

## Efek Magnetooptis Pada Lapisan AgBr Terekspos

**Respita Sulisty, K. Sofjan Firdausi, Indras Marhaendrajaya**

Laboratorium Elektronika Optik dan Laser, Jurusan Fisika UNDIP

### ABSTRACT

The non linear optic characteristic from several transparent medium (film plate and glass) under influence of external magnetic field and variation of wavelengths, have been identified. In this experiment, the developed AgBr film is deposited on a hologram. The magnetic field has been produced by coils which connected to slide regulator (0-240V). The maximum value of magnetic field is about 182,0 mT. Light sources used are He-Ne Laser with a wavelength of 633 nm and 1 mW in power, and green laser pointer with a wavelength of 532 nm and power less than 5 mW. The optical characteristic measured in this experiment is the rotation of electric field,  $\beta$  of the transmitted laser beam due to applied external magnetic field to the medium. The experiment result shows that  $\beta$  is dependent linearly on magnetic fields. The Verdet constant is proportional with wavelength of the light. Measured values for Verdet constant ( $V$ ) at 632,8 nm is  $(0,48730 \pm 0,00070)$  min/G-cm and at 532 nm is  $(0,26170 \pm 0,00056)$  min/G-cm for glasses material and the values for Verdet constant at 632,8 nm is  $(0,32850 \pm 0,00060)$  min/G-cm and at 532 nm is  $(0,15690 \pm 0,00039)$  min/G-cm for film plate.

*Key words:* Magnetooptical effect, non linear optic, Verdet constant

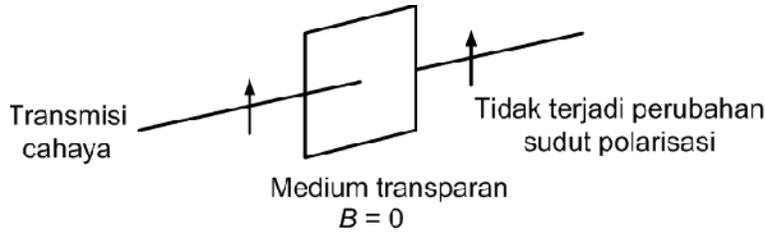
### PENDAHULUAN

Secara umum, fenomena ketidaklinieran dari sifat optik ini diakibatkan oleh ketidakmampuan dari dipol untuk merespon secara linier medan listrik  $\mathbf{E}$  atau medan magnet  $\mathbf{B}$  cahaya yang datang, seperti inti atom yang terlalu massif dan elektron yang mengelilingi inti terikat sangat kuat untuk merespon medan listrik  $\mathbf{E}$  (madan magnet  $\mathbf{B}$ ) dari cahaya yang mengenainya. Hal inilah yang menyebabkan elektron terluar bertanggung jawab terhadap terjadinya polarisasi pada media optis akibat adanya medan listrik  $\mathbf{E}$  atau medan magnet  $\mathbf{B}$  luar. Apabila medan luar yang mengenai media optis sangat besar, maka sifat optis bahan, seperti suseptibilitas, akan menjadi fungsi non linier terhadap  $\mathbf{E}$  atau  $\mathbf{B}$ [1].

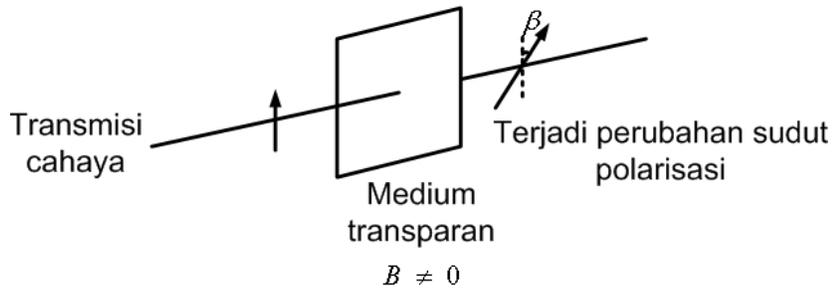
Sebelumnya studi awal tentang sifat magnetooptis [2,3] dan elektrooptis [4-6] telah dilakukan pada bahan transparan. Ditunjukkan bahwa perubahan sudut putar medan listrik cahaya berbanding lurus dengan besarnya medan

luar yang dikenakan. Lebih jauh, hasil-hasil pengukuran sifat optis taklinier pada material non kristal tersebut dimungkinkan untuk diteliti lebih lanjut, terutama berkaitan dengan pemanfaatan pada sensor [7]. Pada penelitian ini hendak dipelajari sifat optis non linier medium transparan dari bahan AgBr yang dilapiskan pada kaca preparat. Parameter yang digunakan adalah intensitas relatif minimum yang diterima oleh detektor dan juga perubahan arah polarisasi medan magnet,  $\beta$  dari berkas sinar yang ditransmisikan.

Apabila ada sebuah sinar yang datang mengenai bahan transparan yang tidak bersifat optis aktif dan tidak ada medan magnet luar maka tidak akan terjadi perubahan, arah getar cahaya yang masuk ke medium transparan akan sama dengan yang keluar dari medium transparan (gambar 1). Akan tetapi jika medium transparan itu diberi medan magnet luar maka akan terjadi perubahan sudut polarisasi (gambar 2).



Gambar 1. Transmisi cahaya pada medium transparan dengan  $B = 0$



Gambar 2. Transmisi cahaya pada medium transparan dengan  $B \neq 0$

Dalam eksperimennya, Faraday menyimpulkan bahwa perubahan indeks bias dari bahan juga sebanding dengan perubahan medan magnet yang dikenakan ( $\Delta n \sim B$ ), bila bahan transparan diletakkan di dalam suatu medan magnet yang cukup besar. Kemudian seberkas cahaya dilewatkan melewati bahan tersebut dan ternyata cahaya tersebut terpolarisasikan sebesar  $\beta$ . Dari eksperimen ini, Faraday merumuskan bahwa perubahan polarisasi akan sebanding dengan perubahan medan magnet yang mengenai bahan [8].

$$\beta = V B d \tag{1}$$

Dengan  $V$  merupakan konstanta kesebandingan yang disebut dengan konstanta Verdet dan  $d$  adalah tebal medium transparan. Konstanta Verdet ini sangat bergantung terhadap panjang gelombang. Semakin besar panjang gelombangnya maka semakin besar pula konstanta Verdetnya, dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V = \frac{e}{2mc} \lambda \frac{dn}{d\lambda} \tag{2}$$

dengan  $\frac{dn}{d\lambda}$  adalah turunan indeks bias

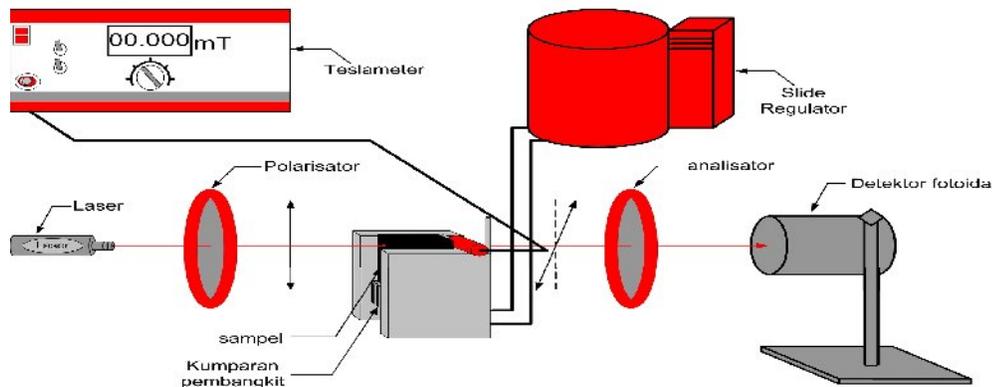
bahan transparan terhadap panjang gelombang,  $m$  massa elektron,  $e$  muatan elektron dan  $c$  cepat rambat cahaya.

Pemberian medan magnet luar pada 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 magnet, maka akan terjadi gejala polarisasi. Dalam bahan yang tidak punya pusat simetri, tempat kation dikelilingi oleh anion yang pada umumnya bergeser dari titik pusatnya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya efek aktifitas optik [9].

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan: sumber cahaya dari laser He-Ne 633 nm, daya 1 mW dan laser hijau 532 nm dan daya < 5 mW; dua buah polarisator untuk memilih arah polarisasi dan menentukan nilai  $\beta$ ; *slide regulator* untuk menyuplai tegangan bolak-balik ke dalam



Gambar 3. Skema Alat Penelitian

kumparan antara 0-240V; kumparan digunakan untuk menghasilkan medan magnet yang homogen dan bolak-balik; tesla meter untuk mengukur besarnya medan magnet yang timbul di dalam kumparan; dan detektor cahaya digunakan untuk mengukur intensitas relatif dari cahaya laser sebelum dan sesudah mengenai bahan.

Bahan yang digunakan: kaca berupa plat film holografi yang telah dibersihkan dengan alkohol; emulsi film AgBr yang telah mengalami penyinaran selama 6 detik, tebal emulsi film sekitar 0,008 mm;

#### Observasi Pada Sampel

Pada tahap ini, pengukuran perubahan arah polarisasi cahaya untuk setiap sampel dalam medan magnet, dilakukan dengan setiap kenaikan tegangan 10Volt pada *slide regulator*. Sudut polarisator yang digunakan adalah  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$ . Skema alat dalam penelitian ini adalah seperti gambar 3 diatas.

Dari gambar 3, sinar laser setelah melewati polarisator akan terpolarisasi bidang. Dari polarisator, sinar laser mengalami interaksi dengan bahan transparan dan medan magnet. Interaksi ini terjadi pada saat diberikan medan magnet luar sehingga gerakan elektron dari bahan

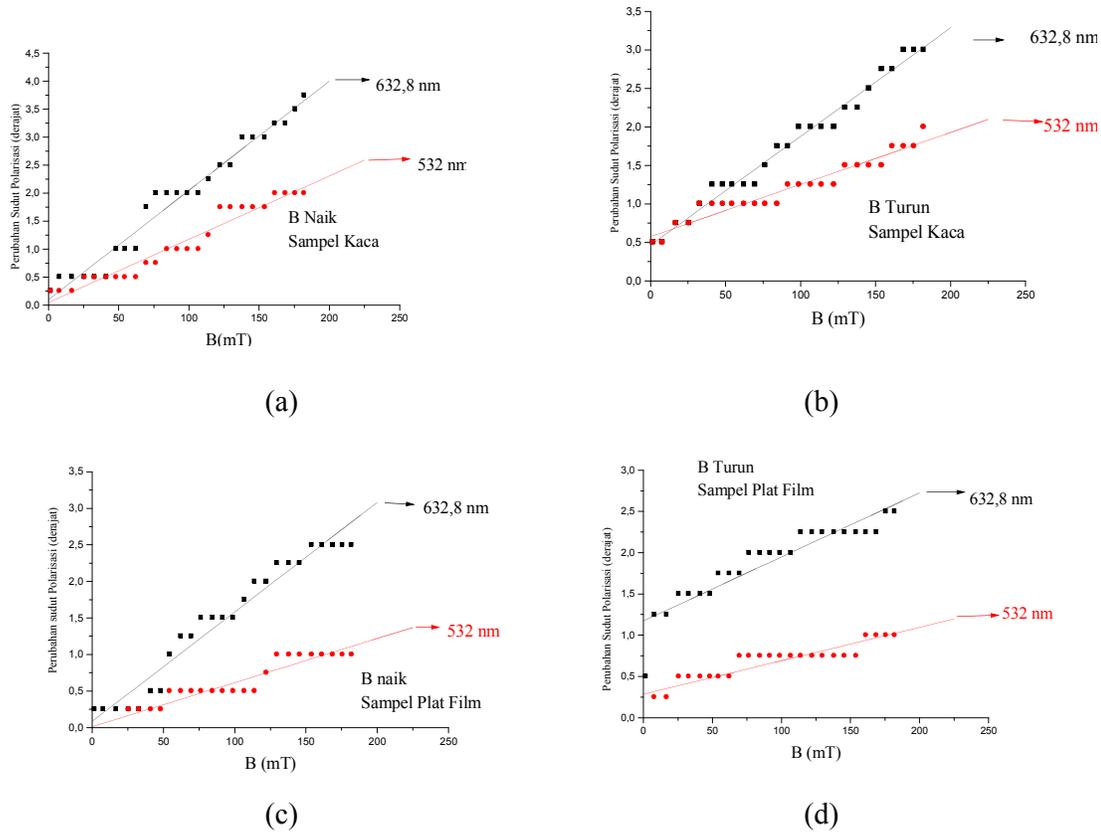
transparan akan terdistorsi yaitu tempat kedudukan rata-rata elektron akan bergeser mendekati elektroda positif sedangkan inti atom sendiri akan bergeser mendekati elektroda negatif. Hal ini akan mengakibatkan perubahan arah sudut polarisasi bahan transparan yang kemudian dapat dianalisa dengan menggunakan analisator. Intensitas sinar laser setelah melewati analisator kemudian diamati dengan menggunakan detektor.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan diuji persamaan (1), bagaimana tanggapan medium terhadap medan magnet luar dan panjang gelombang untuk bahan transparan kaca dan plat film (AgBr). Hasil pengukuran yang telah dilakukan disajikan dalam bentuk perubahan sudut polarisasi sinar laser ( $\beta$ ) untuk  $\lambda = 633$  nm dan 532 nm, dan variasi medan magnet luar ( $B$ ) yang dikenakan pada bahan transparan yaitu kaca dan plat film.

#### Perubahan sudut polarisasi ( $\beta$ ) dengan variasi medan magnet

Dari hasil eksperimen, untuk beberapa sudut polarisasi laser, diperoleh rata-rata perubahan  $\beta$  yang paling optimal pada mode  $90^{\circ}$ . Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran  $\beta$  sebagai fungsi  $B$



**Gambar 4.** Grafik hubungan antara  $B$  dengan  $\beta$  dengan  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  dan  $532 \text{ nm}$ : (a) sampel kaca dengan perubahan  $B$  dari kecil ke besar, (b) sampel kaca dengan perubahan  $B$  dari besar ke kecil (c) sampel plat film dengan perubahan  $B$  dari kecil ke besar, (d) sampel plat film dengan perubahan  $B$  dari besar ke kecil.

Tabel. Persamaan garis linier dari  $\beta$  sebagai fungsi  $B$

$\lambda$ (nm)	$B$	Sampel	Persamaan Garis	Gradien ( $^{\circ}/\text{mT}$ )	$R$
632,8	Naik	Kaca	$0,09573+0,01952*B$	$0,01952 \pm 0,00070$	0,98
		Plat Film	$0,08642+0,01499*B$	$0,01499 \pm 0,00060$	0,98
	Turun	Kaca	$0,46641+0,0141*B$	$0,01410 \pm 0,00040$	0,98
		Plat Film	$1,17279+0,00776*B$	$0,00776 \pm 0,00070$	0,98
532	Naik	Kaca	$0,04566+0,01130*B$	$0,01130 \pm 0,00056$	0,97
		Plat Film	$0,01316+0,00682*B$	$0,00682 \pm 0,00039$	0,96
	Turun	Kaca	$0,57491+0,00676*B$	$0,00676 \pm 0,00040$	0,97
		Plat Film	$0,28559+0,00405*B$	$0,00405 \pm 0,00040$	0,90

Dari grafik gambar 4, dapat dilihat bahwa baik pada sampel kaca maupun plat film keduanya memiliki perubahan sudut polarisasi yang lebih besar pada saat menggunakan  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  dari pada saat menggunakan  $\lambda = 532 \text{ nm}$ . Hal ini dikarenakan perubahan sudut polarisasi sebanding dengan konstanta Verdet seperti yang telah dijelaskan oleh Faraday. Konstanta Verdet merupakan suatu konstanta yang bergantung pada panjang

gelombang laser yang digunakan dan juga temperatur. Nilai gradien kemiringan dan korelasi linier grafi ditampilkan pada tabel berikut.

Persamaan garis ini diperoleh saat arah medan listrik sinar laser sebesar  $90^{\circ}$  (tegak lurus dengan arah medan magnet). Kaca dan plat film molekulnya tidak bersifat optis aktif sehingga tidak bisa merubah arah getar sinar laser yang melewatinya tanpa adanya medan magnet

luar  $B$ . Apabila medan magnet dikenakan pada kaca, maka ion-ion penyusun kaca akan terpolarisasi sebanding dengan medan magnet luar, hal ini disebabkan karena kaca merupakan bahan diamagnetik. Dan hasil dari polarisasi netto tersebut maka terbentuklah muatan-muatan baru (imbas) yang mempunyai dipol imbas hasil induksi dari medan magnet luar, sehingga akan membentuk medan magnet baru (imbas) yang besarnya mengurangi medan magnet luar. Jika dilewatkan sebuah gelombang elektromagnetik berupa cahaya laser maka medan listrik dari cahaya laser akan berinteraksi dengan medan magnet imbas tersebut yaitu dengan merubah arah getar cahaya laser tersebut.

Kaca mempunyai bentuk amorf (tidak berbentuk) sehingga ion-ion penyusunnya arahnya acak, dengan adanya medan magnet luar maka akan berfungsi menyearahkan dipol-dipol yang ada pada molekul tersebut sejajar dengan medannya, tetapi ini dilawan oleh kecenderungan momen untuk berorientasi acak akibat gerak termalnya. Pada bahan diamagnetik penyearahan momen dipol tidak dipengaruhi oleh temperatur.

Ketika digunakan arah medan listrik sebesar  $90^0$  (tegak lurus medan magnet), diperoleh nilai yang paling besar karena semakin besar perbedaan arah getar sinar laser dengan arah medan magnet luar maka kemiringan grafik akan semakin besar. Hal ini dikarenakan pada medan listrik sebesar  $90^0$  (tegak lurus medan magnet) perubahan sudut polarisasi sinar laser semakin besar. Untuk plat film hasil yang diperoleh hampir sama dengan kaca yaitu perubahan sudut polarisasi sebanding dengan perubahan kenaikan medan magnet luar. Perubahan sudut polarisasi pada plat film lebih kecil dibandingkan pada kaca, hal ini dikarenakan pada plat film terdapat senyawa AgBr, yang terbentuk karena adanya ikatan ionik antara ion  $Ag^+$  dan  $Br^-$  AgBr mempunyai keelektronegatifan yang besar sehingga dia bersifat kovalen polar, karena satu ion  $Ag^+$  dikelilingi oleh enam

ion  $Br^-$ . Sehingga AgBr mempunyai dipol-dipol magnet yang akan disearahkan oleh medan magnet luar yang diberikan. Proses penyearahan ini sama seperti yang terjadi pada kaca. Apabila medan magnet luar diberikan pada plat film maka medan magnet imbas yang terbentuk akan menyearahkan dipol-dipol yang ada pada molekul tersebut. Saat sinar laser melewati plat film maka itu berarti sinar laser akan melewati kaca dan juga lapisan tipis AgBr, sehingga lintasan laser lebih panjang dari pada saat melewati kaca. Perubahan sudut polarisasi pada plat film lebih kecil dibandingkan pada kaca. Hal ini dikarenakan variasi medan magnet yang digunakan di antara keduanya adalah sama padahal medan magnet ini digunakan untuk menyearahkan molekul-molekul penyusun sampel, dan pada plat film penyusunnya lebih banyak dibandingkan pada kaca. Pada saat  $B$  turun atau medan magnet luar yang diberikan pada bahan transparan dari besar ke kecil mempunyai efek yang sama yaitu perubahan sudut polarisasi sebanding dengan perubahan medan magnet luar. Pada penggunaan medan magnet turun ini perubahan sudut polarisasi tidak terlalu signifikan atau hampir stabil. Hal ini menunjukkan bahwa molekul-molekul penyusun bahan transparan membutuhkan waktu relaksasi untuk kembali kekeadaan awal setelah diberi medan magnet luar yang besar. Akan terjadi perubahan sudut polarisasi jika perbedaan medan magnet luar yang diberikan cukup besar.

Demikian halnya untuk arah medan listrik  $0^0$ ,  $30^0$ ,  $45^0$ , dan  $60^0$  diperoleh grafik yang cenderung naik sebanding dengan perubahan medan magnet luar.

#### **Pengaruh lapisan tipis AgBr terhadap perubahan sudut polarisasi**

Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa perubahan sudut polarisasi pada kaca lebih besar dibandingkan pada saat menggunakan plat film. Perbedaan ini dikarenakan pada plat

film terdapat sebuah lapisan tipis yang melapisi kaca. Lapisan tersebut adalah lapisan tipis AgBr. Lapisan tipis AgBr ini mengurangi besarnya perubahan sudut polarisasi hal ini dikarenakan bahwa panjang lintasan yang ditempuh oleh sinar laser lebih panjang saat melewati plat film dari pada saat melewati kaca, sehingga molekul-molekul sampel yang harus disearahkan lebih banyak dari pada saat melewati kaca, medan magnet luar yang digunakan adalah sama. Untuk memperoleh perubahan sudut polarisasi yang sama, plat film membutuhkan medan magnet luar yang lebih besar.

#### Konstanta Verdet bahan transparan

Dari referensi konstanta untuk kaca flint adalah  $0,0317 \text{ min/G-cm}$  pada  $\lambda = 589 \text{ nm}$ , sedangkan pada percobaan diperoleh nilai konstanta Verdet yang berbeda yaitu untuk kaca ( $0,48730 \pm 0,00070 \text{ min/G-cm}$  pada  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  dan ( $0,26170 \pm 0,00056 \text{ min/G-cm}$  pada  $\lambda = 532 \text{ nm}$ . Untuk plat film diperoleh ( $0,32850 \pm 0,00060 \text{ min/G-cm}$  pada  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  dan ( $0,15690 \pm 0,00039 \text{ min/G-cm}$  pada  $\lambda = 532 \text{ nm}$ . Untuk plat film belum ada direferensi karena jenis senyawa yang ada pada plat film holografi ini berbeda dengan senyawa-senyawa yang lain. Perbedaan hasil ini dikarenakan panjang gelombang laser yang digunakan berbeda dengan yang digunakan pada referensi. Selain itu kaca yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat film holografi yang telah dibersihkan dengan menggunakan alkohol sehingga bukan merupakan kaca preparat murni. Konstanta Verdet merupakan suatu nilai yang sangat bergantung pada panjang gelombang sinar laser yang diberikan dan juga temperatur. Dalam penelitian ini konstanta Verdet hanya dipengaruhi oleh panjang gelombang sinar laser saja karena untuk bahan diamagnetik tidak dipengaruhi oleh temperatur. Semakin besar panjang gelombangnya maka semakin besar pula konstanta Verdetnya.

#### KESIMPULAN

Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perubahan sudut polarisasi pada kaca lebih besar dari plat film untuk laser He-Ne dan laser hijau, hal ini dikarenakan pada plat film molekul yang terinduksi lebih sedikit dari pada kaca.
2. Perubahan sudut polarisasi sebanding dengan kenaikan medan magnet luar yang diberikan kepada bahan transparan sesuai dengan teori sebelumnya.
3. Perubahan sudut polarisasi juga bergantung pada panjang gelombang sinar laser. Hal ini dikarenakan panjang gelombang laser He-Ne lebih besar dari pada panjang gelombang laser hijau sehingga frekuensi laser He-Ne lebih kecil dan waktu yang diperlukan untuk beresilasi lebih besar.
4. Konstanta Verdet ini merupakan suatu nilai yang bergantung kepada besarnya panjang gelombang yang digunakan walaupun interval perubahannya tidak terlalu jauh. Konstanta Verdet yang diperoleh untuk kaca adalah  $0,48730 \text{ min/G-cm}$  pada  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  dan  $0,2617$  pada  $\lambda = 532 \text{ nm}$  sedangkan untuk plat film adalah  $0,3285 \text{ min/G-cm}$  pada  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  dan  $0,1569$  pada  $\lambda = 532 \text{ nm}$ .

Pada penelitian selanjutnya agar lapisan tipis yang diteliti lebih bervariasi selain AgBr, serta digunakan emulsi film yang belum mengalami proses pencucian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jenkins, F. A., 1957, *Fundamentals of Optics*, USA, McGraw-Hill, Inc
- [2] K. Sofjan F., dkk., *Berkala Fisika*, vol. 7, no. 3, hal. 91-96, Juli 2004.
- [3] K. Sofjan Firdausi, dkk., *Berkala Fisika*, vol. 8, no. 1, hal. 1- 6, Januari 2005.
- [4] Krisno Prabowo, K. Sofjan Firdausi, Much. Azam, *Berkala Fisika*, vol. 9, no. 1, hal. 1- 4, Juli 2006.

- [5] Fatkhiyah, Heri Sugito, K. Sofjan Firdausi, *Jurnal Sains & Matematika*, vol. 14, no. 2, hal. 65-69, April 2006.
- [6] Anis Nila Kusuma, K. Sofjan Firdausi, Wahyu Setia Budi, *Berkala Fisika*, vol. 9, no. 2, hal. 81-84, April 2006.
- [7] Priyono dkk., *Jurnal Sains & Matematika*, vol. 7, no. 1, hal. 83-87, Oktober 2005.
- [8] Pedrotti, F. L. dan Pedrotti, L. S., *Introduction to Optics*, Second Edition. Prentice-Hall, Inc New Jersey, 1993.
- [9] Van-Vlack, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*, (terjemahan), Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1986.