

PEMANFAATAN INTERFEROMETER MICHELSON DALAM MENENTUKAN KARAKTERISTIK PARAMETER FISIS ZAT CAIR

Henok Siagian¹⁾

ABSTRACT

Measurement of thermal coefficient of refractive index (dn/dT) and refractive indices (n) with temperature variation used Michelson Interferometer has been carried out to determine physical parameters of fluids (Carbon tetrachloride) such as: optical permittivity, thermal coefficient of permittivity, specific refraction, molar refraction, molecule radius, total polarizability, relaxation time, and thermal volume expansion coefficient

Kata kunci : Interferometer Michelson, Parameter fisis.

PENDAHULUAN.

Pengukuran indeks bias suatu zat cair adalah penting untuk penilaian sifat dan kemurnian cairan, konsentrasi larutan, dan perbandingan komponen dalam campuran dua zat cair atau kadar (prosentase) yang diekstraksikan dalam pelarutnya (Brink, dkk.1984). Indeks bias adalah termasuk parameter utama yang penting dalam mendesain peralatan (device) optika non linear (Shen, dkk.992).

Indeks bias cairan telah diukur dengan berbagai metode (Hassan, dkk.1994) antara lain : metode deviasi, refraktometer Abbe, dan metode Interferometer Mach-Zehnder. Pada metode sudut deviasi minimum dan refraktometer Abbe keduanya menggunakan cahaya tampak untuk menentukan indeks bias, sehingga hal ini menyebabkan kekurangan telitian pada pengukuran.

Pada penelitian ini, indeks bias zat cair (dalam hal ini dipilih Karbon tetraklorida) akan ditentukan dengan menggunakan Interferometer Michelson. Alasan memilih bahan ini karena zat tersebut banyak digunakan di laboratorium pada percobaan kimia, sehingga perlu diketahui parameter fisiknya sebelum digunakan. Sedangkan penggunaan metode ini dipilih karena pola interferensi yang dihasilkan memiliki intensitas yang tinggi sehingga dapat diamati dan didokumentasi dengan mudah. Pola interferensi yang dihasilkan berupa cincin-cincin gelap terang konsentris dan hanya terjadi apabila berkas cahaya yang digunakan

koheren. Selain itu (Betzler, dkk.1988) perubahan indeks bias yang relatif kecil akibat perubahan temperatur dapat juga ditentukan dengan menggunakan intereferometer.

Parameter fisis zat cair yang dapat ditentukan dengan cara ini (El-Kashef, 1994 ; Hassan, dkk. 1995) adalah : indeks bias, permitivitas optik, koefisien termal indeks bias, koefisien termal permitivitas, refraksi spesifik, refraksi molar, polarisabilitas, jari-jari molekul, waktu relaksasi, dan koefisien termal muai volume. Sebagai pendukung keberhasilan penelitian ini telah dilakukan pengukuran indeks bias air (zat cair transparan) sebagai fungsi temperatur dengan menggunakan Interferometer Michelson (Siagian, 2002).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan parameter fisis zat cair (Karbon tetraklorida) dan hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk menambah daftar parameter fisis bahan yang sudah ada dan menambah khasanah metode karakterisasi bahan yang sudah ada.

Indeks bias (n) suatu bahan termasuk parameter makroskopis (El-Kashef, 1994) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara kecepatan cahaya dalam vakum (c) terhadap kecepatan cahaya dalam medium tersebut (v) yang dirumuskan dengan :

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Parameter-parameter makroskopis yang lain dari zat tersebut (El-Kashef, 1994) adalah :

¹⁾ Drs. Henok Siagian, M.Si adalah dosen Jurusan Fisika FMIPA Unimed

permitivitas ϵ , suseptibilitas χ , kerapatan ρ , massa molekul M , polarisabilitas molekul α , jumlah molekul dalam satu satuan volume N_n dan lain-lain. Parameter-parameter tersebut merupakan sifat optis dan sifat listrik dari bahan tersebut yang mempunyai hubungan satu dengan yang lain sehingga perlu untuk diketahui.

Untuk sebagian besar bahan transparan/tembus cahaya (nonmagnetik dalam daerah frekuensi optis) dapat dianggap $\mu = 1$ (Born & Wolf, 1970) dan kecepatan fase gelombang yang melewatinya adalah :

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (2)$$

Indeks bias dari suatu bahan sangat bergantung kepada panjang gelombang cahaya dan keadaan medium, seperti temperatur, dan kerapatan (Brink, dkk. 1984) ; El-Kashef, 1994). Dengan substitusi pers.(2) ke pers.(1) diperoleh keterkaitan antara indeks bias (n) dengan permitivitas (ϵ) yang dinyatakan (El-Kashef, 1994 ; Hassan, dkk.1995; Born & Wolf, 1970) dengan :

$$n = \epsilon^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Seperti telah disebutkan di atas, bahwa indeks bias zat cair transparan sangat bergantung pada temperatur T . Kebergantungan tersebut dinyatakan sebagai :

$$n = n_0 + \frac{dn}{dT}(T - T_0) \quad (4)$$

dengan n : indeks bias bahan pada temperatur T , n_0 : indeks bias bahan pada temperatur T_0 , T : temperatur tertentu, T_0 :

temperatur kamar, $\frac{dn}{dT}$: perubahan (gradien) indeks bias terhadap temperatur.

Penelitian dengan menggunakan Interferometer Michelson ini menganalisa jumlah frinji yang bergeser melewati medan penglihatan. Pergeseran frinji (Δm) terjadi akibat adanya perubahan temperatur (ΔT) pada sampel. Hubungan antara kedua besaran ini dinyatakan dengan :

$$\Delta m = \frac{2L}{\lambda} \frac{dn}{dT} \Delta T \quad (5)$$

dari persamaan ini, λ : panjang gelombang

Laser He-Ne, L : ketebalan sampel, $\frac{dn}{dT}$:

perubahan indeks bias terhadap temperatur.

Hubungan antara parameter makroskopis ϵ dengan parameter α dan N_n diketahui sebagai persamaan Clausius-Mosotti yang ditulis (El-Kashef, 1994 ; Hassan, dkk. 1995 ; Guenter, 1990) dalam bentuk :

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3} N_n \alpha \quad (6)$$

dengan, M : berat molekul bahan/zat, ρ : kerapatan, N_n : bilangan Avogadro, α : polarisabilitas, ϵ : permitivitas. Jika pers.(3) disubstitusikan ke pers.(6) akan diperoleh :

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3} N_n \alpha \quad (7)$$

yang disebut sebagai persamaan Lorenz-Lorenz (El-Kashef, 1994 ; Hassan, dkk.1995 ; Guenter, 1990) dengan

$$P_{sp} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \text{ disebut refraksi spesifik} \quad (8)$$

dan

$$P_m = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{\rho} \text{ disebut refraksi molar} \quad (9)$$

Debye mengembangkan persamaan Clausius-Mosotti (pers.6) untuk dielektrik polar dengan mengganti polarisabilitas total molekul α dengan sejumlah perubahan polarisabilitas α_0 dan keterkaitan polarisabilitas dengan polarisasi dipol yang sama dengan $\frac{\mu^2}{3kT}$.

Sehingga koreksi Debye terhadap persamaan (6) menjadi (Born & Wolf, 1970) :

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3} N_n \left(\alpha_0 + \frac{\mu^2}{3kT} \right) \quad (10)$$

Persamaan ini dapat diverifikasi secara eksperimental sebagai berikut :

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{4\pi}{3M} \rho N_n \alpha_0 + \frac{4\pi}{9MkT} \rho N_n \mu^2 \quad (11)$$

atau

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4\pi}{3M} \rho N_n \alpha_0 + \frac{4\pi}{9MkT} \rho N_n \mu^2 \quad (12)$$

Besar polarisabilitas (α) dari molekul atau atom non polar sebanding dengan r^3 (dengan r adalah jari-jari atom atau molekul).

Menurut Debye, model sferik molekul yang berotasi dalam medium dengan viskositas η mempunyai waktu relaksasi (Hassan, 1994) menurut persamaan :

$$\tau = \frac{4\pi\eta r^3}{kT} = \frac{3\eta V}{kT} \quad (13)$$

dengan, τ : waktu relaksasi, η : viskositas, k : konstanta Boltzman, T : temperatur mutlak, r : jari-jari molekul, V : volume molekul

Dengan mendiferensiasi persamaan (6) terhadap temperatur (ϵ dan N bergantung T , tidak bergantung pada α) akan diperoleh :

$$\frac{d\epsilon}{dT} = \frac{(\epsilon-1)(\epsilon-2)}{3} \beta \quad (14)$$

dengan β : adalah koefisien termal muai volume.

METODE PENELITIAN

Peralatan dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah : (1) Sumber Cahaya Laser He-Ne (Spectra Physics 156) diameter berkas 1 mm, daya keluaran 1mW dan panjang gelombang $\lambda = 632,8$ nm, (2) Pemecah berkas (Beam splitter) 1 buah, (3)

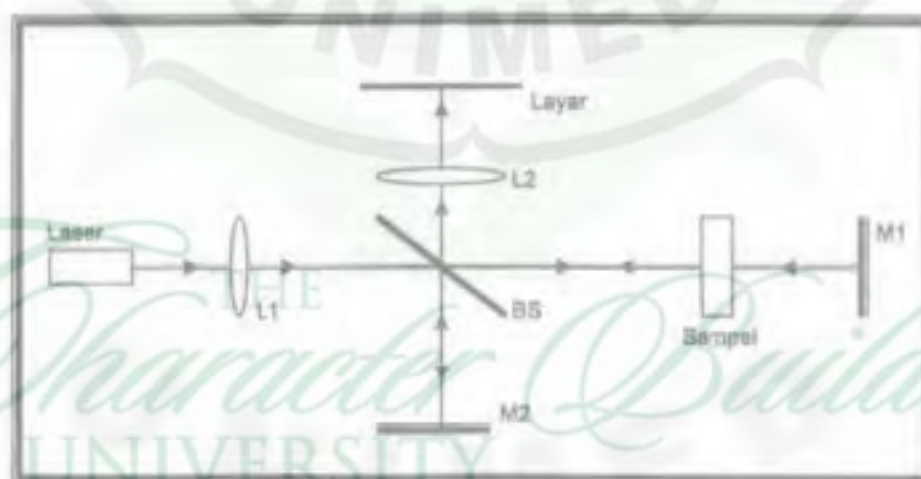
Cermin datar 2 buah (M1 dan M2), (4) Lensa 2 buah (L1 dan L2), (5) T empat sampel (TS) dan Termometer digital 1 buah, (6). Pemanas (heater), dan (7) Karbon tetraklorida.

Peralatan disusun pada pelat besi berukuran (101,5 cm x 76 cm x 10 cm) yang sudah dibuat bebas getaran (seperti pada Gambar 1).

Langkah-langkah pengukuran.

Sinar laser He-Ne terlebih dulu dihidupkan 15 menit sebelum dilakukan pengukuran.

Cahaya dari sumber dengan $\lambda = 632,8$ nm berkasnya diperbesar dengan memakai lensa L1 diteruskan ke pemecah berkas (BS). Oleh pemecah berkas sebahagian cahaya dipantulkan ke cermin M2 dan sebahagian lagi diteruskan ke cermin M1 melewati sampel. Kemudian cahaya yang dipantulkan cermin M2 dengan cahaya yang dipantulkan cermin M1 setelah melewati sampel, berinterferensi dan hasil interferensinya diperbesar oleh lensa L2 dan ditangkap pada layar. Hasil interferensinya berupa cincin-cincin terang gelap konsentris. Kemudian dihitung jumlah perubahan frinji (Δm) yang terjadi setiap temperatur sampei turun/berubah 1°C (dalam penelitian ini temperatur menurun)



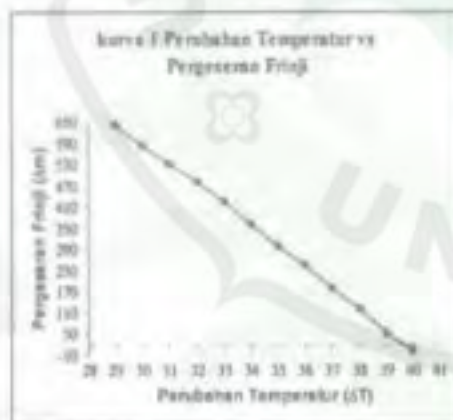
Gambar 1. Bagan sebuah Interferometer Michelson

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN
Hasil Penelitian.

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data jumlah pergeseran/perubahan pola frinji akibat penurunan temperatur Karbon tetraklorida, yang disajikan dalam bentuk Tabel 1. dan Gambar 1.

Tabel 1.
 Perubahan temperatur vs Pergeseran frinji

$\Delta T^{\circ}\text{C}$	Δm
40	0
39	50
38	120
37	180
36	245
35	300
34	360
33	425
32	480
31	530
30	580
29	640



Gambar 1. Perubahan Temperatur vs Pergeseran Frinji

Dari Gambar 1, diperoleh nilai koefisien arah $\frac{\Delta m}{\Delta T} = -58,6713$. Nilai koefisien arah ini disubstitusikan ke persamaan (5), maka akan diperoleh nilai koefisien perubahan indeks bias terhadap temperatur $\frac{dn}{dT} = -1,23757 \times 10^{-3}$

Harga $\frac{dn}{dT}$ ini disubstitusi ke persamaan (4), maka diperoleh harga indeks bias (n) untuk berbagai T. Besarnya indeks bias pada temperatur kamar (n_0) pada persamaan (4) ditentukan dengan refraktometer Abbe dan besarnya $n_0 = 1,45663$. Hasil perhitungan indeks bias (n) untuk setiap T dibuat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Temperatur (T) vs indeks bias (n)

T $^{\circ}\text{C}$	n
27	1,45663
28	1,45539
29	1,45415
30	1,45291
31	1,45167
32	1,45044
33	1,44920
34	1,44796
35	1,44672
36	1,44549
37	1,44425
38	1,44301
39	1,44177
40	1,44054

Dengan substitusi harga indeks bias (n) ke persamaan (3) akan diperoleh nilai permitivitas (ϵ) dibuat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Temperatur vs Permitivitas

T $^{\circ}\text{C}$	ϵ
27	2,12177
28	2,11816
29	2,11455
30	2,11094
31	2,10734
32	2,10377
33	2,10018
34	2,09658
35	2,09299
36	2,08944
37	2,08585
38	2,08227
39	2,07870
40	2,07515

Dari data tabel 3, diperoleh nilai koefisien termal permitivitas : $\frac{d\epsilon}{dT} = -3,58009 \times 10^{-3}$.

Berdasarkan nilai indeks bias pada temperatur kamar (n_0) dapat dihitung refraksi spesifik dan refraksi molar dengan menggunakan persamaan (8) dan (9) dengan hasil sebagai berikut : refraksi spesifik $P_{sp} = 0,272157$ dan refraksi molar $P_m = 26,329050$. Polarisabilitas total (α) dihitung dengan menggunakan persamaan (7) diperoleh : $\alpha = 1,104465 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$. Jari-jari molekul : $r = 2,18603 \times 10^{-8} \text{ cm}$. Untuk menentukan waktu relaksasi (τ) digunakan persamaan (13) diperoleh hasil : $\tau = 3,04105 \times 10^{-9}$ detik. Koefisien termal muai volume dihitung dengan persamaan (14) diperoleh : $\beta = 2,32288 \times 10^{-3}$.

Pembahasan.

Temperatur sangat berpengaruh terhadap besar nilai indeks bias karbon tetraklorida, hal ini terlihat dari turunnya nilai indeks bias dengan naiknya temperatur. Laju penurunannya $= -123,757 \times 10^{-5}$ per derajat Celsius (seperti terlihat pada kurva 2). Hal ini dapat dijelaskan karena pada temperatur yang lebih tinggi kerapatan optik

suatu zat itu berkurang, sehingga indeks bias pun turun (Brink, dkk. 1984).

Tempat sampel (sel) pada penelitian ini ditetapkan $L = 1,5 \text{ cm}$, dengan alasan jika L besar akan mengakibatkan fluktuasi pergeseran pola frinji sangat besar sehingga sulit untuk dihitung. Hal ini dapat dijelaskan, apabila panjang sel L besar, maka temperatur sekeliling sampel (di dalam sel) tidak merata di tepi dan di tengah. Jika temperatur sampel tidak merata, maka pola frinji yang terbentuk juga menjadi tidak teratur sehingga penghitungan pergeseran frinji akan terganggu.

Interferometer yang digunakan pada penelitian adalah Interferometer Michelson penyederhanaan dari metode yang digunakan Richerzagen, yaitu dengan menempatkan cermin M1 di luar sampel (Richerzagen, 1966). Dengan demikian cermin dapat disetel dengan mudah dan pergeseran pola frinji yang terbentuk pada layar dapat dilihat dengan jelas dan dihitung dengan teliti. Dengan menggunakan Interferometer Michelson ini semua zat cair yang transparan (tembus cahaya) dapat ditentukan parameter fisiknya, seperti yang telah dilakukan di atas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil karakterisasi parameter fisis Karbon tetraklorida adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Parameter Fisis Karbon tetraklorida hasil penelitian ($\rho = 1,594 \text{ gr/cm}^3$; $M = 153,82 \text{ gr/mol}$; $\eta = 0,96 \text{ cp}$; $\lambda = 632,8 \text{ nm}$)

Parameter Fisis	Hasil Penelitian
Indeks bias (n) pada temperatur kamar	$n_0 = 1,45663$.
Koefisien termal indeks bias ($\frac{dn}{dT}$)	$\frac{dn}{dT} = -1,23757 \times 10^{-4}$
Permitivitas optik (ϵ)	$\epsilon = 2,12177$
Koefisien termal permitivitas ($\frac{d\epsilon}{dT}$)	$\frac{d\epsilon}{dT} = -3,58009 \times 10^{-3}$.
Refraksi spesifik (P_{sp})	$P_{sp} = 0,272157$
Refraksi molar (P_m)	$P_m = 26,329050$
Jari-jari molekul (r)	$r = 2,18603 \times 10^{-8} \text{ cm}$.
Polarisabilitas (α)	$\alpha = 1,104465 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$
Waktu relaksasi (τ)	$\tau = 3,04105 \times 10^{-9}$ detik
Koefisien muai termal volume (β)	$\beta = 2,32288 \times 10^{-3}$.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka dikemukakan saran sebagai berikut : (1) Untuk mengurangi kekeliruan dalam perhitungan pergeseran pola frinji sebaiknya dilakukan dengan counter/ computer, (2) Termometer untuk kontrol perubahan temperatur sebaiknya digunakan termometer yang mempunyai ketelitian $\pm 1^{\circ}\text{C}$, agar dapat dicapai pengukuran indeks bias yang lebih teliti hingga desimal keenam, dan (4) Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk bahan/zat cair yang lain, guna menambah daftar parameter fisis bahan yang sudah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Betzler, K. et al. (1998). *Interferometric Measurement of Refractive Indices*, Rev.Sci.Instrum, 59, 652.
- Born, M. and Wolf, E. (1970). *Principles of Optics*, 4th ed. London, Pergamon.
- Brink, O.G., Flink, R.J., and Sachri, S., (1984). *Dasar-dasar Ilmu Instrumen*, Bandung, Binacipta.
- El-Kashef, H., (1994). *Optical and Electrical Properties of Materials*, Rev.Sci. Instrum, 65, 2056.
- Guenther, R.D., (1990). *Modern Optics*, New York, John Wiley.
- Hassan, et al., (1995). *Interferometric Measurement of the Physical Constants of Laser Dye Solvents*, Rev.Sci.Instrum, 66, 38.
- Kallard, T., (1977). *Exploring Laser Light*, New York, Optosonic Press.
- Richerzagen, B., (1996). *Interferometer for Measuring the Absolute Refractive Index of Liquid Water as a Function of Temperature at 1,064 μm* , Appl.Opt., 35, 1650.
- Shen, H.Y., et al. (1992). *Measurement of Refractive Indices and Thermal Refractive Index Coefficients of LiNbO₃ Crystal Doped with 5% mol MgO*, Appl.Opt.31, 6695.
- Siagian, H., (2002). *Perubahan Indeks Bias Sebagai Fungsi Temperatur*, Jurnal Pendidikan Science, No.3. vol.26, 20.

UNIMED

THE
Character Building
UNIVERSITY