



Pengukuran Indeks Bias Larutan Untuk Mengetahui Kadar Gula Dalam Tebu dengan Menggunakan Metode Difraksi Fraunhofer Celah Tunggal

Lalu A. Didik^{1,*}), Irfan Safarwadi², Muslimah³

^{1,2,3}Program Studi Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Mataram
Jalan Gajah Mada 100, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*E-mail korespondensi: laludidik@uinmataram.ac.id

Info Artikel:

Dikirim:
2 Maret 2021
Revisi:
15 Maret 2021
Diterima:
17 Maret 2021

Abstract

Refractive index measurements of sugar solutions have been carried out in several concentrations. The method used is Fraunhofer diffraction. The equation of relationship between the concentration of the sugar solution and the refractive index based on the results of the linear fitting can be written as,

$$n = 1,06705 + 1,59145 x$$

Where n is the refractive index of the sugar solution and x is the solution concentration. From this equation, a fairly small gradient value of 1.59145 is obtained. This shows that a 1% increase in the concentration of the sugar solution will cause the refractive index to decrease by 1.59145. The refractive index of the solution changes when the concentration changes. The refractive index of the solution increases with increasing concentration of the solution. This is because along with the increase in concentration, more glucose is found in the sugar solution. As a result, the solution will be more concentrated because the glucose molecules that are arranged are getting denser. The above equation is used to calculate the concentration of sugar in sugar cane. It was found that brown sugar cane had a concentration of 33.38% compared to 26.34% in yellow sugarcane. While the measurement of the concentration of sugar cane in different planting areas shows almost the same results, this is because the level of accuracy of the tool is still large when compared to the difference in the concentration of the sugar solution.

Kata Kunci:

Indeks Bias, Kadar Gula, Difraksi Fraunhofer

© 2021 Universitas Islam Negeri Mataram

PENDAHULUAN

Dalam bidang industri, efisiensi dan biaya murah merupakan salah satu tuntutan, misalkan saja pada sistem pengukuran kadar gula dalam pertanian tebu. Dengan adanya efisiensi dan biaya murah dalam sistem pengukuran diharapkan dapat meningkatkan produktivitas. Pemilihan parameter fisis yang sesuai merupakan salah satu hal yang sangat penting untuk mendapatkan nilai ukur yang baik terutama untuk mengetahui kadar gula pada konsentrasi tertentu. Dalam hal larutan dengan sifat transparansi seperti larutan tebu, maka parameter fisis yang sesuai adalah dengan menentukan sifat optik sehingga didapatkan hasil pengukuran yang cepat dan murah [1].

Salah satu sifat optik yang dimiliki oleh suatu bahan adalah indeks bias. Indeks bias secara matematis merupakan perbandingan kecepatan cahaya yang merambat dalam ruang hampa dibandingkan dengan kecepatan cahaya yang merambat melalui medium tersebut. Jika ditinjau secara fisis, indeks bias merupakan kemampuan cahaya merambat dalam suatu zat ditinjau dari molekul-molekul penyusun zat tersebut. Pengukuran indeks bias sangat penting karena berhubungan juga dengan parameter-parameter fisis lainnya seperti temperature, konsentrasi larutan dan lain-lain.

Pengukuran indeks bias sering digunakan dalam bidang optic, kimia, industry obat-obatan [2]–[4]. Indeks bias juga memiliki peran yang sangat vital dalam beberapa bidang seperti teknologi film tipis dan fiber optic [5]. Selain dalam bidang fisika dan pertanian, indeks bias juga digunakan dalam bidang kimia, misalkan saja untuk mengetahui konsentrasi dan komposisi larutan, menentukan kemurnian dan kadaluarsa dari oli, serta untuk menentukan kemurnian minyak goreng [6].

Indeks bias suatu larutan dapat ditentukan atau diukur dengan menggunakan beberapa metode pengukuran berdasarkan sifat optis larutan antara lain dengan menggunakan metode interferometri seperti interferometri Mach-Zender, interferometri Fabry-Perot dan interferometri Michelson. Selain dengan menggunakan interferometri, pengukuran indeks bias dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode spectrometer dan refraktometer. Namun, pengukuran indeks bias menggunakan metode tersebut memakan waktu yang cukup lama dan cenderung rumit dalam analisisnya sehingga diperlukan suatu metode yang lebih sederhana dan dapat mengukur indeks bias dengan cepat dan mudah [7].

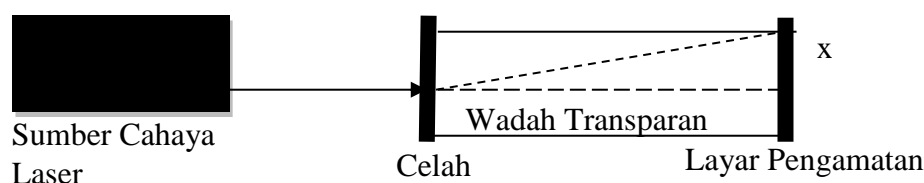
Supriana dan Muh. Toifur Menggunakan metode difraksi cahaya berbantuan software Logger Pro untuk menentukan indeks bias cairan dengan beberapa variasi suhu [8]. Eko Hidayanto et. al. menggunakan Portable Brix meter untuk mengukur indeks bias larutan sukrosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) dan menganalisa hubungan antara indeks bias dengan konsentrasi larutan [7]. Misto dan Tri Mulyono menggunakan Refraktometer prisma untuk pengukuran kadar gula berdasarkan perubahan sudut puncak prisma dan didapatkan hubungan perbandingan lurus antara sudut puncak prisma dan konsentrasi larutan [9]. Prisma dan difraktometer dalam penelitian tersebut harganya cukup mahal dan sangat sulit didapatkan sehingga diperlukan metode alternative pengukuran kadar larutan gula dengan menggunakan metode pengukuran yang murah dan sederhana.

Pengukuran indeks bias larutan gula menggunakan metode difraksi celah tunggal fraunhofer lebih mudah dan sederhana. Metode difraksi fraunhofer hanya membutuhkan laser dan benda lain yang memiliki celah sempit sebagai celah pendifraksi. Selain itu, perumusan yang digunakan juga sangat sederhana karena menggunakan prinsip ilmu dasar fisika yaitu membandingkan antara pola difraksi pada medium udara dengan medium larutan gula [10]. Penelitian ini diharapkan sebagai tahap awal penentuan kadar gula dalam pertanian tebu sehingga dapat membantu petani menentukan kualitas pertanian tebunya.

METODE PENELITIAN

Sampel larutan gula dengan konsentrasi 0 – 50% dan rentang konsentrasi 2.5 % berat dipersiapkan sebagai kalibrasi. Sampel kedua adalah larutan gula yang diambil dari nira tebu untuk ditentukan indeks bias dan konsentrasi gulanya.

Alat pengukur yang dipersiapkan terdiri dari wadah transparan berukuran 15 cm x 6,5 cm x 7,5 cm dengan ketebalan 1 mm, Laser ($\lambda = 632,8$ nm), celah tunggal dengan lebar celah 0,4 mm, jangka sorong, gelas ukur 100 ml, dan layar. Susunan alat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Alat Pengukuran Menggunakan Metode Difraksi Celah Tunggal

Sebelum dilakukan pengukuran dilakukan kalibrasi terlebih dahulu untuk mengetahui pengaruh dari medium. Laser ditembakkan pada wadah berisi udara dan ditinjau jarak antara dua terang, catat datanya sebagai x_1 . Kemudian laser ditembakkan pada wadah yang berisi aquades (konsentrasi 0 %), catat datanya sebagai x_2 . Ulangi langkah tersebut untuk konsentrasi larutan gula 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 45 %, 50 % dan larutan gula dari air nira tebu. Pengenceran larutan gula

menggunakan rumus pengenceran untuk mendapatkan konsentrasi yang berbeda-beda [11]–[13]. Nilai indeks bias ditentukan menggunakan persamaan 1 [10].

$$n = \frac{x_1}{x_2} \quad (1)$$

Adapun standar deviasi pengukuran indeks bias menggunakan persamaan 2.

$$\Delta n = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_2}\right)^2 + \left(-\frac{x_1 \Delta x_2}{x_2^2}\right)^2} \quad (2)$$

Hasil pengukuran dari masing-masing sampel yang telah dibuat digunakan sebagai pembanding. Model kalibrasi ini hanya berlaku pada panjang gelombang laser yang digunakan untuk pengukuran berikutnya.

Data yang diperoleh dikoleksi dalam bentuk tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik menggunakan Software Microcal origin 5.0. Analisa diperlukan melalui pembandingan hasil pengukuran konsentrasi gula dalam tebu dengan sampel kalibrasi. Variabel pengukuran dalam penelitian ini adalah konsentrasi air gula dan indeks bias.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat-sifat suatu larutan sangat dipengaruhi oleh susunan komposisinya. Untuk menyatakan komposisi larutan tersebut digunakan istilah konsentrasi larutan. Konsentrasi larutan menunjukkan perbandingan jumlah zat terlarut terhadap pelarut [14]. Sistem pengukuran kadar gula dalam bidang pertanian tebu dituntut untuk memberikan sumbangan dalam hal efisiensi dan biaya murah untuk meningkatkan produktivitas. Untuk mendapatkan nilai ukur yang presisi dengan unjuk respon yang lebih baik pada pengukuran konsentrasi pada larutan di bidang pertanian, diperlukan parameter fisis sesuai untuk sampel yang transparan yaitu sifat optic sehingga hasil pengukuran lebih cepat dan murah.

Metode pengukuran menggunakan difraksi adalah pengukuran tidak langsung (*non contact*). Metode ini menggunakan berkas cahaya sehingga larutan yang digunakan sebagai sampel tidak akan mengalami perubahan komponen [15]. Hal ini terjadi karena tidak adanya sentuhan antara sampel dengan alat ukurnya.

Untuk memperoleh persamaan hubungan besaran konsentrasi dan indeks bias larutan, sampel terlebih dahulu harus diatur nilai konsentrasinya. Dalam penelitian ini, sampel larutan disiapkan dalam beberapa variasi konsentrasi. Pada saat pengukuran harus dihindari sampel yang memiliki kualitas yang kurang bagus dan komposisi yang kurang presisi sehingga hubungan konsentrasi larutan dan indeks bias tidak linier sebagaimana mestinya [16].

Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Fisika Program Studi Tadris Fisika. Terdapat dua kali percobaan yaitu pengukuran indeks bias larutan gula pada rentang konsentrasi 0 % sampai dengan 50 % dengan variasi konsentrasi 2,5 %. Setelah kalibrasi dilakukan dengan melewati sinar laser pada celah tunggal dan balok kaca tanpa diisi larutan, dilanjutkan dengan mengisi balok kaca dengan larutan gula berbagai variasi konsentrasi. Adapun hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Pengukuran Indeks Bias Masing-masing Konsentrasi Larutan Gula

NO	Konsentrasi (%)	x_1 (cm)	x_2 (cm)	Indeks bias	Standar Deviasi
1	2.5	2,5	2.4	1.0417	0.127
2	5.0	2,5	2.3	1.0870	0.127
3	7,5	2,5	2.2	1.1364	0.127

NO	Konsentrasi (%)	x ₁ (cm)	x ₂ (cm)	Indeks bias	Standar Deviasi
4	10.0	2,5	2.0	1.2500	0.127
5	12.5	2.5	1.9	1.3158	0.128
6	15.0	2.5	1.9	1.3158	0.128
7	17.5	2.5	1.8	1.3889	0.128
8	20.0	2.5	1.8	1.3889	0.128
9	22.5	2.5	1.7	1.4706	0.128
10	25.0	2.5	1.7	1.4706	0.128
11	27.5	2.5	1.6	1.5625	0.129
12	30.0	2.5	1.6	1.5625	0.129
13	32.5	2.5	1.6	1.5625	0.129
14	35.0	2.5	1.5	1.6667	0.129
15	37.5	2.5	1.5	1.6667	0.129
16	40.0	2.5	1.5	1.6667	0.129
17	42.5	2.5	1.4	1.7857	0.130
18	45.0	2.5	1.4	1.7857	0.130
19	47.5	2.5	1.4	1.7857	0.130
20	50.0	2.5	1.4	1.7857	0.130

Hasil pengukuran hubungan konsentrasi dengan indeks bias larutan gula seperti tabel 1 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi semakin tinggi juga indeks bias. Hasil ini menunjukkan bahwa jenis kalibrasi dan penggunaan deteksi konsentrasi larutan gula pada larutan memiliki dampak penting pada validitas prediksi kadar larutan gula dalam tebu. Harga indeks bias dipilih dalam rentang tertentu sesuai dengan prinsip pengukuran.

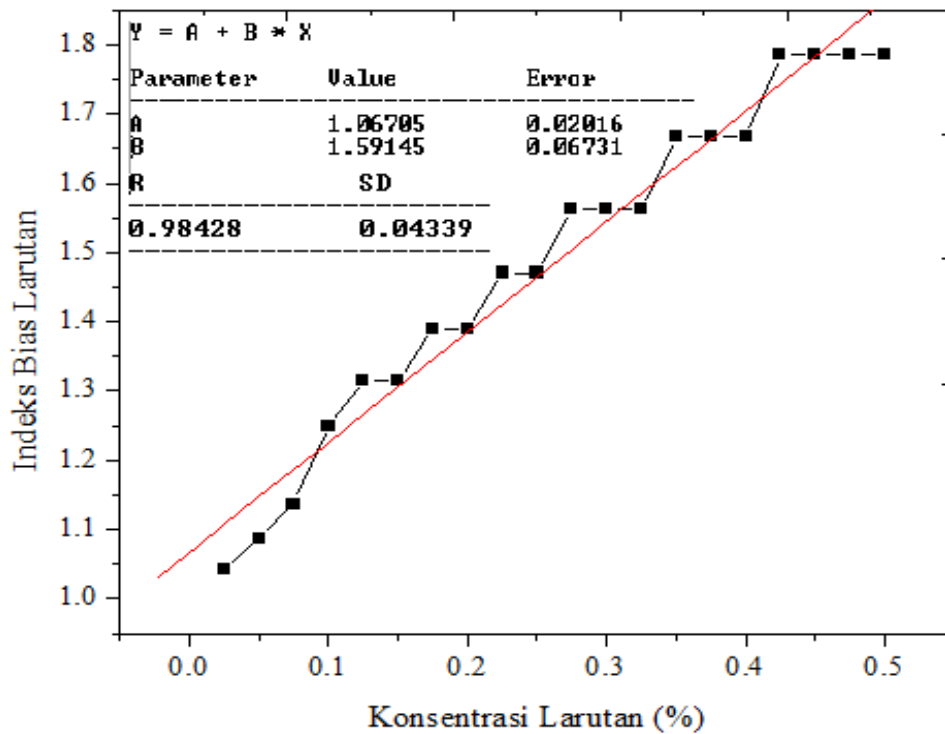
Tabel 2. Data Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Penelitian Lainnya

No	Konsentrasi	Pengukuran Indeks Bias Menggunakan Difraktometer	Pengukuran indeks bias menggunakan sudut puncak prisma [9]
1	15%	1,351 ±0.128	1,351

No	Konsentrasi	Pengukuran Indeks Bias Menggunakan Difraktometer	Pengukuran indeks bias menggunakan sudut puncak prisma [9]
2	50 %	1,785±0.130	1,420

Nilai indeks bias hasil pengukuran dengan menggunakan difraktometer celah tunggal fraunhofer ini memiliki nilai yang sama dengan pengukuran yang dilakukan oleh Misto et al. Misto mengukur indeks bias larutan tebu menggunakan prinsip pengukuran sudut puncak pada prisma [9]. Adapun perbandingan hasil penelitian menggunakan difraksi celah tunggal fraunhofer dengan pengukuran sudut puncak prisma ditunjukkan pada tabel 2.

Setelah data kalibrasi didapatkan maka langkah berikutnya adalah fitting data. Berdasarkan data pada Tabel 1 dilakukan Fitting data menggunakan software Microcal Origin 70 untuk mendapatkan persamaan hubungan antara konsentrasi larutan gula dengan indeks bias. Adapun Hasil fitting data ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Indeks Bias dengan Konsentrasi Larutan Gula

Berdasarkan grafik pada gambar 2 tampak bahwa indeks bias larutan berubah ketika konsentrasi berubah. Indeks bias larutan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan [17]. Hal ini disebabkan karena seiring dengan peningkatan konsentrasi, maka semakin banyak glukosa yang ditemukan pada larutan gula. Akibatnya larutan akan semakin pekat karena molekul-molekul glukosa yang tersusun semakin padat. Akibatnya, gerak cahaya di dalam larutan akan semakin terhambat, dengan kata lain kecepatan cahaya di dalam larutan semakin berkurang. Karena indeks bias berbanding terbalik dengan kecepatan cahaya di dalam larutan maka pada saat kecepatan cahaya di dalam larutan berkurang indeks bias larutan akan semakin besar.

Gambar 2 menunjukkan fitting data menggunakan fitting Linier pada software microcal origin 70. Fitting linier digunakan karena grafik yang dihasilkan menunjukkan kurva lurus ciri khas persamaan linier. Hal ini dibuktikan dengan chi square yang bernilai 0,9848 (mendekati 1) yang menunjukkan tingkat kesamaan yang tinggi [18]. Persamaan hubungan antara konsentrasi larutan gula dan indeks bias berdasarkan hasil fitting linier dapat dituliskan sebagai

$$n = 1,06705 + 1,59145 x \tag{3}$$

Dengan n adalah indeks bias larutan gula dan x adalah konsentrasi larutan. Dari persamaan tersebut diperoleh nilai gradient yang cukup kecil yaitu 1,59145. Hal ini menunjukkan kenaikan konsentrasi larutan gula sebesar 1% akan menyebabkan indeks biasnya turun 1,59145. Hasil lain yang diperoleh dari persamaan regresi linier adalah konstanta. Konstanta 1,06705 menunjukkan indeks bias minyak kelapa sawit tanpa pengaruh suhu.

Dalam penelitian ini, tebu yang digunakan adalah tebu coklat dan tebu kuning. Adapun hasil pengukuran indeks bias larutan tebu ditunjukkan pada tabel 3. Konsentrasi tebu ditentukan dengan menggunakan persamaan 3.

Tabel 3. Konsentrasi Gula dalam Tebu Merah dan Tebu Kuning Berdasarkan Hasil Penghitungan

Jenis Tebu	x_1 (cm)	x_2 (cm)	Indeks Bias	Konsentrasi
Tebu Kuning	2,5	1,6	1,670	26,34 %
Tebu Coklat	2,5	1,5	1,562	33,38 %

Hasil pengukuran konsentrasi larutan gula dalam tebu berdasarkan tempat pengambilan ditunjukkan pada Tabel 4. Tampak bahwa konsentrasi tidak berubah walaupun daerah penanaman tebu tidak berubah.

Tabel 4. Konsentrasi Gula dalam Tebu Berdasarkan Daerah Penanaman

Daerah Penanaman	x_1 (cm)	x_2 (cm)	Indeks Bias	Konsentrasi
A	2,5	1,5	1.562	33,38 %
B	2,5	1,5	1.562	33,38 %
C	2,5	1,5	1.562	33,38 %
D	2,5	1,5	1.562	33,38 %

Jika dilihat dari keaktifan optiknya, senyawa dibedakan atas dua yaitu senyawa yang bersifat optis aktif dan optis pasif. Larutan gula dapat memiliki sifat optis aktif yang pada umumnya dimiliki oleh zat molekul organik kompleks [18]. Gula termasuk zat yang memiliki sifat optis aktif baik gula murni maupun gula sintetis. Berdasarkan tabel 4 tampak bahwa konsentrasi gula pada tiap daerah penanaman hampir sama. Hal ini karena jenis tebu yang diteliti sama yaitu tebu kuning. Selain itu juga karena keterbatasan tingkat ketelitian alat.

Hasil penelitian masih bersifat sebagai penelitian pendahuluan dan dapat ditingkatkan [19]. Jumlah sampel dalam kalibrasi sudah cukup karena indeks bias semua sampel dapat diamati. Sampel yang memiliki nilai jauh dari garis regresi linier akan segera dianalisis ulang, dipindai kembali, dan dimasukkan ke dalam grafik kalibrasi. Namun demikian, hasil pengukuran konsentrasi larutan gula dapat digunakan di lapangan dengan beberapa perbaikan. Misalnya saja dengan meningkatkan tingkat ketelitian pengukuran sehingga dapat membedakan tingkat konsentrasi pada rentang yang jauh lebih kecil lagi.

KESIMPULAN

Persamaan hubungan antara konsentrasi larutan gula dan indeks bias berdasarkan hasil fitting linier dapat dituliskan sebagai

$$n = 1,06705 + 1,59145 x$$

Dengan n adalah indeks bias larutan gula dan x adalah konsentrasi larutan. Dari persamaan tersebut diperoleh nilai gradient yang cukup kecil yaitu 1,59145. Hal ini menunjukkan kenaikan konsentrasi larutan gula sebesar 1% akan menyebabkan indeks biasnya turun 1,59145. Hasil lain yang diperoleh dari persamaan regresi linier adalah konstanta. Konstanta 1,06705 menunjukkan indeks bias larutan gula saat konsentrasi gula bernilai nol. Indeks bias larutan berubah ketika konsentrasi berubah. Indeks bias larutan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan. Hal ini disebabkan karena seiring dengan peningkatan konsentrasi, maka semakin banyak glukosa yang ditemukan pada larutan gula. Akibatnya larutan akan semakin pekat karena molekul-molekul glukosa yang tersusun semakin padat. Konsentrasi gula pada tiap daerah penanaman hampir sama. Hal ini karena jenis tebu yang diteliti sama yaitu tebu kuning. Selain itu juga karena keterbatasan tingkat ketelitian alat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Agama Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian melalui dana DIPA UIN Mataram tahun anggaran 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Van Vuuren J. A. J.; Meyer J.; Claasens, "Potential Use of Near Infrared Reflectance Monitoring in Precision Agriculture," *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, vol. 37, pp. 2171–2184, 2006.
- [2] W. M. M. . Y. W. F. L. M. Y. Yunus, "Refractive Index and Fourier Transform Infrared Spectra of Virgin Olive Oil," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 328–331, 2009.
- [3] R. K. B. Gulb., Shamim Khana Hasan Nisarc., and Ftikhar Ahmadd., "Refractive Index of Biological Tissues: Review, Measurement Techniques, and Applications," *Photodiagnosis Photodyn. Ther.*, vol. 33, p. 102192, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102192>.
- [4] Bagheria, M., Kiania, F., Kooohyar, B., Khang, N. T., Zabihi, F., "Measurement of Refractive Index and Viscosity for Aqueous Solution of Sodium Acetate, Sodium Carbonate, Trisodium Citrate, (Glycerol + Sodium Acetate), (Glycerol + Sodium Carbonate), and (Glycerol + Trisodium Citrate) at $T = 293.15$ to 303.15 K and Atmosph," *J. Mol. Liq.*, vol. 309, p. 113109, 2020, doi: doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113109.
- [5] Alain Abou, Khalil. Wendwesen, Gebremichael. Yannick, Petit. Lionel C., "Refractive Index Change Measurement by Quantitative Microscopy Phase Imaging for Femtosecond Laser Written Structures," *Opt. Commun.*, vol. 485, p. 126731, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2020.126731>.
- [6] S. P. V. S. C. M. Singh, "Optical Study of Six Oils of Indian origin," *Eur. J. Adv. Engineering Technol.*, vol. 4, no. 10, pp. 744–751, 2017.
- [7] E. H. A. R. H. Sugito, "Aplikasi Portable Brix Meter untuk Pengukuran Indeks Bias," *Berk. Fis.*, vol. 13, no. 4, pp. 113–118, 2010.
- [8] M. Supriyana; Toifur, "Studi Penentuan Indeks Bias Cairan pada Suhu Secara Kontinu Berbasis Difraksi Cahaya Berbantuan Software Logger Pro," *J. Ilm. Teknosains*, vol. 3, no. 2, 2017.
- [9] T. Misto; Mulyono, "Desain Refraktometer Prisma untuk Pengukuran Kadar Gula Berdasarkan Perubahan Sudut Puncak Secara Terkomputerisasi," in *Prosiding SENSEI 2017*, 2017, no. 1, pp. 2–5.
- [10] Supriyadi, Misto, and Y. Hartanti, "Pengukuran Indeks Bias Minyak Kelapa Sawit dengan Menggunakan Metode Difraksi Fraunhofer Celah tunggal," *J. Ilmu Dasar*, vol. 15, no. 2, pp. 97–101, 2014.
- [11] L. A. Didik, E. Rahmawati, F. Robiandi, S. Rahayu, and D. J. D. H. Santjojo, "Penentuan Ketebalan Lapisan Polistiren dan Zinc Phthalocyanine (ZnPc) dengan Modifikasi Persamaan Sauerbrey dan Scanning Electron Microscope (SEM)," *Nat. B*, vol. 2, no. 4, pp. 331–335, 2014. doi: <https://doi.org/10.21776/ub.natural-b.2014.002.04.6>
- [12] L. A. Didik, Yahdi, Masruroh, "Improvement QCM Quality by Polystyrene Coating and Bovine Serum Albumin as Immobilization Agent," *Al-Biruni*, vol. 08, no. 1, pp. 35–41, 2019, doi:

- 10.24042/jipfalbiruni.v8i1.3716.
- [13] Masruroh *et al.*, "Solvent Effect on Morphology of Polystyrene Coating and Their Role to Improvement for Biomolecule Immobilization in Application Of QCM Based Biosensor," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 530–531. 2014. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.530-531.54
- [14] L. Mei, A. Putri, T. Prihandono, and B. Supriadi, "Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Laju Kenaikan Suhu Larutan," *J. Pembelajaran Fis.*, vol. 6, no. 2, pp. 147–153, 2015.
- [15] L. W. Setyarini, H. Setijono, A. M. Hatta, and A. I. Komponen, "Perancangan Sistem Pengukuran Konsentrasi Larutan Gula Menggunakan Metode Difraksi," *J. Tek. Pomits*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2012.
- [16] M. B. Sari, Y. Sanjaya, and M. Djamal, "Pengembangan Spektrometer Cahaya Tampak Menggunakan LED RGB untuk Menentukan Konsentrasi Glukosa Development of Visible Light Spectrometer using RGB LED to Determine Glucose Concentration," *Risal. Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 21–27, 2017.
- [17] A. N. M, A. Marzuki, and M. Yuniarto, "Desain Sensor Serat Optik Sederhana untuk Mengukur Konsentrasi Larutan Gula dan Garam Berbasis Pemantulan dengan Menggunakan Konfigurasi Jarak Cermin-Fiber Optik Tetap," *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 3, no. 2, pp. 163–168, 2013.
- [18] L. A. Didik, "Pengukuran Konstanta Dielektrik untuk Mengetahui Konsentrasi Larutan Gula dengan Menggunakan Metode Plat Sejajar," *Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 8, no. 2, pp. 127–132, 2020, doi: <https://doi.org/10.24252/jpf.v8i2.11416>.
- [19] L. A. Didik, "Pengaruh Pemberian Medan Magnet Terhadap Konstanta Dielektrik Material AgCrO₂," *KONSTAN*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2016.