

Pengukuran Indeks Biasan Cecair dan Dielektrik Lut Sinar Menggunakan Kaedah Anjakan Alur Laser

W. Mahmood Mat Yunus dan Chang Feng Ling

*Jabatan Fizik
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Pertanian Malaysia
43400 UPM, Serdang, Selangor, Malaysia*

Diterima 30 January 1995

ABSTRAK

Satu kaedah pengukuran indeks biasan cecair dan dielektrik lut sinar secara anjakan alur Gaussian laser dilaporkan. Pengukuran indeks biasan air suling, aseton, kaca dan perspex dilakukan pada suhu bilik 21°C, dengan jarak gelombang laser HeNe (5mW), 632.8 nm. Nilai-nilai indeks biasan direkodkan masing-masing sebagai; 1.333, 1.341, 1.537 dan 1.476. Pengukuran profil alur Gaussian laser dilakukan dengan kaedah anjakan pinggir mata pisau. Kaedah ini boleh digunakan untuk mengukur indeks biasan dari jarak gelombang UV hingga jarak gelombang infra merah dan boleh diubah suai untuk beroperasi secara automatik dengan kawalan komputer.

ABSTRACT

A method for measuring refractive index of liquid and transparent dielectric using a laser beam displacement technique is presented. Measurements of refractive index for distilled water, acetone, glass and perspex were carried out at room temperature at HeNe laser (5mW) 632.8 nm wavelength. The values obtained for these samples were recorded as 1.333, 1.341, 1.537 and 1.476 respectively. Measurement of laser beam profile was done using a knife edge method. This method can be used for measuring refractive index from UV to infra-red and can also be modified to be automatically operated by computer control.

Kata kunci: indeks biasan, anjakan alur laser, alur Gaussian dan pinggir mata pisau

PENGENALAN

Indeks biasan n ialah salah satu parameter optik yang penting bagi sesuatu bahan. Beberapa kaedah untuk mengukur indeks biasan bahan boleh didapati dalam beberapa buku teks optik (Born and Wolf 1965; Longhurst 1967; Hecth 1984) dan kertas-kertas jurnal (Grange *et al.* 1976; Jenkins 1982; Bass and Weidner 1984; Cariou *et al.* 1986; Mahmood and Azizan

1988; Mahmood 1989). Untuk medium cecair misalnya nilai indeks biasan boleh diukur dengan kaedah penentuan sudut sisihan minimum satu prisma berongga (Grange *et al.* 1976; Jenkins 1982; Mahmood and Azizan 1988; Mahmood 1989), kaedah meterbiasan Abbe (Kuhler *et al.* 1991) dan kaedah sudut kritikal satu prisma (Moreels *et al.* 1984; Sainov and Dushkina 1990). Ketiga-tiga kaedah di atas adalah terhad kepada pengukuran indeks biasan medium pada sinar nampak sahaja, dan hanya memerlukan pengamatan sinar cahaya oleh mata atau satu teleskop. Kertas ini bertujuan membincangkan satu kaedah baru mengukur indeks biasan cecair dan pepejal lut sinar. Kaedah ini boleh mengatasi dua kelemahan yang terdapat pada kaedah yang dibincangkan di atas. Kaedah baru ini berupaya mengukur indeks biasan dalam sela jarak gelombang dari UV hingga kepada jarak gelombang infra merah. Dalam kertas ini, untuk membincangkan kemampuan kaedah ini dalam menentukan nilai indeks biasan cecair dan pepejal dielektrik lut sinar, hanya sinar cahaya nampak (laser HeNe, 632.8 nm) digunakan.

TEORI DAN KAEDAH

Untuk membincangkan kaedah ini kita pertimbangkan satu alur laser melalui satu sel cecair berbentuk segi empat seperti *Rajah 1a*. Tebal dinding sel dan medium cecair masing-masing ialah d_1 dan d_2 dengan indeks biasan masing-masing n_1 dan n_2 . Bila arah alur laser bersudut θ (dengan permukaan sel pada titik A, alur yang keluar pada titik B akan teranjak sebanyak δ . Oleh itu untuk tiga medium yang dilalui oleh alur laser pada *Rajah 1a*, anjakan yang terlibat boleh ditulis dalam sebutan δ_1 dan δ_2 . Untuk sel cecair (*Rajah 1a*) anjakan alur laser δ adalah berfungsi kepada indeks biasan, n_1, n_2, n_0 dan θ dan boleh ditulis sebagai (rujuk *Rajah 1a*),

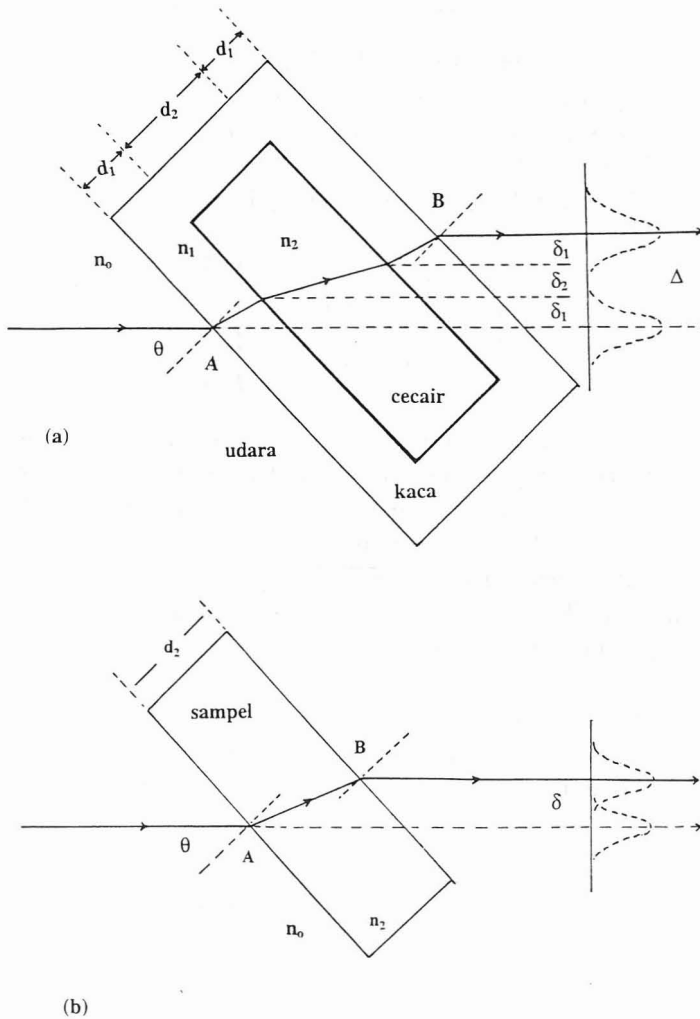
$$\delta(n_0, n_1, n_2, \theta) = \delta_1 + \delta_2 + \delta_1 = 2\delta_1 + \delta_2 \quad (1)$$

δ_1 dan δ_2 adalah anjakan yang berlaku selepas sinar melalui medium 1 dan medium 2. Dengan menggunakan hukum Snell ($n_i \sin \theta_i = n_0 \sin \theta$), δ_1 dan δ_2 boleh ditulis sebagai berikut;

$$\delta_1 = d_1 \left[1 - \frac{n_0 \cos \theta}{(n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right] \sin \theta$$

$$\delta_2 = d_2 \left[1 - \frac{n_0 \cos \theta}{(n_2^2 - n_0^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right] \sin \theta$$

Dengan menggantikan δ_1 dan δ_2 kepada persamaan (1) anjakan alur laser dapat ditulis sebagai berikut;



Rajah 1. Anjakan alur laser melalui (a) sel cecair berbentuk empat segi dan (b) pepejal lut sinar

$$\delta(n_0, n_1, n_2, \theta) = 2d_1 \left[1 - \frac{n_0 \cos \theta}{(n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right] \sin \theta + d_2 \left[1 - \frac{n_0 \cos \theta}{(n_2^2 - n_0^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}} \right] \sin \theta \quad (2)$$

Dari persamaan (2), ternyata dengan mengetahui nilai d_1, d_2 dan n_1 , juga dengan mengukur δ pada sudut θ tertentu yang dipilih, nilai indeks biasan n_2 dapat ditentukan. Untuk mengira nilai n_1 dan d_1 (nilai indeks biasan sel cecair dan tebal dinding sel cecair), ianya dilakukan dengan menulis satu parameter baru, Δ yang boleh ditakrifkan sebagai berikut;

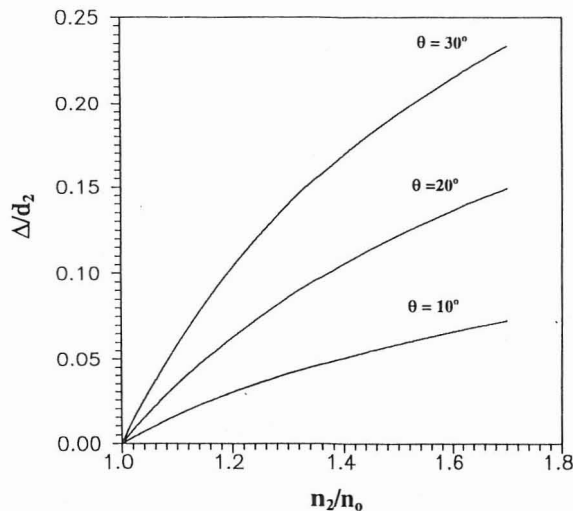
$$\Delta = \delta(n_0, n_1, n_2, \theta) - \delta(n_0, n_1, n_0, \theta) \quad (3)$$

dengan $\delta(n_0, n_1, n_2, \theta)$ membawa maksud anjakan alur laser yang berlaku pada ketika sel di isi dengan cecair dan $\delta(n_0, n_1, n_0, \theta)$ ialah anjakan alur laser ketika sel kosong (sel tanpa sampel cecair) pada nilai sudut θ yang sama. Dengan memasukkan persamaan (2) kepada persamaan (3) kita boleh tulis ungkapan indeks biasan n_2 sebagai,

$$n_2 = n_0 \left[1 + \left\{ \frac{\cos \theta}{\left(\sin \theta - \frac{\Delta}{d_2} \right)} \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \sin \theta \quad (4)$$

Perhatikan persamaan (4) tidak mengandungi sebutan parameter sel, n_1 dan d_1 . Ini bererti dengan mengukur (Δ/d_2) pada satu sudut θ tertentu yang dipilih, kita dapat menentukan nilai indeks biasan n_2 untuk cecair yang diisi ke dalam sel menggunakan persamaan (4). Kaedah ini sensitif hanya bila (Δ/d_2) berubah secara sensitif dengan perubahan (n_2/n_0) pada sudut θ yang dipilih. *Rajah 2* menunjukkan pergantungan nilai (Δ/d_2) kepada (n_2/n_0) mengikut persamaan 4 untuk tiga nilai θ , iaitu 10° , 20° dan 30° .

Untuk mengukur indeks biasan pepejal dielektrik lut sinar dengan kaedah ini kita pertimbangkan semula persamaan (3) dengan menulis parameter Δ sebagai,



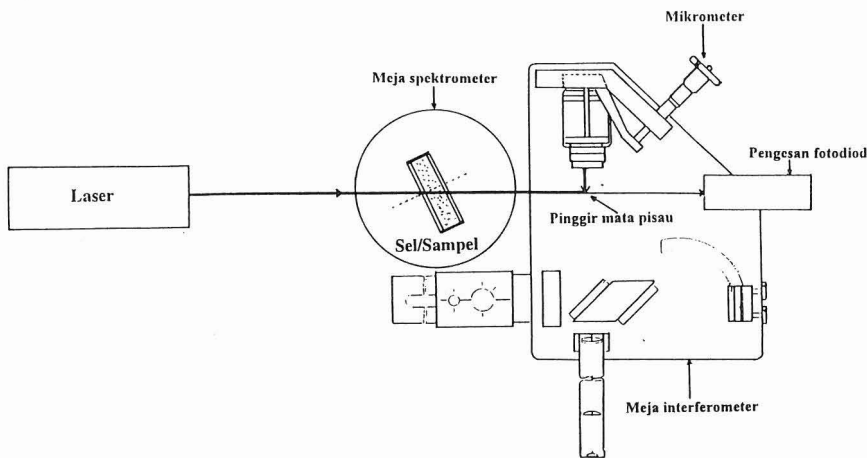
Rajah 2. Contoh pergantungan nilai Δ/d_2 kepada nilai (n_2/n_0) untuk tiga nilai θ , 10° , 20° dan 30°

$$\Delta = \delta(n_0, n_2, \theta) - \delta(n_0, n_2, \theta_0) \quad (5)$$

dengan θ_0 membawa maksud alur laser pada sudut tuju normal ($\theta = 0$) kepada permukaan sampel dielektrik yang berkaitan. Dengan cara tukar ganti serupa dengan kes sampel cecair ternyata indeks biasan pepejal lut sinar juga boleh ditentukan dengan menggunakan rumusan yang sama seperti persamaan (4). Untuk kes ini, $\Delta = \delta$ (lihat *Rajah 1b*).

PENGUKURAN DAN HASIL UJI KAJI

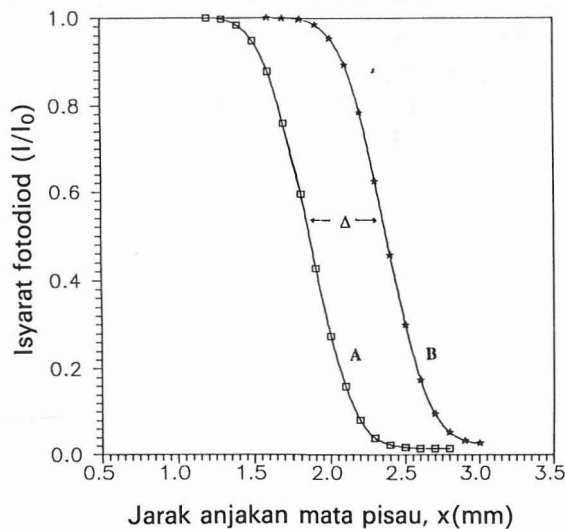
Rajah 3 menunjukkan susunan uji kaji yang diguna untuk mengukur indeks biasan cecair dan pepejal lut sinar. Cecair dimasukkan ke dalam sel kaca empat segi dengan ketebalan $d_2 = 10$ mm dan bersaiz (7 cm × 9 cm). Laser HeNe, 5 mWatt (RS109P) tidak terkutub yang memancarkan sinar merah berjarak gelombang 632.8 nm dengan keluaran alur berprofil Gaussian digunakan sebagai punca cahaya pada keadaan sudut tuju θ dengan permukaan sel kaca. Penentuan profil Gaussian alur laser ditentukan dengan kaedah “pinggir mata pisau” (Talib and Mahmood 1993). Pinggir pisau digerakkan secara mendatar merentasi alur dengan berkeadaan tegak kepada alur laser tersebut dengan langkau 0.1 mm. Keadaan ini dilakukan dengan meletakkan pinggir pisau pada satu meja interferometer di mana nilai anjakan mata pisau dilakukan dengan memutar skru mikrometer berkejituan ± 0.001 mm. Keamatan sinar selepas mengalami halangan mata pisau diukur dengan menggunakan pengesan fotodiod (RS/100 mm²)



Rajah 3. Susunan uji kaji pengukuran indeks biasan menggunakan kaedah anjakan alur Gaussian laser HeNe

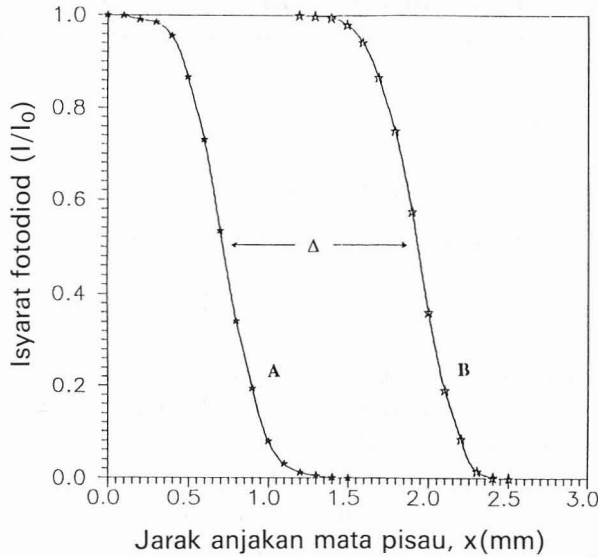
atau pengesan fotoakustik-piezoelektrik (Mahmood dan Talib 1983). Untuk menggunakan persamaan (4) pengukuran keamatan sinar sebagai fungsi kepada jarak translasi pinggir pisau dilakukan pada satu sudut θ semasa sel berisi udara (kosong) dan semasa sel berisi dengan cecair (sampel cecair). Dalam kajian ini sampel cecair adalah terdiri daripada air suling dan asiton, manakala sampel pepejal adalah kaca dan perspeks. Sampel asiton, kaca dan perspek adalah dari jenis gred komersial yang digunakan dalam makmal pengajaran.

Sebelum uji kaji dilakukan ke atas sampel bentuk profil Gaussian, alur laser sebelum dan selepas melalui sampel sel pada sebarang sudut disahkan tidak mengalami perubahan bentuk. Untuk menentukan kaedah ini berupaya digunakan untuk mengukur nilai indeks biasan, uji kaji pertama dilakukan ke atas sampel air suling. *Rajah 4* menunjukkan profil Gaussian alur laser untuk air suling yang diperolehi dengan menggunakan pengesan fotodiod pada sudut tuju 10° . Analisis data *Rajah 4* memberikan nilai $\Delta = 0.443$ mm, dan $n_2 = 1.333$. Nilai ini bersetuju dengan nilai yang



Rajah 4. Profil Gaussian alur laser untuk sampel air suling, A): Sel kosong, B): Sel berisi air suling

dilaporkan oleh Grange *et al.* (1976) dan Dobbins and Peck (1973) dengan perbezaan kurang dari 0.1%. Uji kaji seterusnya dilakukan ke atas sampel asiton, kaca dan perspek. Contoh profil Gaussian untuk sampel asiton ditunjukkan pada *Rajah 5*, manakala nilai indeks biasan untuk sampel-sampel berkenaan disenaraikan dalam Jadual 1. Kesemua pengukuran dalam uji kaji ini dilakukan pada suhu bilik (21°C) dan dilakukan pada pelbagai sudut tuju bersesuaian dengan sela jarak translasi mikrometer mata pisau yang dibenarkan.



Rajah 5. Profil Gaussian alur laser untuk sampel asiton, A): Sel kosong, B): Sel berisi asiton

JADUAL 1

Bahan	Indeks Biasan	Suhu	Rujukan
Air suling	1.333 ± 0.001	21°	nilai uji kaji ini
	1.33206	21°	Dobbins and Peck (1973)
	1.33213	21°	Grange <i>et al.</i> (1976)
	1.33128	25°	Moreels <i>et al.</i> (1984)
	1.333	20°	Hecth (1984)
Asiton	1.341 ± 0.001	21°	nilai uji kaji ini
	1.35563	25°	Moreels <i>et al.</i> 198
	1.357	25°	Weast (1972-73)
Kaca	1.537 ± 0.001	21°	nilai uji kaji ini
	1.517		Born and Wolf (1965)
	1.514		Crown glass Weast (1972-73) $\lambda = 656 \text{ nm}$ zinc crown glass
Perspeks	1.476 ± 0.001	21°	nilai uji kaji ini
	1.483		Cariou <i>et al.</i> (1986)

(Jenkins 1982; Mahmood and Azizan 1988; Mahmood 1989)

PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN

Telah diketahui umum bahawa indeks biasan berfungsi kepada ketumpatan (Jenkins 1982; Mahmood and Azizan 1988; Mahmood 1989), jarak gelombang dan suhu, t (Dobbins and Peck 1973; Grange *et al.* 1976;

Mahmood 1992). Perkaitan indeks biasan air suling dengan suhu pada jarak gelombang 632.8 nm telah dirumuskan oleh Dobbins and Peck (1973) sebagai

$$n = 1.332156 - ((8.889(t - 20) + 0.1610(t - 20)^2) \times 10^{-5}) \quad (6)$$

dan Grange *et al.* (1976) memberikan

$$n = 1.1457 + 0.1365 \times 10^{-2}T - 0.2486 \times 10^{-5}T^2 \quad (7)$$

(T ialah suhu mutlak, $275\text{K} \leq T \leq 300\text{K}$)

Kedua persamaan tersebut bersetuju satu sama lain. Oleh itu keduanya boleh digunakan untuk membandingkan nilai uji kaji yang diukur pada keadaan suhu yang berbeza. Pada suhu 21°C , nilai n untuk air suling mengikut persamaan (6) dan (7) adalah masing-masing 1.33206 dan 1.33213. Kedua nilai ini bersetuju dengan nilai indeks biasan yang diukur dengan kaedah anjakan alur Gaussian laser yang telah digunakan (anggaran perbezaan ialah 0.1%).

Kejituan pengukuran dengan kaedah anjakan alur Gaussian dapat dikira dengan kaitan berikut berdasarkan rumusan (4)

$$\frac{\partial n_2}{\partial \Delta} = \left(\frac{n_2}{d_2}\right) \sin \theta \cos^2 \theta \left(\sin \theta - \frac{\Delta}{d_2}\right)^{-2} \left[\left(\sin \theta - \frac{\Delta}{d_2}\right)^2 + \cos^2 \theta \right]^{-1/2} \quad (8)$$

Dengan mengambil $\theta = 10^\circ$, $\Delta = 0.443$ mm, $n_2 = 1.333$ dan $\delta\Delta = 0.001$ mm, ketidakpastian n_2 adalah ± 0.001 .

Dengan menggunakan kaedah anjakan alur Gaussian laser ini, indeks biasan asiton, kaca dan perspex juga telah dinilai dengan cara yang sama dan nilainya disenaraikan dalam Jadual 1. Merujuk kepada nilai indeks biasan air suling dan kejituan pengukuran dalam uji kaji ini bererti kaedah ini adalah satu kaedah mudah dan mampu untuk mengukur indeks biasan cecair dan pepejal lut sinar. Kerana kaedah ini menggunakan prinsip anjakan alur laser yang diukur dengan pengesan optik, bererti kaedah ini dapat digunakan untuk sinar laser IR dan juga sinar UV dengan menggunakan pengesan optik yang sensitif pada jarak gelombang yang berkaitan. *Rajah 2* menjelaskan Δ/d_2 berubah dengan n_2/n_0 lebih sensitif pada θ yang lebih besar dan ketidakpastian nilai n juga bergantung kepada nilai θ yang dipilih. Secara praktis nilai θ yang dipilih terhad kepada nilai jarak maksimum translasi mata pisau pada mikrometer.

Untuk meningkatkan keberkesanan dan kejituan pengukuran indeks biasan menggunakan kaedah ini, adalah disyorkan agar gerakan mata pisau dilakukan dengan kawalan berkomputer. Dengan kejituan $\partial\Delta$ yang lebih baik dan nilai anjakan Gaussian beam, Δ ditentukan dari anjakan

paksi profil alur laser. Dalam hal ini paksi alur Gaussian dapat ditentukan dengan cara penyesuaian data uji kaji dengan bentuk Gaussian dari teori (Fitting technique) (Talib and Mahmood 1993).

PENGHARGAAN

Pengarang mengucapkan setinggi penghargaan kepada pihak Universiti dan Jabatan kerana bantuan kewangan dan segala kemudahan yang disediakan.

RUJUKAN

- BASS, J.D. and D.J. WEIDNER. 1984. Method for measuring the refractive index of transparent solids. *Rev. Sci. Instrum* **55**: 1569-1573.
- BORN, M. and E. WOLF. 1965. *Principles of Optics*. 3rd edn. New York: Pergamon Press.
- CARIOU, J.M., J. DUGAS, L. MARTIN and P. MICHEL. 1986. Refractive index variation with temperature of PMMA and polycarbonate. *Appl. Opt.* **25**: 334-335.
- DOBBINS, H.M. and E.R. PECK. 1973. Change of refractive index of water as a function of temperature. *J. Opt. Soc. Am.* **63**: 318-320.
- GRANGE, B.W., W.H. STEVENSON and R. VISKANTA. 1976. Refractive index of liquid solution at low temperatures: An accurate measurement. *Appl. Opt.* **15**: 858-859.
- HECTH, E. 1984. *Optics*. 2nd edn. California: Addison-Wesley.
- JENKINS, D.D. 1982. Refractive indices of solutions. *Phys. Educ.* **17**: 82-83.
- KUHLER, K., E.L. DERENIAK and M. BUCHNAN. 1991. Measurement of the index of refraction of the plastic phenixy PKFE. *Appl. Opt.* **30**: 1711-1714.
- LONGHURST, R.S. 1967. *Geometrical and Physical Optics*. New York: Wiley.
- MAHMOOD MAT YUNUS, W. 1989. Refractive index of dye solution. *Appl. Opt.* **28**: 4268-4269.
- MAHMOOD MAT YUNUS, W. 1992. Temperature dependence of refractive index and absorption of NaCl, MgCl₂ and Na₂SO₄ solutions as major components in natural seawater. *Appl. Opt.* **31**: 2963-2964.
- MAHMOOD MAT YUNUS, W. and AZIZAN ABDUL RAHMAN. 1988. Refractive index of solutions at high concentrations. *Appl. Opt.* **27**: 3341-3343.
- MAHMOOD MAT YUNUS, W. dan Z.A TALIB. 1993. Pengesanan optik, piezoelektrik-fotoakustik. *Pertanika J. Sci. & Technol.* **1**: 43-50.
- MOREELS, E., C. DE GREET and R. FINSY. 1984. Laser light refractometer. *Appl. Opt.* **23**: 3010-3013.
- MURTY, M.V.R.K. and R.P. SHUKLA. 1979. Simple method for measuring the refractive index of liquid. *Opt. Engin.* **18**: 177-180.
- SAINOV, S. and N. DUSHKINA. 1990. Simple laser microrefractometer. *Appl. Opt.* **29**: 1406-1408.

W. Mahmood Mat Yunus dan Chang Feng Ling

TALIB, Z.A. and W. MAHMOOD MAT YUNUS. 1993. Measuring Gaussian laser beam diameter using piezoelectric detection. *Meas. Sci. Technol.* **4**: 22-25.

WEAST, R.C. 1972-73. *Handbook of Chemistry and Physics*. 53rd edn. New York: CRC.