

Penentuan Kadar Sukrosa dalam Cairan Tebu Melalui Pengukuran Sudut Angular Dispersi

Determination of Sucrose Content in Sugarcane Liquids Through Angular Dispersion Angle Measurement

Misto^{1*)}, Tri Mulyono², Bowo Eko Cahyono¹

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Jember

²Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Jember

*E-mail: misto.fmipa@gmail.com

ABSTRACT

In the sugar industry, it is important to measure the sucrose content of sugar cane so that an electronic system is needed for measurement. The system was employed an array photodiode as a sensor, red and green laser, operational amplifiers (opamp), an analog to digital converter from Arduino, and a computer. The main operation of the measurement system was conducted by the sensor and controller system in the computer. The controller was programmed with Basic program, a program that suitable for the device. The signal from array photodiode sensor is send to signal processing unit (opamp) and converted to digital signal by ADC. Then the digital code is countered by controller and displayed by monitor computer.

Keywords: sugar content, array photodiode, Arduino.

PENDAHULUAN

Kadar gula dalam cairan tebu merupakan salah satu parameter penting yang sering dilakukan pengukuran di pabrik gula. Parameter ini bisa diukur melalui sifat optis dari medium cairan dengan mengukur indeks bias cairan gula yang bersangkutan. Metode standard dalam pengukuran indeks bias yang paling sederhana yaitu dengan mengukur sudut pembelokan cahaya yang melewati wadah berbentuk prisma berisi larutan. Meskipun metode ini akurat, namun membutuhkan ruangan yang cukup besar (Aini *et al.*, 2013).

Alat pengukur kadar gula secara optik menggunakan prisma terhubung komputer dibutuhkan untuk sejumlah aplikasi, termasuk pada pengukuran kadar gula dalam cairan tebu. Pengukuran kadar gula menggunakan prisma yang bekerja pada prinsip pengukuran sudut deviasi suatu sinar bisa dilakukan dengan cepat. Karena dengan cara ini mempunyai kelebihan yaitu murah karena tidak memerlukan zat kimia dalam proses pengukurannya, volume cairan sampel yang digunakan tidak banyak, dan hasilnya pengukurannya sangat cepat (Artanto, 2012).

Sistem pengukur kadar gula (glukosa) dalam air destilasi menggunakan serat optik dan sensor pergeseran dengan probe bundel telah dilakukan oleh Nawi, *et al.* (2012). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa puncak tegangan atau intensitas sinar sebanding dengan konsentrasi glukosa. Sejalan dengan

penelitian tersebut Aini, dkk. (2013), juga melakukan pengujian kadar glukosa dalam cairan destilasi menggunakan bahan yang mirip berbasis sensor pergeseran dengan fiber coupler. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan glukosa yang digunakan, semakin tinggi pula tegangan keluaran yang dihasilkan.

Akhir-akhir ini metode yang banyak digunakan untuk mengukur kadar gula adalah dengan metode refractometric, Near Infrared Reflectance (NIR), polarimetric, dan kromatografi (Mehrotra & Siesler, 2003). Beberapa metode tersebut memiliki keterbatasan untuk digunakan di lapang karena membutuhkan waktu yang cukup lama, ketergantungan operator, dan membutuhkan reagen yang berbahaya (Mehrotra & Siesler, 2003). Beberapa penelitian di laboratorium telah menunjukkan bahwa metode spektroskopi dapat berhasil digunakan untuk memprediksi kualitas tebu berdasarkan sampel cairan tebu. Namun penelitian tersebut tidak mendapatkan cukup sampel cairan yang sesuai di lapang sehingga mengurangi tingkat ketelitian data yang telah didapatkan.

Sedangkan pada pengukuran kadar gula yang lebih umum dilakukan menggunakan alat refractometer, yaitu dengan meneteskan cairan tebu ke salah satu bagian refractometer. Metode ini memanfaatkan prinsip indeks bias. Makin tinggi kadar gula pada cairan tebu maka indeks biasnya akan semakin tinggi sehingga

refractometer akan menunjukkan skala yang semakin besar. Suatu kelemahan dari alat ini adalah adanya pengaruh sinar matahari ketika pengukuran dilaksanakan di lapang. Semakin tinggi nilai intensitas sinar matahari maka semakin tinggi skala refractometer yang akan didapatkan (Misto & Mulyono, 2017; Milman & Halkias, 1985 ; Yasin *et al.*, 2010).

Terdapat beberapa kelemahan dari penelitian sebelumnya antara lain belum terintegrasinya penelitian menggunakan personal computer (PC) untuk pengendalian alat ukur dan media penyimpanan data, serta akurasi rendah yang disebabkan oleh keterbatasan alat dan sampel yang digunakan. Beberapa kelemahan dari penelitian sebelumnya mengindikasikan perlunya perbaikan dalam melakukan kegiatan pengukuran. Sejalan dengan kondisi tersebut, prinsip optika memberikan peluang untuk mengukur cairan tebu melalui pengamatan sudut dispersi menggunakan prisma, yang diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik.

Dari uraian gagasan di atas, maka diperlukan sebuah alat ukur berupa prototype yang digunakan untuk mengukur kadar gula pada cairan tebu. Alat yang akan dibuat memanfaatkan sensor pengukur rentang intensitas sinar berupa array fotodiode, sinar laser merah dan laser hijau yang digunakan sebagai sumber sinar. Dua sinar laser yang dilewatkan dalam prisma berisi cairan gula menghasilkan sudut dispersi angular yang diukur oleh array fotodiode. Keluaran fotodiode kemudian diteruskan ke rangkaian elektronik dan modul Arduino Uno untuk

diolah oleh mikrokontroller dan kemudian diteruskan ke PC (Halvorsen, 2014).

Sinar laser merah dan hijau dipilih karena kedua sinar ini memiliki visibilitas yang lebih besar yang lebih menguntungkan karena memiliki kemampuan untuk membentuk garis kontinyu dalam kegelapan sampel (Misto & Mulyono, 2017).

METODE

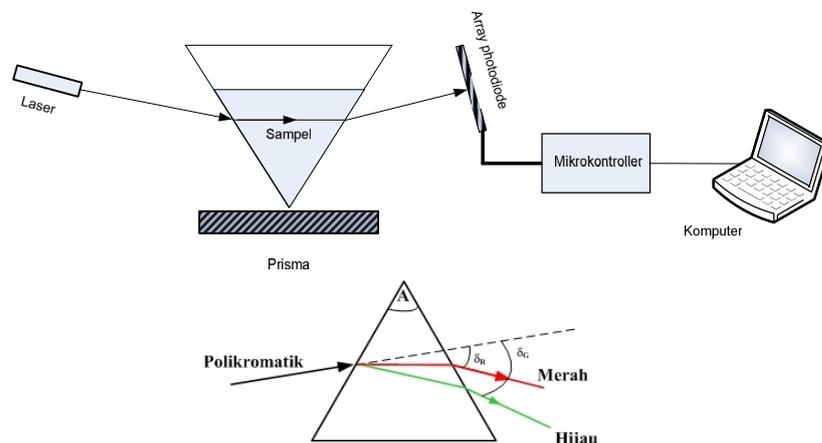
Persiapan Sampel

Tiga puluh sembilan sampel larutan gula dengan konsentrasi 0, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60% berat, digunakan dalam penelitian. Masing-masing sampel dengan konsentrasi yang dibuat tiga buah. Sampel ditempatkan pada wadah prisma berongga yang dibentuk dari bahan kaca tipis, laser merah ($\lambda = 633$ nm) dan laser hijau ($\lambda = 455$ nm) sebagai sumber sinar. Sampel dijaga pada suhu tetap 28°C. Sampel dibuat dari sukrosa yang dicampur dengan akuades untuk membentuk konsentrasi di atas.

Persiapan Sistem Pengukuran

Sistem pengukur yang disiapkan terdiri wadah prisma terbuat dari bahan transparan tipis berukuran prisma sama sisi dengan panjang sisi masing-masing 10 cm. Sumber sinar laser jenis warna merah dan warna hijau dengan panjang gelombang masing-masing 633 nm dan 455 nm, keduanya berdaya 2 mW. Sebagai detektor sinar terdiri dari array pin fotodiode yang mempunyai daerah rentangan pengukuran lebar di daerah sinar tampak dan peak response di daerah panjang gelombang 550 nm. Hasil pengukuran sudut kedua sinar diteruskan ke komputer.

Pada penelitian ini telah dibuat sistem pengukuran kadar gula dalam cairan dengan menggunakan sensor fotodiode dan mikrokontroler dari Arduino. Diagram blok dari rancangan perangkat keras penelitian yang telah dibuat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Desain rangkaian penelitian (a) Diagram blok dari rancangan perangkat keras, (b) perambatan berkas laser pada sampel

Sensor Kadar Gula dan Unit Pengolah Sinyal

Pengukuran kadar gula menggunakan sensor array fotodiode yang diletakkan di ujung prisma sampel larutan gula. Larutan disiapkan dalam air suling untuk berbagai kadar (konsentrasi) mulai dari 5 gram hingga 60 gram per 100 mg air suling. Dengan bantuan sinar laser yang direfraksikan lewat prisma, berkas sinar merah dan berkas sinar membentuk sudut anguler dispersi. Setelah sampel larutan gula tebu diisikan ke prisma kemudian sinar diterima oleh fotodetektor melalui array fotodiode berikutnya. Intensitas yang dimiliki sinar yang keluar dari sampel adalah berhubungan langsung dengan konsentrasi sampel gula. Dengan memanfaatkan pengamatan sudut deviasi δ maka dapat diukur sudut deviasinya pada setiap konsentrasi gula dan setiap panjang gelombang. Hubungan sudut dispersi anguler ($\delta_r - \delta_g$) terhadap selisih indeks bias medium cairan gula dapat dijelaskan. Jika A = sudut prisma, n indeks bahan, dan δ yang memenuhi persamaan berikut;

$$\delta = A(n - 1) \dots\dots\dots(1)$$

$$\delta_r - \delta_g = A(n_r - n_g) \dots\dots\dots(2)$$

Dengan δ adalah sudut deviasi yang terjadi dari sinar laser yang digunakan pada refraktometer prisma, dan n adalah indeks bias larutan yang dilewati sinar. Kemudian δ_r dan δ_g masing-masing adalah sudut deviasi untuk sinar merah dan sinar hijau, n_r dan n_g masing-masing adalah indeks bias untuk sinar merah dan sinar hijau dari pengukuran cairan yang sedang diamati. Sudut masing-masing sinar dideteksi menggunakan array photodiode yang kemudian diteruskan ke mikrokontroler Arduino dan komputer.

Sinyal luaran dari array fotodiode sebelumnya dilewatkan ke rangkaian pengubah *analog to digital* (ADC) menggunakan modul Arduino UNO sebelum diteruskan ke komputer. Unit pengolah sinyal pada desain rangkaian tersebut memiliki dua bagian utama yaitu penguat operasional dan juga modul Arduino UNO.

Perangkat Lunak (Software) Pemrograman

LabVIEW 2012 64 bit yang digunakan untuk membuat program perintah kerja, LabVIEW Interface for Arduino yang digunakan untuk menjalankan perintah kerja, dan Arduino IDE 1.0.4 digunakan untuk memasukkan bahasa pemrograman pada modul Arduino UNO. Selanjutnya perancangan hardware dan instalasi software Arduino IDE serta LabVIEW sebagai proses awal pembuatan alat ukur. Agar perangkat keras tersambung dengan perangkat lunak pada laptop maka diperlukan suatu bahasa pemrograman untuk menerjemahkan perintah-perintah user (Bitter *et al.*, 2007). Jika bahasa pemrograman yang dimasukkan sudah sesuai dengan hal-hal yang harus dieksekusi oleh perangkat keras, maka kegiatan selanjutnya adalah pengujian alat. Pengujian dilakukan pada larutan gula dengan variasi konsentrasi. Pengujian akan dianggap

berhasil ketika tegangan keluaran yang ditampilkan pada laptop menunjukkan nilai tegangan besar ketika larutan standar gula memiliki konsentrasi rendah. Jika hasil yang didapatkan belum sesuai dengan ketentuan tersebut maka diperlukan pemrograman ulang. Pengujian alat ini dimaksudkan untuk mengetahui kinerja dan tingkat ketelitian alat. Selanjutnya alat digunakan untuk mengukur kadar gula pada cairan tebu yang belum diketahui konsentrasinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Sudut Dispersi

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 sumber laser (merah dan hijau) dengan panjang gelombang masing-masing 633 nm dan 455 nm, prisma kaca, array fotodiode, penguat. Setelah perangkat keras dan perangkat lunaknya terpasang kemudian diujicobakan pengukuran terhadap larutan gula yang telah dipersiapkan.

Kolom tegangan keluaran akan memiliki nilai sesuai dengan besarnya tegangan keluaran pada rangkaian transimpedansi. Tabe 1 adalah data hasil uji pembacaan sistem foto detektor menggunakan software LabVIEW.

Tabel 1. Tegangan keluaran fotodiode untuk setiap kadar gula

No	Kadar gula (% berat)	Tegangan (mV)	
		Laser merah	Laser biru
1.	0	68,20	64,30
2.	5	67,42	63,92
3.	10	66,64	63,54
4.	15	65,86	63,16
5.	20	65,08	62,78
6.	25	64,30	62,40
7.	30	63,52	62,01
8.	35	62,74	61,63
9.	40	61,95	61,24
10.	45	61,19	60,85
11.	50	60,18	60,48
12.	55	59,40	60,10
13.	60	58,62	59,71

Peningkatan kadar gula menunjukkan penurunan tegangan keluaran. Ini menunjukkan bahwa makin besar kadar gula makin besar serapan intensitas sinar yang mengenainya sehingga intensitasnya keluaran sinar lasernya makin turun. Hal ini diamati bahwa sampel larutan dengan kadar 5% (5 gram gula dan 95 ml air suling) hingga 60 % (60 gram gula dan 40 ml air suling) dengan perubahan 5 %,

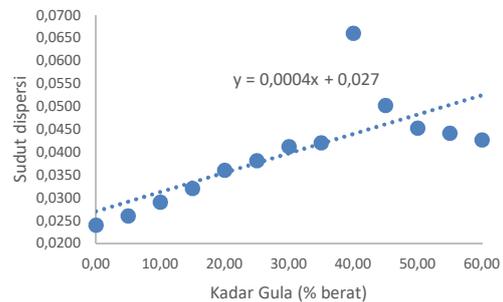
intensitas sinar merah (633 nm) dan sinar hijau (455 nm) yang diteruskan melalui sampel mengalami penurunan mendekati linier. Penurunan intensitas ini mengakibatkan penurunan tegangan yang dihasilkan oleh fotodiode (hasil konversi intensitas ke tegangan) yang diteruskan pada penguat transimpedansi.

Pemilihan angka kadar gula dalam cairan tersebut disesuaikan keadaan di lapangan bahwa kandungan gula cairan tebu (rendemen) maksimum berada di sekitar harga kadar (menggunakan refraktometer) yang telah digunakan di atas.

Berdasarkan dari pembahasan di atas, dapat dimengerti bahwa sistem pengukuran kadar gula suatu larutan menggunakan spektroskopi dengan sinar laser ini dapat digunakan untuk mengetahui kandungan gula pada cairan tebu, karena selain akurat juga tidak merusak struktur larutan yang diteliti. Secara umum, jika semakin tinggi kadar (kandungan) gula pada larutan dipastikan koefisien serapan terhadap sinar yang digunakan semakin tinggi. Namun untuk diaplikasikan secara langsung pada larutan hasil perasan dari tebu yang digiling perlu kalibrasi ulang mengingat larutan perasan tebu tersebut terdapat bahan terlarut selain gula. Oleh karena itu, penelitian perlu dilanjutkan dengan kalibrasi termasuk kalibrasi programnya. Sedangkan beberapa kelebihan pengukuran dengan metode ini adalah murah karena tidak dibutuhkan keterlibatan bahan kimia dan hasilnya cepat diperoleh.

Tabel 2. Hubungan antara kadar gula dan indeks bias

No	Kadar Gula (% berat)	n_r	n_g	$\delta_r - \delta_g = A(n_g - n_r)$
1		1,3318	1,3322	0,0240
2	5	1,3375	1,3379	0,0260
3	10	1,3419	1,3424	0,0290
4	15	1,3512	1,3521	0,0320
5	20	1,3576	1,3583	0,0360
6	25	1,3639	1,3645	0,0381
7	30	1,3709	1,3715	0,0412
8	35	1,3745	1,3752	0,0420
9	40	1,3838	1,3849	0,0660
10	45	1,4078	1,4086	0,0502
11	50	1,4204	1,4211	0,0452
12	55	1,4289	1,4296	0,0441
13	60	1,4418	1,4425	0,0426



Gambar 2. Grafik hubungan antara sudut dispersi dan kadar gula

Dispersi sinar dari suatu medium bahan transparan menentukan perubahan indeks bias dengan panjang gelombang yang digunakan. Berdasarkan teori gelombang elektromagnetik, hubungan ini menyangkut interaksi gelombang elektromagnetik terhadap struktur molekul bahan. Dari data grafik diketahui bahwa pada konsentrasi gula 40% terdapat pengaruh maksimum panjang gelombang sinar yang bersangkutan terhadap perubahan indeks bias. Jika gelombang elektromagnetik mengenai atom atau molekul bermuatan maka akan bergetar pada frekuensi gelombang yang bersangkutan. Gugus atom atau molekul dari bahan medium akan beresonansi pada frekuensi sesuai dengan sinar yang mengenainya. Tabel 2 menunjukkan indeks bias pada panjang gelombang sinar merah ($\lambda = 633$ nm) dan sinar hijau ($\lambda = 455$ nm) larutan gula (0-60%) pada suhu ruang. Dari Tabel tersebut tampak bahwa perubahan indeks bias larutan pada konsentrasi 40 % adalah tertinggi untuk panjang gelombang sinar hijau.

Pengamatan sudut dispersi ini dapat membantu untuk mendeteksi perubahan indeks bias terhadap panjang gelombang sinar yang digunakan dalam eksperimen. Di atas wilayah panjang gelombang yang terlihat, perubahan tersebut mengecil dan sesuai dengan eksperimental yang diukur. Dua parameter panjang gelombang yang digunakan memberikan nilai korelasi koefisien ($R^2 = 0,98$).

Penentuan Kadar Gula dalam Cairan Tebu

Grafik gambar 2 menunjukkan hubungan antara konsentrasi larutan gula dan sudut dispersi menggunakan dua sinar laser. Dengan menggunakan grafik tersebut kadar gula dalam

larutan gula dari batang tebu dapat ditentukan. Tabel 3 merupakan hasil pengujian sistem pengukuran metode sudut dispersi pada 5 sampel cairan tebu. Kolom ketiga pada Tabel 3 menunjukkan sudut dispersi rata-rata pada sampel cairan tebu yang diukur dengan menggunakan laser merah ($\lambda = 633\text{nm}$) dan laser hijau ($\lambda = 455\text{ nm}$). Nilai kadar gula dalam 5 sampel cairan tebu ditentukan berdasarkan kurva pada gambar 2 dan hasilnya berada dalam kisaran (5–15)%. Hasil ini cukup mirip dengan hasil pengukuran sebelumnya menggunakan brixmeter. Hasil ini juga sesuai dengan kandungan gula cairan tebu menurut data pengukuran lapangan di Indonesia berada di kisaran 6-13 (Aini, *et al.*, 2013).

Tabel 3. Hubungan antara kadar gula dan sudut dispersi pada 5 sampel

No	Sampel	Sudut dispersi ($^{\circ}$)	Kadar Gula (%)	
			Metode Sudut Dispersi	Metode Brixmeter
1	Sampel 1	0,0250	6,2	(6,0 ± 0,01)
2	Sampel 2	0,0260	7,3	(7,0 ± 0,02)
3	Sampel 3	0,0270	8,1	(8,0 ± 0,01)
4	Sampel 4	0,0280	9,2	(9,0 ± 0,02)
5	Sampel 5	0,0290	10,1	(10,0 ± 0,01)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa sudut dispersi sukrosa (gula) dalam cairan dipengaruhi oleh panjang gelombang sinar yang digunakan, dari pengamatan ini pada konsentrasi 40 % dan panjang gelombang sinar merah ($\lambda = 633\text{ nm}$) dan sinar hijau ($\lambda = 455\text{ nm}$) memiliki nilai terbesar. Dari pengamatan juga terungkap bahwa nilai indeks bias bahan larutan dipengaruhi oleh panjang gelombang sinar yang digunakan. Dengan perangkat refraktometer prisma dapat dilakukan pengukuran kadar gula dan perubahannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktur DRPM Dikti Kemenristekdikti sebagai

penyanggah dana penelitian ini melalui hibah DRM Dikti 2018.

DAFTAR PUSTAKA

Aini, F.N., Samian, & Yasin, M.. 2013. Deteksi Kadar Glukosa dalam Air Destilasi Berbasis Sensor Pergeseran Menggunakan Fiber Coupler. *Jurnal Fisika dan Terapannya* 1(1): 1-7.

Artanto, D. 2012. *Interaksi Arduino dan LabVIEW*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.

Bitter, R., T. Mohiuddin, & M. Nawrocki. 2007. *LabVIEW™ Advanced Programming Techniques Second Edition*. New York: Taylor & Francis Group, LLC.

Halvorsen, H.P. 2014. *Introduction to LabVIEW*. Norwegia: Telemark University College

Mehrotra, R. & Siesler, H. W. 2003. Application of Mid Infrared/near Infrared Spectroscopy in Sugar Industry. *New Delhi National Physical Laboratory. Appl. Spectroscopy Reviews*. 38: 307–354.

Misto, & Mulyono, T. 2017. Desain Refraktometer Prisma Untuk Pengukuran Kadar Gula Berdasarkan Perubahan Sudut Puncak Secara Terkomputerisasi – *Prosiding SENSEI Seminar Nasional Universitas Muhammadiyah Jember 2017*, No. 8 (203-206).

Milman, J. & Halkias, C. C. 1985. *Elektronika Terpadu: Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital*. Jakarta: Erlangga.

Nawi, N.M., Troy J., & Guangnan C. 2012. The Application of Spectroscopic Methods to Predict Sugarcane Quality Based on Stalk Cross-sectional Scanning. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists*, Vol. 32, 2012.

Yasin M., Harun S. W., Yang H. Z. & Ahmad H. 2010. Fiber Optic Displacement Sensor for Measurement of Glucose Concentration in Distilled Water, *Optoelectronics and Advanced Materials – Rapid Communications*, 4(8): 1063-1065.

