

## Pengukuran Indeks Bias Air Melalui Eksperimen Kisi Difraksi Keping Compact Disc (CD)

Yuli Hastiani<sup>1</sup>, Moh. Toifur<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Magister Pendidikan Universitas Ahmad Dahlan  
Kampus II, Jl. Pramuka 42 Lt. 3, Telp. (0274) 563515 ext. 2302, Yogyakarta  
E-mail : yulihastiani@yahoo.com<sup>1</sup>, mtoifur@yahoo.com<sup>2</sup>

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai indeks bias air menggunakan bantuan keping *Compact Disc* (CD) sebagai kisi. Keping CD terdiri dari dua jenis yaitu CD kosong dan keping CD yang terisi data penuh. Metode penelitian dimulai dari pembuatan tempat kisi, peyangga, tempat cairan, dan membersihkan lapisan CD. Untuk menentukan konstanta kisi dilakukan dengan cara menyinari kisi pada medium udara menggunakan sumber cahaya laser dan tampak pola gelap-terang (difraksi) pada layar. Jarak terang pusat terhadap terang pertama ( $y_u$ ) diukur menggunakan penggaris kemudian dianalisis menggunakan persamaan linier garis lurus yaitu dengan analisis regresi linier tanpa bobot. Pengukuran dilakukan dengan memvariasi jarak kisi terhadap layar pengamatan. Cara yang sama dilakukan pada medium air yaitu menyinari kisi pada medium air menggunakan sumber cahaya laser. Pola difraksi yang terjadi pada layar yaitu jarak terang pusat terhadap terang pertama ( $y_a$ ) diukur menggunakan penggaris. Nilai indeks bias air diperoleh melalui perbandingan hasil pengukuran rata-rata  $y_u$  dengan rata-rata  $y_a$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks bias air pada keping CD kosong sebesar  $n_a = (1,24 \pm 0,02)$  dan pada CD dengan data penuh  $n_a = (1,15 \pm 0,02)$ .

**Kata kunci :** indeks bias air, kisi difraksi, *compact disc*, regresi linier.

### I. Pendahuluan

Cahaya sebagai gelombang dapat mengalami peristiwa difraksi yaitu tampak ada gelap-terang. Peristiwa difraksi cahaya dapat dilihat melalui sela-sela jari yang dirapatkan dan diarahkan pada sumber cahaya yang jauh, misalnya lampu neon pada papan iklan, atau dapat juga melalui kisi tenunan kain pada payung yang dikenai sinar lampu jalan. Efek difraksi ini sangat kecil, sehingga untuk melihatnya perlu pengamatan yang cermat. Sumber cahaya pada umumnya berukuran agak lebar sehingga pola yang dihasilkan oleh satu titik pada sumber akan saling bertindihan dengan yang dihasilkan oleh titik lain. Sumber cahaya pada umumnya tidak monokromatik, pola dari berbagai panjang gelombang akan saling bertumpang sehingga efek difraksinya semakin tidak jelas (Halliday dan Resnick, 1984).

Menurut Giancoli (2001), untuk memahami timbulnya pola difraksi yaitu menganalisis kasus penting dari cahaya monokromatik yang melewati celah sempit. Celah sempit sejumlah besar celah paralel yang berjarak sama disebut kisi difraksi. Kisi dapat dibuat dengan mesin presisi berupa garis-garis paralel yang sangat halus dan teliti di atas pelat kaca. Jarak yang tidak tergores diantara garis-garis tersebut berfungsi sebagai celah.

Salah satu media kisi difraksi sederhana yaitu memanfaatkan keping *Compact Disc* (CD). Apabila sumber cahaya putih berukuran kecil menerangi piringan ini, cahaya terdifraksi membentuk "lajur" berwarna yang merupakan campuran pola difraksi dari garis-garis tersebut (Halliday, Resnick, dan Walker, 2010).

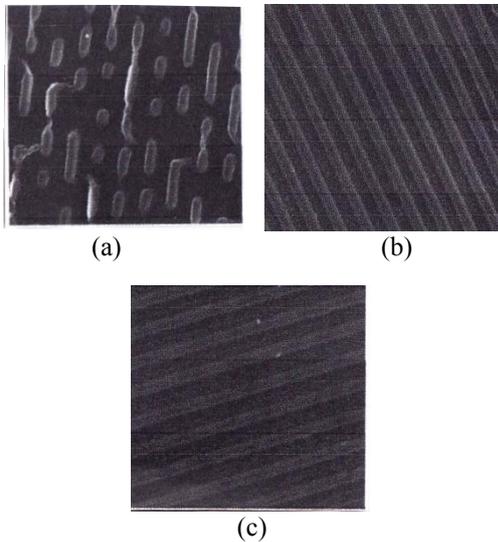
Penelitian ini akan menentukan nilai indeks bias air  $n_a$  melalui konstanta kisi difraksi  $d$  keping CD baik yang belum terisi data maupun yang terisi data penuh. Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan (Supliyadi, Khumaedi, dan Sutikno, 2010) adalah pengukuran konstanta kisi difraksi menggunakan keping *Digital Versatile Disc* (DVD) dan *Video Compact Disc* (VCD).

### II. Pembahasan

#### 2.1 Landasan Teori

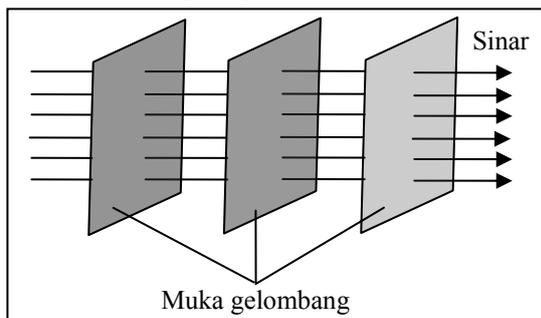
Struktur mikroskopik keping *Compact Disc* (CD) berbeda ketika diberi perlakuan. Perbedaan *pressed* CD (CD bajakan), *blank* CD-R (CD-R yang masih kosong), dan *burned* CD-R (CD-R yang telah diisi data) ditunjukkan sebagaimana Gambar 1. Pada CD bajakan tampak adanya goresan pada lapisan plastik (Gambar 1a). Gambar 1b menunjukkan CD kosong yang berisi alur pada jalur spiral. Sedangkan Gambar 1c menunjukkan struktur mikroskopik pada CD yang telah diisi data. Struktur CD kosong

dengan CD data memiliki struktur mikroskopik yang identik tetapi tidak tampak oleh mata karena memiliki orde kecil yaitu dalam satuan  $\mu\text{m}$  (Jose, dkk, 2008).



Gambar 1. Gambar permukaan menggunakan Scanning Electron Microscope (a) CD bajakan, (b) CD kosong, (c) CD yang telah diisi data (Jose, dkk, 2008).

Radiasi monokromatik merupakan radiasi elektromagnet, terutama radiasi tampak, dengan hanya satu frekuensi atau panjang gelombang. Radiasi monokromatik sempurna tidak dapat dihasilkan, tetapi laser menghasilkan radiasi dengan pita frekuensi yang sempit.



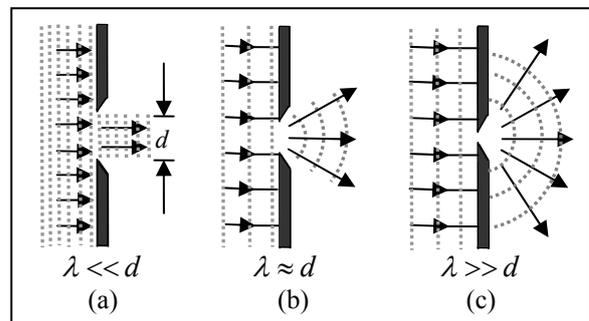
Gambar 2. Sebuah gelombang bidang merambat ke kanan. Sinar-sinar yang selalu menuju ke arah perambatan gelombangnya, merupakan garis-garis lurus yang tegak lurus muka-muka gelombang (Serway dan Jewett, 2010).

Bidang optika geometri mencakup studi tentang perambatan cahaya, dengan asumsi bahwa cahaya merambat ke arah yang tetap dalam garis lurus saat melalui suatu medium yang homogen dan berubah arahnya saat menemui permukaan suatu medium yang berbeda atau jika sifat-sifat optis dari mediumnya tidak homogen, baik dalam ruang maupun waktu. Untuk memahami pendekatan sinar

Pengukuran Indeks Bias Air...

diilustrasikan pada Gambar 2. Sinar-sinar dari sebuah gelombang adalah garis-garis lurus yang tegak lurus muka-muka gelombang untuk sebuah gelombang bidang. Dalam pendekatan sinar, diasumsikan bahwa suatu gelombang yang bergerak melalui sebuah medium akan merambat dalam suatu garis lurus yang searah sinarnya (Serway dan Jewett, 2010).

Jika gelombang tersebut menemui suatu penghalang di mana terdapat suatu bukaan berbentuk lingkaran yang diameternya jauh lebih besar daripada panjang gelombangnya, seperti pada Gambar 3a, gelombang yang muncul dari bukaan akan terus bergerak sepanjang suatu garis lurus (terlepas dari adanya beberapa efek batas yang kecil): maka pendekatan sinarnya adalah sah. Jika diameter bukaan berada pada tingkat besaran yang sama dengan panjang gelombang, seperti pada Gambar 3b, maka gelombangnya akan menyebar dari bukaan ke segala arah. Efek ini disebut *difraksi*. Terakhir, jika bukaannya jauh lebih kecil daripada panjang gelombang, maka bukaannya dapat dianggap sebagai suatu sumber titik dari gelombang-gelombang (Gambar 3c). Efek-efek yang sama terlihat saat gelombang-gelombang menemui benda yang tidak bening dengan dimensi  $d$ . Dalam kasus ini, ketika  $\lambda \ll d$ , benda akan menghasilkan suatu bayangan yang tajam (Serway dan Jewett, 2010).



Gambar 3. Sebuah gelombang bidang dengan panjang gelombang  $\lambda$  datang pada sebuah penghalang di mana terdapat sebuah bukaan dengan diameter  $d$ .

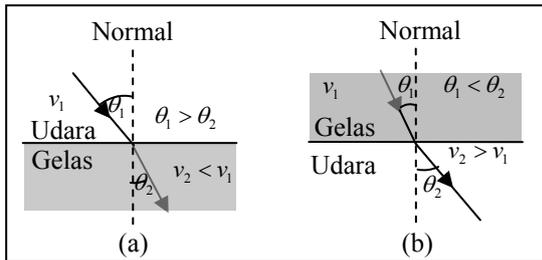
- (a) Ketika  $\lambda \ll d$ , sinar-sinarnya terus berada dalam suatu lintasan garis lurus, dan pendekatan sinarnya tetap sah.
- (b) Saat  $\lambda \approx d$ , sinar-sinarnya menyebar setelah melalui bukaan.
- (c) Ketika  $\lambda \gg d$ , bukaan berbentuk sebagai suatu sumber titik yang memancarkan gelombang-gelombang bola (Serway dan Jewett, 2010).

Menurut Serway dan Jewett (2010), ketika seberkas sinar cahaya yang merambat melalui suatu medium transparan menemui suatu batas dari medium transparan lainnya, seperti yang ditunjukkan Gambar 4, sebagian energinya dipantulkan dan sebagian lagi memasuki medium

kedua. Sinar yang memasuki medium kedua dibelokkan di daerah perbatasan kemudian dibiaskan. Sinar datang, sinar pantul, dan sinar yang dibiaskan semuanya terletak pada bidang yang sama. Sudut bias,  $\theta_2$  pada Gambar 4 bergantung pada sifat-sifat dari kedua medium dan pada sudut datang. Persamaannya ditunjukkan oleh Persamaan (1).

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{tetap} \quad (1)$$

dimana  $v_1$  adalah kelajuan cahaya di medium pertama, dan  $v_2$  adalah kelajuan cahaya di medium kedua.



Gambar 4. (a) Seberkas sinar cahaya berpindah dari udara ke kaca, lintasannya mendekati normal, (b) Saat sinarnya berpindah dari kaca ke udara, lintasannya menjauhi normal (Serway dan Jewett, 2010).

Secara umum, kelajuan cahaya dalam semua bahan lebih kecil dibandingkan kelajuannya di ruang hampa udara. Terlebih lagi, cahaya merambat pada kelajuan maksimalnya di ruang hampa. Indeks bias didefinisikan pada Persamaan (2).

$$n \equiv \frac{c}{v} \quad (2)$$

dalam hal ini:

$n$  = indeks bias

$c$  = kelajuan cahaya di ruang hampa udara

$v$  = kelajuan cahaya pada bahan

Suatu bagian dari kisi difraksi digambarkan pada Gambar 5. Suatu gelombang datang dari kiri, normal terhadap bidang kisi. Pola yang diamati pada layar di sebelah kanan adalah hasil dari gabungan efek interferensi dan efek difraksi. Setiap celah menghasilkan difraksi dan sinar-sinar yang terdifraksi saling berinterferensi untuk menghasilkan pola akhirnya.

Gelombang-gelombang dari semua celah ketika keluar dari celah sefase. Untuk sembarang arah dengan  $\theta$  yang diukur dari garis horizontal, gelombang-gelombangnya harus menempuh panjang lintasan yang berbeda sebelum mencapai celah. Beda lintasan tersebut sama dengan satu panjang gelombang atau merupakan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombangnya, maka gelombang-gelombang dari semua celahnya akan sefase pada layar dan akan terlihat rumbai terang pada layar.

Keadaan maksimum-minimum dapat ditentukan oleh Persamaan (3).

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (3)$$

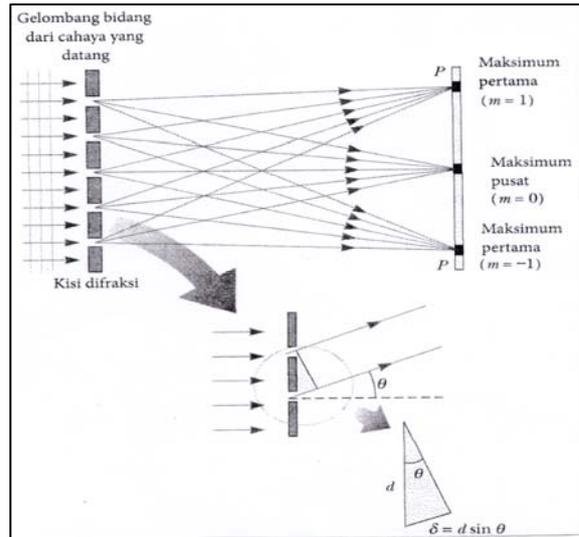
dalam hal ini:

$d$  = lebar celah (m)

$\theta$  = sudut antara garis terang pusat dan garis terang orde ke- $m$

$m$  = orde garis terang ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ )

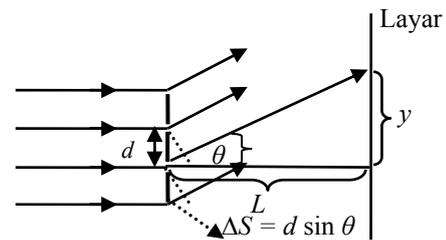
$\lambda$  = panjang gelombang cahaya (m)



Gambar 5. Tampak samping dari suatu kisi difraksi. Jarak antar celahnya adalah  $d$ , dan beda lintasan antara celah-celah yang bersebelahan adalah  $d \sin \theta$  (Serway dan Jewett, 2010).

### 2.2 Metode Analisa Data

Skema perambatan gelombang cahaya kisi difraksi pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema perambatan cahaya pada kisi difraksi.

Jika terjadi beda lintasan antara dua berkas cahaya yang berdekatan  $\Delta S = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$  maka akan terjadi pola difraksi maksimum.

Untuk sudut kecil, tangen suatu sudut sama dengan sinus sudutnya, sehingga diperoleh nilai sinus pada persamaan (4).

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L} \quad (4)$$

dalam hal ini:

$L$  = jarak celah ke layar

$y$  = jarak terang ke-n dari terang pusat.

Berdasarkan Persamaan (3) dan (4) dapat ditentukan persamaan jarak terang ke-n dari terang pusat sebagaimana Persamaan (5).

$$y = \frac{m\lambda}{d} L \quad (5)$$

Untuk mengetahui nilai  $d$  dapat ditentukan dengan menggunakan metode regresi linear tanpa bobot dengan persamaan regresi pada Persamaan (6).

$$y = ax + b \quad (6)$$

Sehingga:

$$a = \frac{m\lambda}{d} \quad (7)$$

Maka:

$$d = \frac{m\lambda}{a} \quad (8)$$

Dengan  $a = \frac{N\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$  atau bisa otomatis

dicari dengan menggunakan grafik linear pada program *Microsoft Excel* hubungan antara penambahan jarak celah ke layar  $L$  terhadap jarak terang ke-n dari terang pusat  $y$ . Ralatnya adalah:

$$S_a = S_y \sqrt{\frac{N}{N\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}} \quad (9)$$

Kemudian untuk ralat  $S_d$  yaitu:

$$S_d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial a}\right)^2} (S_a)^2$$

$$S_d = \frac{m\lambda}{a^2} S_a \quad (10)$$

Untuk dua medium yang berbeda, dan apabila  $n_1 = n_u$  adalah indeks udara dan  $n_2 = n_a$  adalah indeks bias air maka hubungan Persamaan (1) dan (2) secara matematis dapat ditulis sebagaimana Persamaan (7).

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (11)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad (12)$$

Substitusi Persamaan (4) ke Persamaan (12) diperoleh hubungan indeks bias air  $n_a$  dengan jarak terang pusat ke terang pertama dan dengan indeks bias dan  $n_u = 1$  yang ditunjukkan oleh Persamaan (13).

$$\frac{n_a}{n_u} = \frac{y_a}{y_u}$$

$$n_a = \frac{y_u}{y_a} \quad (13)$$

Ralat  $n_a$  sebagaimana persamaan (14).

$$S_{n_a} = \sqrt{\left(\frac{\partial n_a}{\partial y_u} S_{y_u}\right)^2 + \left(\frac{\partial n_a}{\partial y_a} S_{y_a}\right)^2}$$

$$S_{n_a} = \sqrt{\left(\frac{1}{y_a} S_{y_u}\right)^2 + \left(-\frac{y_u}{y_a^2} S_{y_a}\right)^2} \quad (14)$$

### 2.3 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu, membuat model kemudian menguji model tersebut.

Alat-alat yang digunakan terdiri dari, sumber sinar laser, kisi difraksi menggunakan CD-R kosong dan CD-R yang terisi data penuh, paralon sebagai tempat kisi, tempat cairan sekaligus sebagai layar, penyangga, penggaris, air, dan kertas skala sebagai alat bantu untuk mempermudah pengukuran.

Langkah awal menyusun peralatan seperti Gambar 7. Menyalakan sinar laser, mengarahkan pada kisi, mengukur pola difraksi yang terjadi yaitu jarak terang pusat ke terang pertama  $y$ .



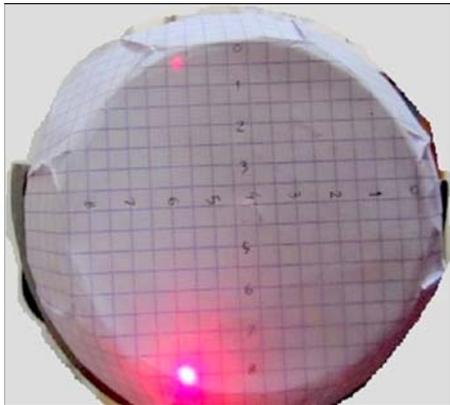
Gambar 7. Set-up eksperimen

Keterangan gambar:

- (1) Sumber cahaya laser
- (2) Tempat kisi
- (3) Tempat cairan
- (4) Layar
- (5) Penyangga

**2.4 Hasil dan Pembahasan**

Hasil eksperimen jarak terang pertama ke terang pusat pada layar ditampilkan pada Gambar 8. Hasil pengukuran pola difraksi pada kisi CD kosong dan CD data penuh medium udara berturut-turut ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.



Gambar 8. Difraksi hasil eksperimen

Hasil analisa data diperoleh nilai konstanta kisi difraksi keping CD data kosong sebesar  $(170,0 \pm 7,2) \times 10^{-6}$  cm dan pada keping CD data penuh konstanta kisi difraksi sebesar  $(136,0 \pm 3,7) \times 10^{-6}$  cm. Secara grafis hasil analisa data pada konstanta kisi keping CD masing-masing ditunjukkan oleh Grafik 1 dan Grafik 2. Tampak bahwa nilai  $R^2 \approx 1$ , hal ini menunjukkan bahwa data hasil pengamatan yang signifikan. Hasil perhitungan nilai  $d$  tersebut, selanjutnya digunakan sebagai acuan sebagai konstanta kisi.

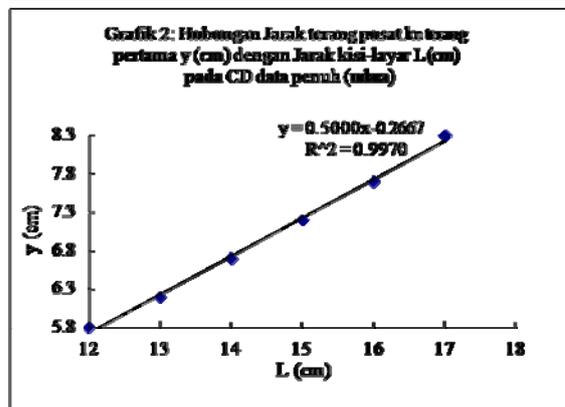
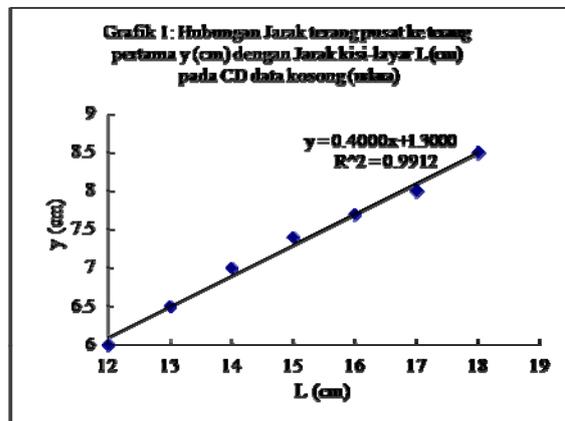
Tabel 1. Data hasil pengamatan difraksi pada kisi CD kosong medium udara

No	$\lambda = 680$ nm	
	$L_i$ (cm)	$y_i$ (cm)
1	12	6.0
2	13	6.5
3	14	7.0
4	15	7.4
5	16	7.7
6	17	8.0
7	18	8.5

Tabel 2. Data hasil pengamatan difraksi pada kisi CD data penuh medium udara

No	$\lambda = 680$ nm	
	$L_i$ (cm)	$y_i$ (cm)
1	12	5.8
2	13	6.2
3	14	6.7
4	15	7.2
5	16	7.7
6	17	8.3

Perbedaan hasil konstanta  $d$  antara keping CD kosong dan CD data penuh karena secara struktur mikroskopik keduanya berbeda akan tetapi tidak nampak terlihat langsung oleh mata (orde  $\mu$ m).



Tabel 3 dan Tabel 4 merupakan hasil pengukuran berturut-turut pada keping CD kosong dan CD data penuh pada medium air.

Tabel 3. Data hasil pengamatan difraksi pada kisi CD kosong medium air

No	$\lambda = 680 \text{ nm}$	
	$L_i \text{ (cm)}$	$y_i \text{ (cm)}$
1	12	4.4
2	13	4.8
3	14	5.1
4	15	5.5
5	16	5.8
6	17	6.2
7	18	6.6
8	19	7.1
9	20	7.6

Tabel 4. Data hasil pengamatan difraksi pada kisi CD data penuh medium air

No	$\lambda = 680 \text{ nm}$	
	$L_i \text{ (cm)}$	$y_i \text{ (cm)}$
1	12	4.8
2	13	5.0
3	14	5.4
4	15	5.8
5	16	6.0
6	17	6.3
7	18	6.7
8	19	7.0
9	20	7.5

Hasil pengukuran jarak terang pusat ke terang pertama keping CD kosong pada medium udara sebesar  $y_u = (7,30 \pm 0,09)$  cm dan pada medium air  $y_a = (5,90 \pm 0,09)$  cm. Sehingga, dapat ditentukan nilai indeks bias air menggunakan Persamaan (13) dan diperoleh nilai  $n_a = (1,24 \pm 0,02)$ . Cara yang sama dapat dihitung pula nilai indeks bias air pada keping CD data penuh. Hasil analisa data jarak terang pusat ke terang pertama pada keping CD data penuh diperoleh  $y_u = (6,98 \pm 0,06)$  cm dan  $y_a = (6,06 \pm 0,08)$  cm maka nilai indeks bias air  $n_a = (1,15 \pm 0,02)$ .

Pengukuran indeks bias air menggunakan keping CD kosong lebih mendekati nilai referensi indeks bias air (yang telah diketahui yaitu 1,33) daripada menggunakan CD data penuh. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa struktur keduanya secara mikroskopik berbeda, sehingga antara CD kosong dan CD data penuh menghasilkan pola difraksi yang berbeda.

### III. Kesimpulan dan Saran

#### Kesimpulan

Keping CD dapat digunakan sebagai kisi difraksi dan dapat diaplikasikan untuk menentukan nilai indeks bias air. Pada eksperimen ini diperoleh nilai indeks bias air pada keping CD data kosong sebesar  $n_a = (1,24 \pm 0,02)$  dan pada keping CD data penuh  $n_a = (1,15 \pm 0,02)$ .

Pengukuran Indeks Bias Air...

#### Saran

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan membuat model *set-up* eksperimen yang lebih teliti. Dapat pula dikembangkan dengan menggunakan variasi konsentrasi air murni H<sub>2</sub>O maupun cairan lain. Untuk mengurangi bias difraksi sebaiknya eksperimen dilakukan di dalam ruang tertutup dan agak gelap.

### IV. DAFTAR PUSTAKA

- Halliday, D dan Resnick, R. 1984. *Fisika Jilid 2*. Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga
- Giancoli, D.C. 2001. *Fisika Jilid 2*. Edisi Kelima. Jakarta: Erlangga
- Halliday, D., Resnick, R., dan Walker, J. 2010. *Fisika Dasar*. Edisi Ketujuh Jilid 2. Jakarta: Erlangga
- Supliyadi, Khumaedi, dan Sutikno. 2010. *Percobaan Kisi Difraksi dengan Menggunakan Keping DVD dan VCD*. Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia 6 (2010) 26-29
- Jose Fernandez-Dorado, Javier Hernandez-Andres, Eva M. Valero, Juan L. Nieves, and Javier Romero. 2008. *A Simple Experiment to Distinguish Between Replicated and Duplicated Compact Disc Using Fraunhofer Diffraction*. American Journal Physics Volume 76 No.12 (2008) 1137-1140
- Serway, R. A. dan Jewett, JW. 2010. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Buku 3 Edisi 6. Jakarta: Salemba Teknika

Yuli Hastiani, dkk