

Original paper

EVALUASI AKURASI PENGUKURAN UNTUK PERUBAHAN POLARISASI KECIL DI UDARA

K. Sofjan Firdausi^{*)}, Winarno, Berliana Y. Hapsari

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.

Email: k.sofjanfirdausi@yahoo.co.id

Received: 2 Januari 2025; revised: 21 Januari 2025; accepted: 26 Januari 2025

ABSTRAK

Secara umum, udara dianggap sebagai medium non-optis aktif berdasarkan sifat kiralitas molekulnya, dan sering digunakan sebagai referensi nol praktis dalam pengukuran aktivitas optis. Penelitian ini bertujuan untuk menguji akurasi pengukuran aktivitas optis pada sampel udara serta mengidentifikasi ralat sistematis yang mungkin timbul dari penggunaan polarimeter sederhana. Sumber cahaya dengan panjang gelombang 635 nm, 532 nm, dan 405 nm digunakan dan dipolarisasi linier, dengan variasi sudut polarisator dari 0° hingga 90° dalam kenaikan 5° . Perubahan sudut polarisasi diukur menggunakan analisator digital dengan skala terkecil $0,01^\circ$. Hasil menunjukkan adanya ralat sistematis rata-rata sebesar $0,036^\circ$, yang kemungkinan disebabkan oleh ketidaksejajaran sumbu antara polarisator dan analisator. Selain itu, deviasi pengukuran antara $-0,04^\circ$ hingga $0,12^\circ$ diduga berasal dari kombinasi noise elektronik dan kesalahan paralaks. Meskipun secara teoritis tidak terjadi rotasi, karena udara dan kuvet bersifat non-optis aktif, hasil eksperimen menunjukkan adanya ambang sensitivitas sistem dalam mendeteksi rotasi sudut, yang mencerminkan adanya ralat sistematis tetap serta keterbatasan resolusi alat ukur.

Kata kunci: aktivitas optis, udara, ralat sistematis, perubahan polarisasi

ABSTRACT

Air is generally considered an optically inactive medium based on the chirality of its constituent molecules, and is often used as a practical zero-reference in optical activity measurements. This study aims to evaluate the accuracy of optical activity measurements in air samples and to identify systematic errors arising from the use of a simple polarimeter. Linearly polarized light sources with wavelengths of 635 nm, 532 nm, and 405 nm were used, with polarizer angles varied from 0° to 90° in 5° increments. The polarization changes were measured using a digital analyzer with a minimum scale (resolution) of 0.01° . The results show a systematic error averaging 0.036° , likely caused by misalignment between the polarizer and analyzer axes. Additionally, small deviations ranging from -0.04° to 0.12° are suspected to result from a combination of electronic noise and parallax errors during observation. Although no optical rotation is theoretically expected, as both air and cuvettes are optically inactive, the system exhibits a detectable sensitivity threshold, indicating the presence of residual systematic bias and limitations in experimental resolution.

Keywords: optical activity, air, systematic errors, light polarization change

PENDAHULUAN

Selama ini, pengukuran rotasi (perubahan) polarisasi cahaya pada sampel optis aktif

[1-9] mengabaikan ralat sistematis maupun ralat rambang pengukuran, karena rata-rata rotasi polarisasi dari sampel-sampel

tersebut meskipun antara 0 sampai 1° , kesalahan resolusi alat sebesar $0,01^\circ$. Dalam studi tersebut, karena kesalahan relatifnya relatif kecil, kesalahan dalam pengukuran biasanya diabaikan dalam pembahasan. Penggunaan metode elektro-optis pada studi-studi sebelumnya [5-9], semata-mata tidak hanya untuk menunjukkan fenomena optika tak linier, melainkan juga untuk meningkatkan polarisasi secara signifikan, yang dengan sendirinya dapat mereduksi kesalahan relatif pengukuran. Pada studi polarisasi cahaya pada material tak optis aktif seperti oli dan larutan perak koloid [10-12], pengabaian ralat sistematis menjadi sangat krusial ke depannya, dan perlu dievaluasi lagi untuk memperoleh hasil yang akurat. Oleh karena material tak optis aktif, efek perubahan polarisasi cahaya dapat muncul meskipun kecil. Hal ini karena perbedaan indeks bias dan birefringensi. Sejauh ini, udara dan kuvet (wadah untuk sampel) yang dianggap tak optis aktif secara teoritis menghasilkan perubahan polarisasi 0° , sehingga sangat cocok untuk kalibrasi atau menguji keberadaan ralat sistematis. Dalam tulisan ini, kami hendak mengevaluasi kesalahan sistematis pengukuran menggunakan udara dan kuvet kosong sebagai fondasi untuk kalibrasi pengukuran perubahan polarisasi pada berbagai sampel ke depannya.

METODE

Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah udara dan kuvet kosong (panjang lintasan optis 1 cm) yang secara teoritis diketahui bersifat tak optis aktif, dan diasumsikan mempunyai rotasi polarisasi sama dengan 0° untuk semua panjang gelombang cahaya. Semua kondisi eksperimental dianggap tetap dan dilakukan pada suhu kamar.

Peralatan

Sumber cahaya yang digunakan adalah laser pointer dengan panjang gelombang 405 nm, 532 nm, dan 635 nm. Sebuah polarisator digunakan untuk mempolarisasi linier dari cahaya datang dengan variasi dari 0 sampai 90° dan perubahan tiap 5° . Sebuah analisator digital dengan skala terkecil $0,01^\circ$ digunakan untuk mengukur adanya perubahan polarisasi cahaya setelah melewati polarisator menggunakan hukum Malus.

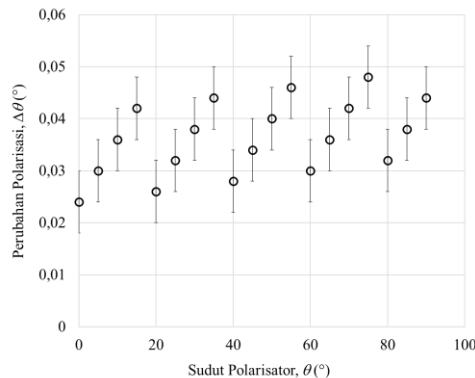
Penentuan ralat sistematis

Pengukuran ada atau tidak adanya ralat sistematis untuk udara dan kuvet kosong, masing-masing, dilakukan dengan 20 kali pengulangan. Uji- t statistik digunakan untuk menguji keberadaan ralat sistematis untuk $p < 0,05$. Hipotesa H_0 menunjukkan tidak ada ralat sistematis untuk $p > 0,05$, dan H_1 menunjukkan keberadaan ralat sistematis pada sistem peralatan untuk $p < 0,05$.

HASIL DAN DISKUSI

Rotasi polarisasi untuk berbagai panjang gelombang

Hasil pengukuran perubahan polarisasi pada sampel udara dan kuvet kosong memberikan nilai yang sama untuk semua panjang gelombang. Ini berarti sampel udara dan bahan kuvet sama-sama tidak bersifat optis aktif. Dengan demikian, kuvet kosong dan sampel udara dianggap kondisi tanpa sampel yang sama, dan jumlah populasi pengulangan data digabung menjadi 40. Hasil memberikan nilai terendah dalam setiap pengukuran tunggal adalah $-0,02^\circ$ (putar kiri) dan nilai tertinggi sekali pengukuran tunggal sebesar $0,12^\circ$ (putar kanan). Nilai rata-rata perubahan polarisasi ($\Delta\theta^\circ$) pada sudut polarisator (θ°) dari 0° sampai 90° ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Data perubahan polarisasi sebagai fungsi sudut polarisator untuk semua panjang gelombang.

Pada Gambar 1, nilai rata-rata rotasi (perubahan) polarisasi dalam rentang $0,024^\circ$ sampai $0,048^\circ$ dengan ketidakpastian pengukuran antara $0,006^\circ$ sampai $0,008^\circ$. Nilai ketidakpastian tersebut diperoleh dari kombinasi perhitungan setengah skala terkecil dan ralat eksperimen dari jumlah populasi pengukuran sebanyak 40 kali. Kalau diambil contoh dua sampel nilai pada dua kondisi $\theta = 0^\circ$ dan $\theta = 15^\circ$, secara kasat mata kedua nilai tersebut merupakan dua nilai yang berbeda. Selama ini, kebanyakan dari kami secara intuitif menganggap bahwa hal tersebut karena sampel udara yang sedikit mengalami polarisasi. Namun setelah melihat sifat simetri udara yang terdiri dari sebagian besar O_2 dan N_2 , maka harusnya perubahan polarisasi sangat-sangat kecil ($< 0,001^\circ$). Karena indeks bias yang hampir bernilai satu, untuk semua panjang gelombang tampak, tidak akan menghasilkan perubahan polarisasi secara signifikan. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa kedua nilai pada dua kondisi tersebut memang berbeda secara signifikan (nilai $t = -18$; nilai $p = 0$). Perbedaan tersebut menurut hemat kami bukan karena adanya sifat optis aktif. Oleh karena sudah diasumsikan bahwa secara praktis udara tak bersifat optis aktif dengan $\Delta\theta = 0^\circ$, maka kemungkinan terbesar adalah perubahan

sumbu optis antara polarisator dan analisator yang tidak sempurna yang kami sebut sebagai ralat sistematis. Maka dari itu, kami menguji lagi keberadaan ralat sistematis secara statistik untuk setiap perubahan sudut polarisator dari $0^\circ - 90^\circ$.

Keberadaan ralat sistematis

Tabel 1 menunjukkan hasil uji- t statistik dengan kriteria nilai $p < 0,05$, yang menunjukkan bahwa adanya ralat sistematis pada sistem polarimeter tersebut.

Tabel 1. Nilai p hasil uji- t statistik keberadaan ralat sistematis pada berbagai sudut polarisator.

Sudut Polarisator ($^\circ$)	p	Ralat sistematis ($^\circ$)
0	0,0083	0,024
5	0	0,03
10	0,0002	0,036
15	0	0,042
20	0,0045	0,026
25	0,0001	0,032
30	0	0,038
35	0	0,044
40	0,0003	0,028
45	0,0003	0,034
50	0	0,04
55	0	0,046
60	0	0,03
65	0,0002	0,036
70	0	0,042
75	0	0,048
80	0	0,032
85	0	0,038
90	0	0,044
Rata-rata		0,036

Berdasarkan Tabel 1, nilai rata-rata p kurang dari 0,05 secara meyakinkan terdapat ralat sistematis. Artinya bahwa setiap kali pengukuran pada kondisi sudut polarisator yang sama, maka terjadi

pergeseran sumbu optis sistem rata-rata $0,036^\circ$. Bila sistem polarimeter sederhana ini hendak digunakan untuk menentukan sifat optis aktif bahan lain, maka perlu adanya pengurangan pergeseran sumbu optis tersebut di setiap sudut polarisator. Fluktuasi nilai rotasi polarisasi dari $-0,04$ sampai $0,12^\circ$ menurut kami bukan berasal dari interaksi tumbukan antar molekul udara maupun hamburan cahaya oleh udara. Hal tersebut kemungkinan besar berasal dari noise elektronik analisator digital dan kesalahan paralaks saat pengamatan. Perlu pengembangan sistem polarimeter digital secara otomatis dengan resolusi tinggi. Kami sementara belum dapat mengkalibrasi dengan polarimeter digital lain yang resolusinya kurang dari $0,01^\circ$. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat ke depannya, pengukuran sifat optis aktif bahan-bahan lain harus mengkoreksi terlebih dahulu sumbu polarisator, terutama bila hendak digunakan untuk penentuan bahan yang bersifat optis aktif lemah.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran menggunakan sampel udara dan kuvet kosong pada suhu kamar diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu ralat sistematis rata-rata $0,036^\circ$. Ini mengharuskan kalibrasi tiap pemilihan sudut polarisator. Ralat sistematis ini relatif tetap yang sangat mungkin diakibatkan oleh ketidaksempurnaan sumbu polarisator. Ralat ini sementara kami sebut sebagai pergeseran sumbu polarisator. Selain itu, fluktuasi pengukuran tunggal perubahan polarisasi dari $-0,04^\circ$ sampai $0,12^\circ$ yang menghasilkan rata-rata perubahan polarisasi dari $0,024^\circ$ sampai $0,048^\circ$ menunjukkan sebagai ralat rambang dan sangat mungkin diakibatkan noise elektronik dan kesalahan paralaks pada pengamatan. Udara dan kuvet kosong yang secara teoritis tak optis aktif nampaknya sangat cocok sebagai dasar

koreksi sumbu polarisator untuk pengukuran bahan-bahan lainnya. Terakhir, perlu adanya pengukuran batas deteksi menggunakan larutan air yang tak optis aktif dan membandingkan dengan bahan standar seperti asam laktat yang bersifat optis aktif.

REFERENSI

- [1] Firdausi KS & Rahmawati H. Review of a simple powerful polarizer for testing of edible oil quality. *Berkala Fisika*. 2015;18(4):137-142.
- [2] Firdausi KS, Afiefah I, Sugito H, Azam M. Mapping various cooking oil using fluorescence polarization. *Journal of Physics and Its Applications*. 2018;1(1):18-23.
- [3] Ainurrofik N, Azam M, Sugito H, Richardina V, Firdausi KS. Effect of ozone addition on virgin coconut oil using changes in light transmission polarization. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1505(1):012057.
- [4] Nababan EM, Winarno W, Azam M, Sugito H, Sumariyah S, Utomo GN, Firdausi KS. A prediction of asymmetric triglycerides of palm oil using natural light polarization. *AIP Conference Proceedings*. 2024;3165:020009.
- [5] Firdausi KS, Triyana K, Susan AI. An Improvement of New Test Method for Determination of Vegetable Oil Quality Based on Electrooptics Parameter. *Berkala Fisika*. 2012;15(3):77-86.
- [6] Firdausi KS, Sugito H, Rahmawati H, Putranto AB. The relationship between electro-optics gradient and fatty acids composition in a new investigation on palm oil quality. *Advanced Science Letters*. 2017;23(7):6579-6581.

- [7] Afiefah I, Azam M, Sugito H, Firdausi KS. Contribution of electro-optics effect on canola oil as a new alternative method for determination of oil quality using transmission and fluorescence polarization. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017;1217:012030.
- [8] Firdausi KS, Afiefah I, Sugito H, Septiani RW, Richardina V. Determination of relative dissociation energy from electro-optics as a new single-proposed parameter of vegetable oil quality. *Journal of Physics and Its Applications*. 2019;2(1):61-66.
- [9] Septiani A, Utomo GN, Richardina V, Sugito H, Azam H, Soesanto QMB. A study of relative dissociation energy through electro-optics effect as a potential tool for evaluation of cooking oil quality. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1943:012021.
- [10] Soesanto QMB, Firdausi KS, Winarno W, Prabawa WGP. Characterization of The Optical Properties of Motor Vehicle Engine Lubricants Using the Light Polarization Method. *Journal of Physics and Its Applications*. 2022;5(1):23-29.
- [11] Rahmawati NDR, Soesanto QMB, Utomo GN, Sugito H, Firdausi KS. A study of light polarization on motorcycle lubricant oil. *AIP Conference Proceedings*. 2024;3165:020006.
- [12] Winarno W, Firdausi KS, Soesanto QMB, Khumaeni A. Characterization of Optical Properties of Colloidal Gold Solution based on Changes in Concentration using Light Polarization Method. *Journal of Physics and Its Applications*. 2024;6(2):43-47.