

# Studi Difraksi Fresnel

## Untuk Menentukan Panjang Gelombang Sumber Cahaya Monokromatis Menggunakan Celah Bentuk Lingkaran

Oleh :  
Arinar Rosyidah / J2D 002 186  
2008

### ABSTRAK

Telah dilakukan studi difraksi Fresnel untuk menentukan panjang gelombang sumber cahaya monokromatis menggunakan celah bentuk lingkaran.

Dengan variabel yang diukur berupa perubahan jumlah cincin ( $m$ ) yang terbentuk sebagai akibat perubahan jarak sumber ke celah dan jari - jari pada celah lingkaran. Bahan yang digunakan adalah laser pointer warna hijau dengan panjang gelombang 532,0 nm dan laser dioda merah dengan panjang gelombang 637,8 nm dan daya keluaran 1 mW. Celah lingkaran yang digunakan berdiameter 3 mm, 2 mm dan 1 mm.

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa dengan perubahan jarak sumber ke celah dan jarak celah ke layar yang sama, dengan diameter celah yang berbeda diperoleh jumlah cincin yang berbeda. Dari jumlah cincin bisa dihitung luas tiap zona dan dari luas tiap zona didapatkan nilai  $\lambda$ . Dari penelitian dihasilkan, untuk laser pointer hijau panjang gelombangnya adalah  $(517,2 \pm 0,9)$  nm dan pada laser dioda merah panjang gelombangnya adalah  $(645,3 \pm 0,8)$  nm.

*Kata kunci : Difraksi Fresnel, Celah Lingkaran, Zona Fresnel dan Prinsip Huygens-Fresnel*

### PENDAHULUAN

Spektroskopi menempati tempat utama dalam baris depan perkembangan fisika abad ke-19 dan permulaan abad ke-20. Salah satu dari sejumlah bagian penting fisika yang berasal dari spektroskopi adalah optika (Loud, 1988). Berbagai alat spektrometer berteknologi tinggi semakin banyak diciptakan, sehingga pengukurannya lebih cepat dan teliti. Banyak persoalan rumit bisa diselesaikan dengan mengetahui spektrum gelombang dari cahaya tersebut, seperti pengujian untuk mengetahui karakteristik suatu bahan.

Pengukuran spektrum cahaya tampak dapat dilakukan dengan metode yang lebih sederhana dibandingkan dengan spektrometer terkini. Salah satu penelitian yang telah dilakukan oleh Suprayitno (1997) adalah pengukuran panjang gelombang laser He-Ne, sebagai cahaya tampak, dengan perangkat Interferometer Michelson dan diperoleh hasil  $\lambda = (625,7 \pm 8,2)$  nm.

Beberapa percobaan difraksi dapat pula digunakan sebagai alternatif dari perangkat spektrometer canggih. Contoh sederhana adalah difraksi yang menggunakan cahaya tampak untuk secara langsung mempelajari gejala difraksi (termasuk interferensi). Fenomena difraksi baik secara langsung maupun tidak langsung sering dilihat di alam ini dan telah dipelajari sejak pendidikan menengah, namun demikian gejala tersebut diperoleh masih sebatas teori.

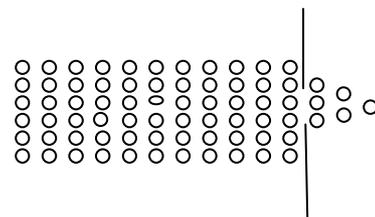
Difraksi merupakan suatu peristiwa pelenturan gelombang, baik berupa gelombang elektromagnetik maupun gelombang mekanik karena adanya halangan. Menurut ukuran dimensi objek dan jarak sumber cahaya tampak, ada beberapa jenis difraksi yaitu difraksi Fresnel (jarak objek ke sumber cahaya sebanding dengan ukuran celah yang dilalui cahaya) dan difraksi Fraunhofer (jarak objek ke sumber cahaya relatif lebih relatif lebih besar dibandingkan ukuran celah yang dilalui cahaya (Tjia, 1993). Karena analisis pola difraksi Fraunhofer pada laser

dioda merah sudah pernah dilakukan oleh Sutini (2003), dengan hasil  $\lambda = (657,3 \pm 0,3)$  nm. Maka sebagai alternatif lain, perlu dilakukan pengukuran dengan metode difraksi Fresnel.

### DASAR TEORI

#### Prinsip dan Perumusan Dasar Difraksi

Secara makroskopis, difraksi dikenal sebagai penjalaran arah yang dialami seberkas gelombang ketika menjalar melalui suatu celah sempit atau tepi tajam suatu benda. Gejala ini juga dianggap sebagai salah satu ciri khas gelombang yang tidak dimiliki partikel (lihat gambar 1). Karena sebuah partikel yang bergerak bebas melalui suatu celah tidak akan mengalami perubahan arah (Tjia, 1993).



**Gambar 2.1.** Perilaku Arus Partikel yang Jatuh Pada Layar Dengan Lubang yang Kecil (Alonso dan Finn, 1992).

Jika suatu partikel jatuh pada layar yang berlubang kecil, maka hanya partikel yang jatuh pada lubang yang akan ditransmisikan dan melanjutkan gerakannya tanpa terganggu, sedangkan partikel - partikel lainnya akan terhenti atau akan terpantul kembali seperti terlihat pada gambar 1. Akan tetapi berdasarkan fenomena gelombang bunyi dan gelombang permukaan dalam air diketahui bahwa gelombang berkelakuan lain yaitu meluas di sekitar perintang yang ditempatkan pada lintasan gerakannya.

Ditinjau secara mikroskopis menurut teori modern, gelombang elektromagnet yang tiba pada

permukaan sebuah layar akan menggetarkan atau menginduksi elektron bagian luar dari atom atom layar. Dimisalkan cahaya yang ditinjau bersifat monokromatis yang berarti bahwa medan listriknya beresilasi dengan frekuensi tertentu, maka setelah mencapai keadaan stasioner dalam waktu singkat, elektron elektron tersebut akan beresilasi dengan frekuensi yang sama pula. Sebagai akibatnya, sistem elektron itu akan memancarkan kembali gelombang cahaya dengan frekuensi sumber semula. Dengan demikian antara gelombang datang dan semua gelombang radiasi elektron akan terjadi proses interferensi yang mantap (Tjia, 1993).

Landasan teori Huygens-Fresnel: "Dalam suatu proses perambatan gelombang bebas, setiap titik muka gelombang berfungsi sebagai sumber sesaat bagi suatu anak gelombang (*wavelet*) sferis skunder yang memiliki frekuensi gelombang primernya. Muka gelombang pada saat berikutnya berupa permukaan yang menyinggung muka gelombang semua anak gelombang yang berasal dari titik sefase pada muka gelombang terdahulu. Ini berarti semua muka anak gelombang pada suatu muka gelombang tertentu bersifat saling koheren. Selanjutnya medan gelombang pada setiap titik merupakan superposisi linier dari medan semua anak gelombang bersangkutan"(Tjia, 1993).

**Fresnel Number**

*Fresnel number*  $F$ , dinamakan berdasarkan nama penemunya, Augustin Jean Fresnel yang merupakan besaran tanpa satuan, terdapat pada optika dan pada beberapa teori difraksi.

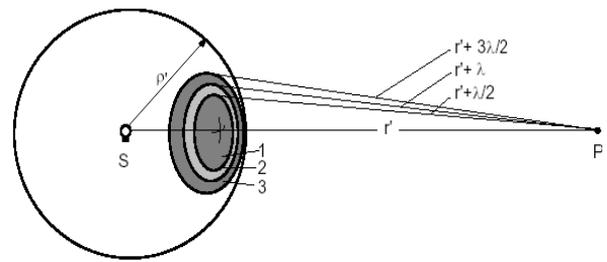
Untuk gelombang elektromagnetik yang melewati sebuah penghalang dan ditampilkan pada layar, *Fresnel Number* didefinisikan sebagai,

$$F = \frac{a^2}{L\lambda} \quad (2.1)$$

dengan  $\lambda$  merupakan panjang gelombang,  $a$  adalah ukuran yang memiliki karakteristik (misalnya: jari-jari) dari sebuah penghalang dan  $L$  merupakan jarak dari sumber menuju layar. Berdasarkan nilai  $F$  teori difraksi dapat disederhanakan menjadi dua macam, yaitu untuk difraksi Fraunhofer  $F \ll 1$  dan untuk difraksi Fresnel  $F \gg 1$ . Dan  $L = \frac{\rho' \cdot r'}{(\rho' + r')}$ , dengan  $\rho'$  adalah jarak sumber ke celah dan  $r'$  merupakan jarak dari celah ke layar.

**Difraksi Fresnel Celah Lingkaran**

Muka gelombang primer dibangkitkan dari sumber titik,  $S$ , telah berjalan dengan jarak  $\rho'$ . Menurut prinsip Huygens-Fresnel, muka gelombang sferis yang diemisikan telah dikoreksi dengan faktor kemiringan. (Hecht, E. 1983)



**Gambar 2.** Muka Gelombang Primer Dibangkitkan Dari Titik Sumber S (Hect, E., 1983).

Dan menurut prinsip Huygens-Fresnel, seharusnya dimungkinkan untuk menjumlahkan kontribusi dari tiap-tiap sumber gelombang sekunder pada titik P, dengan jarak  $\rho' + r'$  dari S. Hal ini ditunjukkan pada persamaan (2.3) bahwa fungsi gelombang pada titik P seharusnya

$$E = \frac{\epsilon_0}{\rho' + r'} \cos(\omega t - k(\rho' + r')) \quad (2.3)$$

Seperti digambarkan pada gambar 2., bahwa muka gelombang sferis dapat dibagi menjadi daerah-daerah yang annular, yang disebut zona Fresnel atau zona setengah periode, yang berpusat pada sumbu yang ditandai dengan S ke P. Pada tiap-tiap daerah di atas batasan (batasan terjauh dari sumbu S-P) lebih panjang setengah panjang gelombang dari panjang lintasan dari titik manapun pada batasan lebih bawah (batasan terdekat dengan sumbu S-P). Sebagai contoh, pada zona kedua panjang lintasan dari batas atas dan batas bawah pada titik P adalah  $r' + \lambda/2$  dan  $r' + \lambda$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada titik manapun pada zona tersebut terdapat titik-titik yang bersesuaian dalam zona yang berdekatan yaitu lebih jauh dari P dengan beda  $\lambda/2$ .

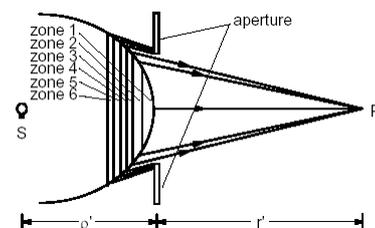
Dimisalkan zona Fresnel ke-y pada gambar 4. memiliki batas-batas panjang lintasan atas dan bawah terhadap titik P, yaitu  $r' + y \frac{\lambda}{2}$  dan  $r' + (y - 1) \frac{\lambda}{2}$ . Dianggap

$dA$  merupakan luasan sebuah cincin yang sangat kecil pada zona ke-y, sehingga:

$$dA = \rho' d\phi 2\pi(\rho' \sin \phi) \quad (2.4)$$

Dengan rumus kosinus berdasarkan geometri gambar 4., diperoleh nilai  $\sin \phi d\phi$  setelah didiferensialkan terhadap  $r$ , kemudian disubstitusikan ke persamaan (2.4) sehingga diperoleh nilai  $A$ , yaitu:

$$A = \frac{\rho'}{(\rho' + r')} \pi r' \lambda \quad (2.5)$$



**Gambar 3.** zona - zona yang melalui celah sempit (wikipedia, 2007).

Sekarang anggap suatu celah lingkaran dengan radius  $R$ , diselipkan tegak lurus terhadap SP di O (gambar 3) dan akan diperoleh jumlah zona Fresnel pada layar yang dinotasikan dengan  $m$ , adalah:

$$m = \frac{\pi R^2}{A} \quad (2.6).$$

Dari substitusi persamaan di atas diperoleh nilai panjang gelombang, yaitu:

$$\lambda = \frac{(\rho' + r')R^2}{\rho' \cdot r' \cdot m} \quad (2.7).$$

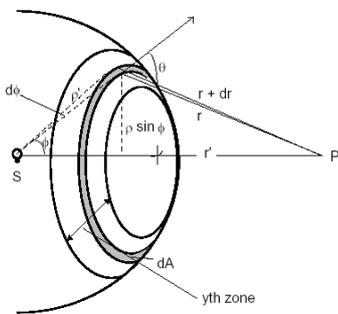
Dengan  $m$  adalah jumlah cincin pada layar,  $\rho'$  merupakan jarak sumber ke celah (cm),  $r'$  adalah jarak celah ke layar (cm) dan  $R$  adalah radius celah yang digunakan (mm). Dan karena  $L = \frac{\rho' \cdot r'}{(\rho' + r')}$ , maka :

$$\lambda = \frac{\pi A}{L} \quad (2.8).$$

Sehingga,

$$m = \frac{1}{L} \cdot \frac{R^2}{\lambda} \quad (2.9).$$

Jika  $\frac{R^2}{\lambda}$  adalah bernilai tetap, maka nilai  $m \sim \frac{1}{L}$



Gambar 4. Zona Fresnel ke-y (wikipedia, 2007).

## METODE PENELITIAN

### Alat dan bahan

Pada penelitian dengan tema difraksi Fresnel kali ini, alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut, dua buah laser pointer, yaitu laser pointer hijau dan laser dioda merah sebagai sumber cahaya tampak monokromatis sekaligus sebagai bahan yang dicari panjang gelombangnya. Laser tersebut diletakkan pada statip.

Kemudian sebuah lensa cekung dengan panjang fokus 5 cm untuk memfokuskan cahaya yang diletakkan persis di depan laser, berikutnya celah lingkaran dengan jari – jari yang masing – masing adalah 1,5 mm, 1,0 mm dan 0,5 mm sebagai pemvariasi dari eksperimen ini yang diletakkan pada statip.

Di depan celah diletakkan sebuah layar yang terbuat dari kertas kalkeer dengan dimensi kurang lebih 40 cm x 30 cm yang digunakan untuk menangkap pola difraksi yang diperoleh dan untuk dilakukan pengamatan. Sebuah meteran yang digunakan untuk mengukur jarak dari lensa cekung ke celah dan dari celah ke layar dengan ketelitian 1 mm, sebuah jangka sorong (kalipers) untuk mengukur diameter celah lingkaran dengan ketelitian 0,05 mm dan meja untuk menempatkan perlengkapan dan bahan untuk eksperimen.

### Pelaksanaan Penelitian

Pada tahap awal yaitu tahap persiapan, dipersiapkan alat-alat yang dibutuhkan untuk penelitian

untuk kemudian disusun sesuai dengan tujuan penelitian sedemikian sehingga diperoleh hasil yang diharapkan pada penelitian ini.

Untuk memperoleh pola difraksi Fresnel, kedudukan antara laser, lensa, dan layar ditempatkan pada posisi sejajar. Ditentukan pula jarak antara sumber dengan penghalang berupa celah dengan jari – jari bervariasi.

Pada gambar di atas laser hijau diletakkan sedemikian rupa sehingga sinar laser tersebut sejajar atau paralel dengan celah lingkaran yang diletakkan didepannya kemudian difokuskan dengan lensa cekung untuk diteruskan ke layar. Dilakukan pemvariasian jarak antara celah dengan layar dan lebar celah, sehingga frinji yang terbentuk juga berbeda beda jumlahnya. Bahan diganti dengan laser merah dan dilakukan percobaan yang sama. Kemudian cincin yang terbentuk diamati hasilnya dan dicatat.

Percobaan dilakukan variasi jarak fokus ke celah yang selanjutnya akan disebut  $\rho'$  dan jarak dari celah ke layar atau  $r'$ . Dengan memvariasi  $\rho'$  mulai dari 30 cm dan bertambah setiap 5 cm hingga mencapai jarak 100 cm demikian juga dengan  $r'$  yang dimulai dari jarak 400 cm dan terus berkurang sampai 330 cm. Pada setiap variasi  $\rho'$  dan  $r'$ , dilakukan pemvariasian jari – jari celah juga, yaitu 1,5 mm, 1,0 mm dan 0,5 mm. Kemudian diamati perubahan jumlah cincin yang terjadi pada layar dan mencatat jumlah cincin yang terbentuk.

### Variabel Pengamatan

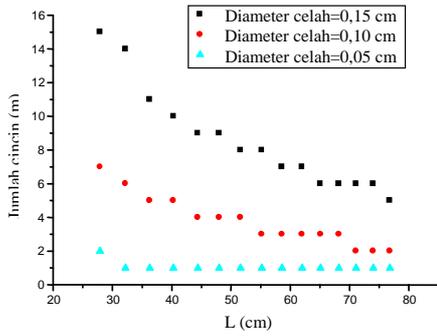
Dalam penelitian kali ini digunakan dua variabel yaitu variabel tetap dan variabel tidak tetap. Diameter celah  $R_1 = 1,5$  mm  $R_2 = 1,0$  mm dan  $R_3 = 0,5$  mm sinar laser pointer hijau dengan  $\lambda = 532$  nm dan sinar laser merah dengan  $\lambda = 638,7$  nm sebagai variabel tetap. Sedangkan jarak sumber ke celah ( $\rho'$ ) dengan satuan cm, jarak dari celah ke layar pengamatan ( $r'$ ) dengan satuan cm dan jumlah cincin gelap terang ( $m$ ) sebagai variabel tidak tetap.

Persamaan yang hendak diuji adalah persamaan (2.5) yaitu  $A = \frac{\rho'}{(\rho' + r')} \pi r' \lambda$ , persamaan (2.8)  $\lambda = \frac{\pi A}{L}$  dan persamaan (2.9)  $m \sim \frac{1}{L}$ .

## ANALISIS DATA

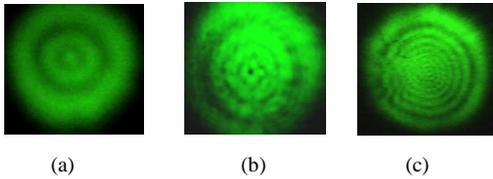
### Laser Hijau

Pada keadaan dimana jarak antara sumber dan celah ( $\rho'$ ) berubah-ubah, maka jumlah cincin ( $m$ ) yang terlihat pada layar pada saat eksperimen juga berubah.



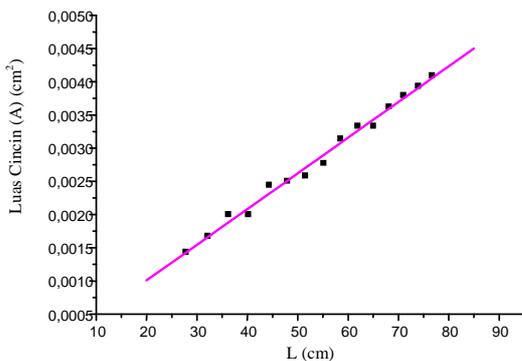
**Gambar 5.** Grafik Perubahan Jumlah Cincin ( $m$ ) Terhadap Jarak Sumber Ke Layar ( $L$ ).

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa, semakin jauh  $\rho'$  semakin berkurang pula nilai  $m$ , dan semakin kecil radius celah, semakin sedikit pula cincin yang terlihat pada layar.



**Gambar 6.** Pola Difraksi Fresnel Dengan Laser Hijau Pada Celah Lingkaran Dengan  $L$  Yang Semakin Besar, (a) 5 cincin (b) 8 cincin (c) 15 cincin.

Dari pola difraksi diatas cincin dengan jumlah ganjil memiliki titik ditengah yang terang. Sedangkan cincin dengan jumlah genap, diperoleh warna cincin ditengah yang gelap. Dan dapat dihitung luas masing-masing cincin baik gelap maupun terang dengan persamaan (2.6). Sedangkan panjang gelombang diperoleh dengan grafik perhitungan berikut dengan hasil  $\lambda = (516,8 \pm 0,4)$  nm.

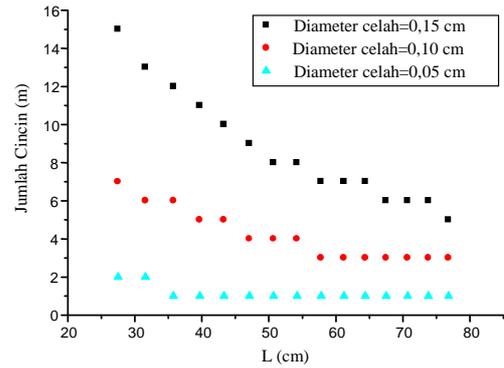


**Gambar 4.8** Grafik Perhitungan Panjang Gelombang Laser Hijau

### Laser Merah

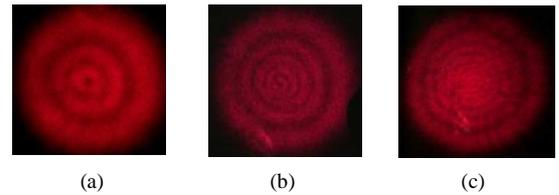
Sama halnya dengan laser hijau pada metode yang sama, bedanya adalah pada laser merah nilai  $m$  yang diperoleh relatif lebih kecil dibandingkan laser hijau. Hal ini disebabkan karena energi pada laser hijau lebih besar dibandingkan laser merah sedangkan energi berbanding terbalik dengan besaran panjang gelombang.

Karena jumlah cincin dipengaruhi oleh perubahan jarak sumber ke celah, maka semakin jauh  $\rho'$  semakin berkurang pula nilai  $m$ , dan semakin kecil radius celah, semakin sedikit pula cincin yang terlihat pada layar.

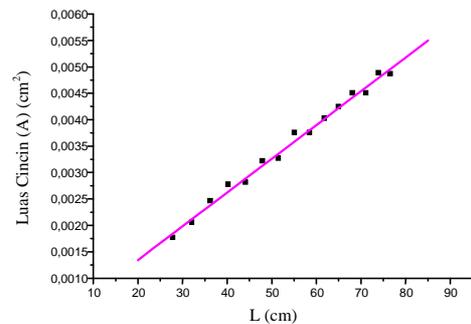


**Gambar 7.** Grafik Perubahan Jumlah Cincin ( $m$ ) Terhadap Jarak Sumber Ke Layar ( $L$ )

Dibawah ini disajikan gambar hasil difraksi Fresnel menggunakan laser dioda merah. Pada gambar (a) dan (b) jumlah cincinnya genap hal ini dapat diketahui meskipun tanpa menghitung terlebih dahulu, yaitu berdasarkan lingkaran paling tengah pada pola difraksi Fresnel. Apabila lingkaran pusat berupa titik gelap, maka cincin yang terbentuk berjumlah genap, sedangkan apabila lingkaran pusat berupa titik terang, maka cincin yang terbentuk berjumlah ganjil .



**Gambar 8.** Pola Difraksi Fresnel Dengan Laser Hijau Pada Celah Lingkaran Dengan  $L$  Yang Semakin Besar, (a) 6 cincin (b) 10 cincin (c) 13 cincin.



**Gambar 9.** Grafik Perhitungan Panjang Gelombang Laser Merah

Dan berdasarkan grafik pada gambar 4.10 diperoleh nilai panjang gelombang pada laser merah dengan hasil  $\lambda = (649,2 \pm 0,5)$  nm.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian, pengolahan data, hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan jumlah cincin sangat dipengaruhi oleh perubahan jarak dari sumber ke celah

2. Untuk perubahan jarak sumber ke celah yang semakin besar, maka kerapatan cincin akan semakin berkurang
3. Nilai  $m$  sangat bergantung pada panjang gelombang dan radius celah yang dilewatinya
4. Nilai panjang gelombang untuk laser hijau berdasarkan grafik perhitungan adalah  $(517,2 \pm 0,9)$  nm dan untuk laser merah adalah  $(645,3 \pm 0,8)$  nm.

#### **Saran**

Untuk mendapatkan hasil seperti yang diharapkan, sehingga diperoleh harga pengukuran yang sesuai dengan perhitungan, maka untuk penelitian – penelitian selanjutnya, perlu dilakukan hal – hal sebagai berikut:

1. Menggunakan bangku optik agar pengukuran lebih teliti sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat.
2. Memperbanyak variasi sumber gelombang dan model serta ukuran celah.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]Alonso, M. & Finn, E. J., 1992, *Dasar-Dasar Fisika Universitas*, Jilid 2, edisi 2, Terjemah : L. Prasetyo & Ir.K.Hadi, Jakarta : Erlangga.
- [2]Hecht, E., 1983, *Teori dan Soal Optik*, Terjemah: Jamhoer, Winarto, Lestari, Burzaman, Bandung : Armico.
- [3]Suprayitno, 1997, *Pengukuran Panjang Gelombang Dan Indek Bias Udara Menggunakan Interferometer Michelson*, Semarang : FMIPA UNDIP.
- [4]Sutini, 2003, *Difraksi Fraunhofer Sebagai Metode Alternatif Sederhana Spektrometer*, Semarang : FMIPA UNDIP.
- [5]Tjia, M.O., 1993, *Gelombang*, Bandung, Penerbit ITB.
- [6]Wikipedia, *Fresnel*, <http://www.wikipedia.org/fresnel>, Februari 2007

