}_y = \mathbf{E}_{0y} \cos(kx - \omega t) \quad (2.1.a)$$

$$\mathbf{E}_z = \mathbf{E}_{0z} \cos(kx - \omega t + \varepsilon) \quad (2.1.b)$$

dengan  $\varepsilon$  adalah beda fase dua gelombang. Resultan dari dua gelombang tersebut adalah:

$$\mathbf{E}(x,t) = \mathbf{E}_y + \mathbf{E}_z = \mathbf{E}_{0y} \cos(kx - \omega t) + \mathbf{E}_{0z} \cos(kx - \omega t + \varepsilon) \quad (2.2)$$

Jika  $\varepsilon = \pm 2m\pi$ , dengan ( $m=0,1,2,3,\dots$ ) mempunyai fase yang sama, maka resultan dari dua gelombang tersebut adalah:

$$\mathbf{E}(x,t) = (\mathbf{E}_{0y} + \mathbf{E}_{0z}) \cos(kx - \omega t) \quad (2.3)$$

Menurut James Clerk Maxwell, gelombang elektromagnetik mempunyai kecepatan yang memenuhi persamaan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (2.4)$$

dengan  $\varepsilon_0$  adalah permitivitas ruang hampa dan  $\mu_0$  adalah nilai permeabilitas ruang hampa. Dari perhitungan yang dilakukan oleh Maxwell diperoleh bahwa besar kecepatan gelombang elektromagnetik adalah sama dengan  $3,00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$  [1].

### Aktivitas Optis

Aktivitas optik adalah kemampuan zat tertentu untuk memutar bidang cahaya terpolarisasi bidang pada saat cahaya melintas melalui kristal, zat cair

atau larutan. Hal ini terjadi bila molekul zat tidak simetris, sehingga molekul-molekul tersebut dapat memiliki dua bentuk struktur yang berbeda, masing-masing merupakan pencerminan yang lain. Kedua bentuk tadi adalah isomer optik (*optical isomers*) dan enansiomer (*enantiomers*). Keberadaan bentuk ini juga dikenal sebagai enansiomorfisme (*enantmorphism*) bayangan pencerminan merupakan enansiomorf (*enantiomorphs*). Salah satu bentuk akan memutar cahaya pada satu arah, sedangkan bentuk yang lain memutar dengan jarak yang sama namun dengan arah yang berlawanan. Kedua bentuk yang mungkin ini diterangkan sebagai putar kanan dan putar kiri menurut arah perputaran, dan akhiran  $-d$  dan  $-l$  masing-masing digunakan untuk menunjukkan isomer, seperti pada asam tartar- $d$  dan asam tartar- $l$ .

Molekul yang menunjukkan aktivitas optik tidak memiliki bidang simetri. Hal seperti ini yang paling umum adalah dalam senyawa organik dengan sebuah atom karbon terhubung pada empat kelompok yang berbeda. Atom jenis ini disebut pusat ulin (*chiral centre*). Molekul tak simetri tetapi menunjukkan aktivitas

optik dapat pula ditemukan dalam senyawa anorganik. Misalnya, suatu senyawa kompleks oktahedral, dengan ion pusat berkoordinasi dengan delapan ligan yang berbeda dapat bersifat optis aktif. Banyak senyawa ditemukan di alam menunjukkan isomerisme optik dan umumnya hanya satu isomer yang ada di alam. Misalnya, glukosa ditemukan dalam bentuk putar kanan [3].

### Medium Non Linear

Selain merupakan gelombang transversal gelombang elektromagnetik juga mempunyai ciri lain yaitu terpolarisasi bidang. Hal ini berarti bahwa getaran-getaran vektor  $\mathbf{E}$  adalah sejajar satu sama lain untuk semua titik di dalam gelombang tersebut. Di setiap titik tersebut maka vektor  $\mathbf{E}$  yang bergetar dan arah penjalaran membentuk sebuah bidang, yang dinamakan bidang getaran [1].

Fenomena non linier secara umum diakibatkan oleh ketidakmampuan dari dipol dalam medium optik untuk merespon secara linier dari medan listrik  $\mathbf{E}$  luar yang datang. Seperti ini atom yang terlalu masif dan elektron pada inti dalam yang terikat sangat kuat untuk merespon medan listrik dari cahaya yang mengenainya. Sehingga di sini elektron terluarlah yang bertanggung jawab

terjadinya polarisasi pada media optis akibat adanya medan  $\mathbf{E}$ . Bila  $\mathbf{E}$  yang mengenai cukup besar maka sifat optis bahan seperti suseptibilitas  $\chi$  menjadi fungsi yang nonlinier terhadap  $\mathbf{E}$  [4].

$$\chi = \chi_1 + \chi_2 \mathbf{E} + \chi_3 \mathbf{E}^2 + \dots \quad (2.7)$$

dengan  $\chi$  adalah koefisien yang berupa tensor.

Dengan cara Substitusi persamaan (2.7) ke persamaan (2.6) maka akan didapat hubungan antara  $\mathbf{P}$  dengan  $\mathbf{E}$  yang dapat dituliskan sebagai fungsi deret dari  $\mathbf{E}$  yaitu:

$$\mathbf{P} = \epsilon_0 \{ \chi_1 \mathbf{E} + \chi_2 \mathbf{E}^2 + \chi_3 \mathbf{E}^3 + \dots \} \quad (2.8)$$

dengan  $\chi_1$  adalah tensor suseptibilitas orde kesatu atau linier sedangkan  $\chi_2$ ,  $\chi_3$  dan seterusnya adalah tensor suseptibilitas orde kedua, ketiga dan seterusnya.

Dari persamaan (2.8) terlihat bahwa bila medan cukup kecil maka suku kedua dan selebihnya bisa diabaikan terhadap suku pertama, sehingga diperoleh relasi linier antara polarisasi terhadap medan listrik. Dan sebaliknya jika suatu bahan dikenai

medan yang cukup besar maka medium akan menjadi tidak linier.

### Efek Elektro Optis

Efek Kerr seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 terjadi jika medium isotropi diletakkan didaerah medan listrik yang kuat. Medium isotropi adalah suatu material yang apabila dilewati cahaya maka laju cahaya tersebut akan sama kesemua arah di dalam material tersebut. Pada efek ini, jika bahan tersebut diletakan di medan listrik yang kuat maka sifat optis (indeks bias) dari bahan akan berubah dari mula-mula tanpa adanya tegangan,  $n_0$  menjadi  $n$  setelah diberi tegangan  $V$ . Cahaya yang dilewatkan dalam hal ini laser biasanya juga akan mengalami perubahan arah polarisasi.

Secara eksperimen, efek Kerr dapat terjadi bila bahan diletakkan pada medan listrik yang arahnya tegak lurus dengan arahberkas sinar datang. Perubahan indeks bias yang terjadi akibat dikenakan medan sebesar  $\mathbf{E}$  adalah  $\Delta n$ . Medan listrik yang diterima menyebabkan *birefringence* dengan sumbu optik paralel dengan medan listrik yang diterima.

Selain terdapat perubahan indeks bias bahan, sinar laser yang dilewatkan pada bahan yang non linier akan

terpolarisasi (perubahan arah getar cahaya) akibat interaksi medan listrik imbas bahan dan medan listrik dari sinar laser yang datang. Jadi semakin besar medan listrik luar maka semakin besar pula perubahan sudut polarisasi dari laser.

$$\beta \sim |\mathbf{E}| \quad (2.9)$$

dengan  $\beta$  adalah perubahan sudut polarisasi sinar laser sedangkan  $\mathbf{E}$  adalah medan listrik luar. Persamaan tersebut telah dibuktikan dari hasil penelitian [5].

Pemberian medan listrik luar kepada bahan transparan akan mengakibatkan perpindahan dan deformasi dalam distribusi elektron dalam ion, dan posisi tempat ion dapat berubah sedikit. Jika momen dipol terbentuk dan meningkat sesuai dengan meningkatnya medan listrik, maka akan terjadi gejala polarisasi. Dalam bahan yang tidak mempunyai pusat simetri, tempat kation dikelilingi oleh anion yang pada umumnya bergeser dari titik pusatnya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya efek aktivitas optis [6].

## **Prosedur Penelitian**

### **Persiapan**

Penelitian ini dimulai dengan melakukan preparasi semua perlengkapan yang diperlukan dalam penelitian yaitu menyusun alat sebagai berikut: Sumber Cahaya yang digunakan adalah sinar laser Dioda dengan panjang gelombang 645 nm dan daya 5 mW. Polarisator yang digunakan dalam penelitian sebanyak dua buah. Polarisator-polarisator tersebut memiliki kedudukan yang berbeda, yaitu polarisator yang berfungsi untuk memilih arah medan listrik cahaya yang akan dilewatkan pada bahan transparan dan polarisator yang berfungsi untuk mengamati perubahan sudut polarisasi cahaya setelah melewati bahan transparan yang disebut analisator. Sumber Tegangan Tinggi berfungsi untuk menghasilkan tegangan tinggi (*DC*) yang menghasilkan tegangan maksimum sebesar 14 kV. Sumber tegangan tinggi ini dihubungkan dengan dua plat sejajar sehingga dapat menghasilkan medan listrik *E*. Multimeter Digital dengan merek Sanwa-CD 700E yang berfungsi sebagai penampil nilai keluaran dari sumber tegangan. Dua Plat Sejajar sebagai plat kapasitor dengan ukuran luas 7 cm X 7 cm. *Probe* (Pengali Tegangan) berfungsi untuk mengkonversi besarnya

tegangan yang keluar dari sumber tegangan tinggi, sehingga tegangan keluaran dapat dibaca oleh multimeter. Detektor Cahaya untuk mengukur intensitas relatif dari cahaya laser sebelum dan sesudah mengenai bahan, digunakan detektor cahaya dengan menggunakan LDR yang berbasis mikrokontroler. Kemudian membuat larutan gula dengan konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% dan larutan garam dengan konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35%. Setiap bahan tersebut akan diletakkan pada tempat bahan yang terbuat dari kaca preparat.

### **Kalibrasi**

kalibrasi yang dilakukan adalah melakukan observasi mengenai pengaruh medan listrik luar terhadap arah polarisasi cahaya untuk pengamatan tanpa menggunakan sampel yang akan digunakan dalam penelitian sebagai faktor koreksi untuk perubahan sudut putar polarisasi sinar laser ( $\beta$ ). Medan listrik yang digunakan dalam selang 0 hingga  $10^6$  V/m. Kemudian larutan gula dengan konsentrasi 5% diamati perubahan arah polarisasi cahaya setelah dilewatkan polarisator dengan

sudut  $0^\circ(\mathbf{E}//)$ ,  $10^\circ(\mathbf{E}_{10^\circ})$ ,  $20^\circ(\mathbf{E}_{20^\circ})$  sampai  $90^\circ(\mathbf{E}\perp)$ . Untuk observasi pada larutan gula dilakukan tanpa menggunakan medan listrik luar ( $\mathbf{E}=0$ ). Setelah cahaya laser melalui larutan gula, cahaya tersebut dianalisa perubahan arah polarisasinya dengan analisator. Dalam hal ini diambil nilai intensitas minimumnya (akan ditampilkan detektor cahaya), artinya polarisator dan analisator saling tegak lurus.

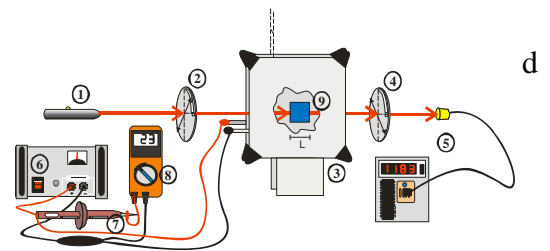
### Observasi Pada Bahan

Pada tahap ini, diamati mengenai perubahan arah polarisasi cahaya untuk setiap konsentrasi bahan dengan menggunakan medan listrik  $10^5 - 10^6$  V/m. Sudut polarisator yang digunakan adalah  $0^\circ(\mathbf{E}//)$ ,  $10^\circ(\mathbf{E}_{10^\circ})$ ,  $20^\circ(\mathbf{E}_{20^\circ})$ ,  $30^\circ(\mathbf{E}_{30^\circ})$  sampai  $90^\circ(\mathbf{E}\perp)$ . Cahaya dilewatkan pada polarisator kemudian cahaya melalui bahan yang sudah dikenai medan listrik luar, cahaya tersebut dianalisa perubahan sudut polarisasinya dengan analisator. Dalam hal ini diambil nilai intensitas minimum sinar laser.

### Analisa Dan Pembahasan

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisa dan pembahasan pada data yang sudah diperoleh dari observasi.

### Diagram Alat Penelitian



**Gambar 1** Set up Alat Penelitian,

1. Laser Dioda, 2. Polarisator,
3. Plat Sejajar, 4. Analisator,
5. Detektor, 6. Sumber Tegangan Tinggi,
7. Probe, 8. Multitester, 9. Sampel

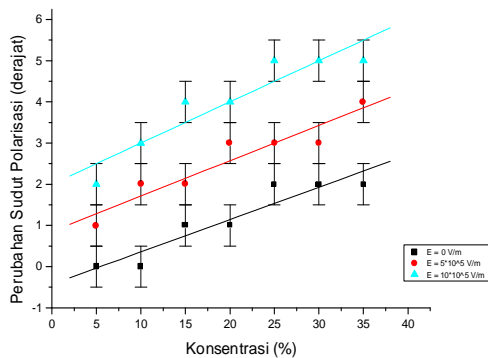
Sinar laser dioda yang melewati polarisator akan mengalami polarisasi. Sinar yang sudah terpolarisasi akan diteruskan melewati bahan dan mengalami interaksi dengan bahan yang terhubung dengan medan listrik. Cahaya yang sudah berinteraksi dengan bahan diteruskan pada analisator. Dengan mengamati intensitas minimum pada detektor cahaya dapat ditentukan perubahan sudut yang diakibatkan adanya bahan yang mempengaruhi sinar laser.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang telah dilakukan memperoleh data adanya perubahan sudut polarisasi sinar laser ( $\beta$ ) dengan variasi konsentrasi larutan ( $C$ ) dan medan listrik luar ( $\mathbf{E}$ ) yang dikenakan pada larutan gula dan larutan garam.

## Perubahan $\beta$ Pada Sudut $0^\circ$

Pada gambar 2 menunjukkan grafik hubungan perubahan sudut polarisasi sinar laser ( $\beta$ ) terhadap konsentrasi larutan gula (C) untuk beberapa medan listrik luar ( $E$ ) dengan sudut polarisator  $0^\circ$  ( $E //$ ).

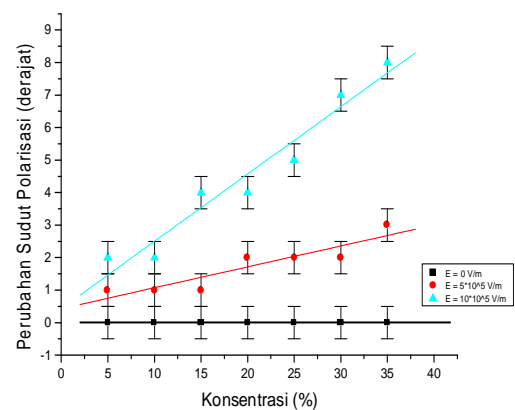


**Gambar 2** Grafik Perubahan Sudut Polarisasi Cahaya terhadap Konsentrasi Larutan Gula dengan sudut polarisator  $0^\circ(E//)$  pada beberapa Medan listrik luar yang berbeda.

Pada larutan gula perubahan sudut polarisasi semakin bertambah dengan bertambahnya konsentrasi larutan gula. Kenaikan perubahan sudut polarisasi juga terlihat pada kenaikan medan listrik luar yang dikenakan pada plat sejajar. Hal ini menunjukkan hubungan linier pada grafik. Jika ada medan listrik sinar laser yang melalui molekul tersebut maka arah bidang polarisasi sinar laser akan diputar oleh molekul-molekul dari larutan gula dan mempengaruhi perubahan sudut polarisasi.

Pada larutan garam ditunjukkan grafik hubungan perubahan sudut polarisasi dengan konsentrasi larutan garam dan grafik perubahan sudut dengan medan listrik luar pada sudut polarisasi  $0^\circ$ . Pada penambahan medan listrik luar mengakibatkan perubahan sudut polarisasi. Pada keadaan tanpa medan listrik luar tidak terjadi perubahan sudut polarisasi. Hal ini karena garam tidak memiliki struktur chiral sehingga tidak memutar arah bidang polarisasi tanpa adanya medan listrik luar yang dikenakan pada larutan garam.

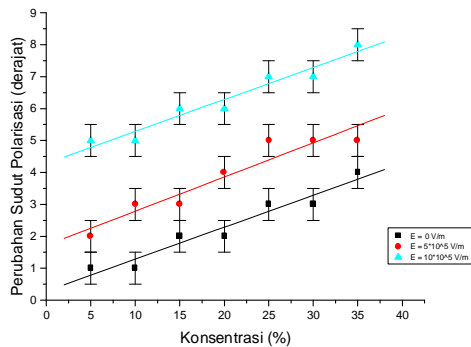
Dari grafik juga dapat dilihat penambahan konsentrasi larutan mengakibatkan penambahan perubahan sudut polarisasi.



**Gambar 3** Grafik Perubahan Sudut Polarisasi Cahaya terhadap Konsentrasi Larutan Garam dengan sudut polarisator  $0^\circ(E//)$  pada beberapa Medan listrik luar yang berbeda.



## Perubahan $\beta$ Pada Sudut $90^\circ$

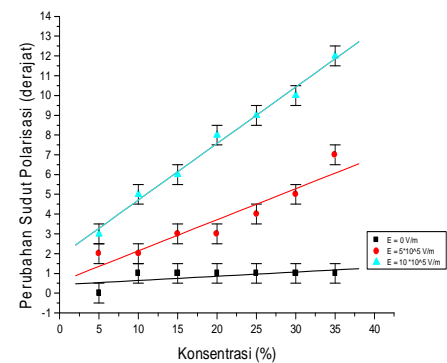


**Gambar 4** Grafik Perubahan Sudut Polarisasi Cahaya terhadap Konsentrasi Larutan Gula dengan sudut polarisator  $90^\circ (E \perp)$  pada beberapa Medan listrik luar yang berbeda.

Pada sudut polarisasi  $90^\circ$  diperoleh grafik linier untuk ketiga keadaan medan listrik luar. Pada ketiga medan listrik terjadi kenaikan garis linier. Medan listrik semakin besar perubahan sudut polarisasi juga semakin besar. Untuk nilai konsentrasi yang semakin besar mengakibatkan perubahan sudut polarisasi yang semakin besar. Larutan gula yang semakin pekat mengakibatkan perubahan sudut polarisasi semakin besar. Perubahan sudut polarisasi semakin bertambah pada saat tanpa medan listrik dan dikenai medan listrik.

Untuk perubahan sudut polarisasi lainnya pada larutan gula diperoleh grafik linier yang semakin naik karena perubahan sudut polarisasi semakin bertambah dengan semakin bertambahnya sudut polarisasi.

Pada sudut polarisator  $90^\circ$  didapat grafik di bawah ini pada larutan garam. Pada grafik di bawah terlihat garis linier untuk ketiga keadaan medan listrik. Garis linier mengalami kenaikan pada pertambahan medan listrik luar. Begitu juga pada semakin besarnya konsentrasi larutan garam.



**Gambar 5** Grafik Perubahan Sudut Polarisasi Cahaya terhadap Konsentrasi Larutan Garam dengan sudut polarisator  $90^\circ (E \perp)$  pada beberapa Medan listrik luar yang berbeda.

Persamaan linier pada grafik 5 ditunjukkan pada tabel 5. Gradien garis pada grafik mengalami kenaikan dengan bertambahnya medan listrik luar. Semakin besar medan listrik luar semakin besar juga gradien dari garis tersebut.

## KESIMPULAN

1. Larutan gula memiliki sifat optis aktif sehingga dapat memutar arah bidang polarisasi tanpa medan magnet dan dengan medan magnet.
2. Larutan garam tidak memiliki sifat optis aktif sehingga tidak dapat memutar arah bidang polarisasi tanpa medan magnet dan dapat memutar arah bidang dengan medan magnet.
3. Medan listrik luar bertambah dan konsentrasi larutan bertambah maka sudut polarisasi sinar laser semakin bertambah pada bahan transparan yaitu pada larutan gula dan larutan garam.
4. Pada Sudut  $90^0$  medan listrik luar  $10^6$  V/m persamaan linier pada larutan gula  $\beta = (0,100C + 4,286)^0$ .
5. Pada Sudut  $90^0$  medan listrik luar  $10^6$  V/m persamaan linier pada larutan garam  $\beta = (0,286C + 1,857)^0$ .

## DAFTAR PUSTAKA

1. Halliday, D. & Resnick, R. 1993. *Fisika, edisi ke 3(terjemahan)*. Jakarta. Erlangga.
2. Jenkins, F.A. 1957. *Fundamentals of Optics*. USA. McGraw-Hill, Inc
3. Issacs, A. 1994. *Kamus Lengkap Fisika*. Jakarta. Erlangga.
4. Pedrotti, F. L. dan Pedrotti, L. S. 1993. *Introduction to Optics*. second edition. New Jersey. Prentice-Hall. Inc.
5. Sugiyanto, Eko. 2005. "Pengamatan perubahan sudut putar polarisasi cahaya pada medium transparan dalam medan listrik luar", Skripsi. Jurusan Fisika FMIPA Undip
6. Van-Vlack. 1986. *Ilmu dan Teknologi Bahan* (ilmu logam dan bukan logam). (terjemahan). Edisi keempat. Jakarta. Erlangga.
7. Wardaya, A, & Firdausi, K. S. 2004. *Perhitungan Reflektansi dan Transmittansi Bahan Transparan Dalam Medan Listrik Luar*. Berkala Fisika. Jurusan Fisika FMIPA UNDIP