

Penerapan Sensor Fotodiode dalam Menentukan Kepekatan Kopi Secara Praktis

Rifa Talyta Maheswari¹
Oktavia Defi Putri Rahayu¹

AFILIASI :

¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas
Matematika dan Ilmu
Pengetahuan, Universitas
Jember

ALAMAT:

Universitas Jember, Jalan Kalimantan
Tegal Boto, Nomor 37, Jember, Jawa
Timur 68121

KORESPONDENSI:

Oktavia Defi Putri Rahayu
+62 83853985550
221810201016@mail.unej.ac.id

KATA KUNCI:

Konsentrasi Larutan
Transmisi cahaya LED
Sensor fotodiode
Pengukuran resistansi
Kepekatan kopi
Kalibrasi intensitas cahaya

JEI

<https://journal.unej.ac.id/JEI>
jei@unej.ac.id
FMIPA UNIVERSITAS JEMBER
ISSN:3032 3398

ABSTRAK

Kepekatan kopi menjadi faktor penting yang memengaruhi cita rasa dan kualitas minuman kopi. Kepekatan kopi menentukan kekuatan rasa, aroma, sehingga pengukuran kepekatan kopi dibutuhkan agar konsumen memperoleh cita rasa yang konsisten. Pengukuran kepekatan kopi dilakukan untuk memastikan bahwa setiap produk memiliki standar kualitas yang sama. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis kepekatan kopi berdasarkan nilai resistansi menggunakan sensor fotodiode dengan tingkat akurasi tinggi dan efisien pada coffe shop cabang A dan cabang B. Metode penelitian menggunakan sensor fotodiode dengan tujuan mendeteksi variasi dalam intensitas cahaya melewati sampel kopi, dimana terjadi perubahan yang dialami intensitas cahaya terhadap konsentrasi larutan kopi. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi larutan yaitu campuran antara larutan kopi dengan air dan campuran larutan kopi dengan susu menggunakan jumlah konsentrasi larutan yang ditentukan yaitu 3 ml hingga 12 ml. Hasil data yang diperoleh dianalisis untuk menemukan hubungan antara konsentrasi larutan kopi dengan campuran air dan susu terhadap hasil resistansi dengan warna LED berbeda. Hasil menunjukkan bahwa LED biru memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan kepekatan kopi, sedangkan LED kuning stabil dengan resistansi terendah. Kepekatan kopi paling tinggi dimiliki oleh cabang A, dimana cabang A memiliki nilai resistansi yang lebih tinggi dibandingkan cabang B, dan cabang memiliki tingkat kepekatan kopi yang lebih encer. Kesimpulan dari penelitian menunjukkan penggunaan sensor fotodiode dengan variasi warna LED efektif dalam menganalisis kepekatan kopi berdasarkan nilai resistansi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi sederhana dan terjangkau dalam pengawasan kualitas produk di industri

PENDAHULUAN

Kopi merupakan hasil pertanian yang dapat diolah menjadi bubuk kopi melalui proses pengolahan seperti sangrai dan penggilingan. Kopi menjadi komoditas global dan ditanam di lebih 50 negara. Indonesia merupakan produsen kopi terbesar di dunia terutama jenis kopi Robusta yang berasal dari Lampung [1]. Indonesia merupakan salah satu negara terbesar dalam memproduksi kopi dan menjadi peringkat ketiga sebagai produsen terbesar di dunia dengan mencapai 794,8 ribu ton pada tahun 2022 yang meningkat sebesar 1,1% dari tahun sebelumnya. Kualitas biji kopi yang baik akan meningkatkan nilai jual yang tinggi dan banyak diminati oleh konsumen [2]. Kopi tentunya sering diminati maupun dikonsumsi oleh masyarakat, namun hal ini juga perlu memperhatikan kesehatan karena kopi mengandung berbagai senyawa kimia yang dapat memberikan risiko bagi yang mengonsumsi dengan berlebihan [3].

Kopi merupakan salah satu minuman yang banyak dikonsumsi dan menjadi sumber utama kafein bagi banyak masyarakat. Berbagai penelitian telah dilakukan dalam memahami kopi dan kafein yang dapat memengaruhi kesehatan termasuk kontribusi kopi terhadap asupan energi dan gula, serta efeknya pada risiko kesehatan tertentu seperti toksisitas kafein dan kematian [4]. Kopi terdapat kafein yang merupakan *alkaloid psikoaktif*, dimana jika dikonsumsi dengan dosis rendah dapat meningkatkan kewaspadaan, suasana hati, maupun kinerja mental [5].

Kepekatan kopi merupakan faktor krusial yang memengaruhi cita rasa dan kualitas akhir dari minuman kopi. Tingkat kepekatan ini dipengaruhi oleh berbagai aspek, seperti jenis biji kopi dan metode penyeduhan yang digunakan. Kepekatan yang tepat akan menentukan kekuatan rasa dan aroma kopi, sehingga sangat penting untuk dilakukan pengukuran secara akurat. Pengukuran ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap

produk memiliki standar kualitas yang konsisten. Dengan menjaga kepekatan pada tingkat yang sesuai, produsen dapat menjamin konsistensi produk dan meningkatkan kepuasan konsumen.

Sensor fotodiode merupakan sensor cahaya jenis fotokonduktif, yang mana saat fotodiode terkena cahaya maka resistansinya mengalami perubahan. Sensor fotodiode dapat memberikan respon terhadap intensitas cahaya dan menghasilkan suatu arus listrik [6]. Sensor fotodiode digunakan dalam analisis konsentrasi larutan karena memiliki sensitivitas tinggi dan efisiensi yang baik. Intensitas cahaya yang diterima oleh fotodiode dapat diukur dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga data yang dihasilkan mencerminkan konsentrasi zat secara tepat dan andal.

Pengukuran konsentrasi suatu larutan kopi oleh beberapa peneliti pada penelitian sebelumnya menggunakan metode absorbansi cahaya dengan spektrofotometri. Penelitian yang dilakukan oleh Fajri *et al* [7] bertujuan menguji metode dalam pengukuran konsentrasi suatu zat dalam larutan kopi. Sementara itu, penelitian lainnya dapat menunjukkan hubungan antara spektrum Near Infrared (NIR) dan komposisi dalam biji kopi yang digiling, dimana hasil tersebut berfokus terhadap kandungan kafein, lipid, serta asam klorogenat. Hasil tersebut bertujuan untuk mengembangkan metode prediksi efektif menggunakan NIRS dalam menentukan kualitas kopi, penelitian ini dilakukan oleh Munawar *et al* [8]. Penelitian lain dilakukan oleh Girma *et al*, dimana penelitian dilakukan untuk menentukan konsentrasi logam esensial dan beracun dalam biji kopi jenis arabika menggunakan metode analitis dan instrumental [9]. Peneliti lainnya juga menunjukkan suatu komposisi asam dalam kopi dengan jenis arabika maupun robusta yang memiliki dampak signifikan pada kualitas sensorik kopi, penelitian ini dilakukan oleh Yeager *et al* [10]. Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa prinsip spektroskopi dapat diterapkan untuk menganalisis suatu konsentrasi komponen

tertentu dalam kopi serta menunjukkan kualitas berdasarkan komposisi dalam kopi.

Penelitian lain juga dilakukan oleh Ihsan *et al*, dimana penelitian ini bertujuan dalam menentukan kandungan kafein dalam biji kopi Robusta yang disangrai dengan berbagai tingkat *light*, *medium*, dan *dark* menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kandungan kafein biji kopi yang berasal dari dua daerah yang berbeda di Jawa Timur, yaitu Kawi dan Dampit. Perbandingan ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat adanya pengaruh signifikan terhadap kandungan kafein dalam kopi setelah melalui proses roasting. Penelitian ini juga dilakukan karena metode roasting mempengaruhi senyawa bioaktif dalam kopi, termasuk kafein yang berperan dalam banyak manfaat kesehatan [11]. Penelitian lain juga dilakukan oleh Wale, menunjukkan pengukuran kandungan kafein dalam kopi dengan menggunakan metode DPV dan EIS yang digunakan dalam menentukan respons elektrokimia terhadap konsentrasi kafein [12]. Penelitian keduanya berfokus dalam pengukuran konsentrasi kafein dalam kopi, namun metode yang dilakukan terdapat pengaruh dari variabel yang lebih luas seperti adanya metode roasting yang dapat mempengaruhi hasil konsentrasi kafein ketika pengukuran. Penelitian juga dilakukan pada teknik spektroskopi tingkat lanjut, seperti spektroskopi inframerah-tengah, inframerah-dekat, dan fluoresensi yang diterapkan dalam analisis kualitas kopi yang bertujuan untuk menentukan komposisi kimia, zat pengotor, dan atribut sensorik, yang memengaruhi kualitas kopi. Fotodiode merupakan komponen utama dalam pengaturan spektroskopi karena presisinya dalam mendeteksi penyerapan dan hamburan cahaya [13].

Penelitian juga dilakukan dengan mengevaluasi senyawa volatil pada kopi dengan berbagai metode penyeduhan (*espresso* dan *cold brew*) serta berbagai tingkat pemanggangan. Ditemukan bahwa suhu dan waktu pemanggangan mempengaruhi senyawa volatil seperti 2-

methylpyrazine dan furfural. Penggunaan air yang berbeda juga memengaruhi konsentrasi senyawa aroma tertentu [14]. Penelitian juga dapat menggunakan metode GC-TOF/MS dan GC×GC-TOF/MS untuk mendeteksi senyawa volatil di berbagai kondisi kopi (biji, bubuk, dan seduhan). Metode ini dapat membandingkan kemampuan kedua teknik untuk membedakan merek dan kondisi kopi berdasarkan senyawa volatil yang terdeteksi [15]. Sebuah penelitian melakukan percobaan penggunaan spektrofotometri UV-Vis untuk mengukur konsentrasi kafein dalam sampel kopi. Metode ini tidak merusak dan memberikan hasil yang cepat, sehingga ideal untuk aplikasi industri. Para peneliti menunjukkan korelasi antara absorbansi kafein pada panjang gelombang tertentu dan konsentrasinya dalam berbagai sediaan kopi [16].

Pengukuran kepekatan kopi telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Kepekatan kopi diukur dengan menggunakan spektrofotometri yang masih memerlukan biaya tinggi, waktu yang lama, dan peralatan yang tidak mudah dibawa kemana-mana sehingga sensor fotodiode dipilih sebagai alat ukur untuk mengukur kepekatan kopi dengan lebih efisien. Permintaan konsumen yang meningkat akan produk kopi yang berkualitas akan menjadi tantangan bagi produsen untuk menjaga kualitas setiap kopinya. Produsen harus tetap menjaga kualitas kopi dengan baik dengan cara menentukan kepekatan kopi dalam setiap produksinya.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis kepekatan kopi berdasarkan nilai resistansi menggunakan sensor fotodiode dengan tingkat akurasi yang tinggi dan efisien. Analisis ini diujikan pada kopi dari toko kopi cabang A dan cabang B. Proses ini menggunakan sensor fotodiode digunakan dengan tujuan dapat mendeteksi variasi dalam intensitas cahaya yang melewati sampel kopi, dimana akan terjadi perubahan yang dialami intensitas cahaya terhadap konsentrasi larutan kopi. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan suatu metode pengukuran yang presisi serta alat

yang lebih efisien digunakan dibandingkan pada penelitian sebelumnya.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pemanfaatan teknologi fotodiode untuk mengukur kepekatan kopi secara efisien. Toko kopi diharapkan dapat memanfaatkan metode ini untuk meningkatkan konsistensi kualitas produk dan membuka peluang inovasi lebih lanjut dalam penerapan fotodiode pada berbagai cairan yang memerlukan pengukuran konsentrasi.

Fokus penelitian ini yaitu pada pengujian resistansi sebagai indikator konsentrasi larutan. Penelitian ini tidak mencakup pada suhu atau variasi kimia lainnya dan hanya berfokus pada kualitas rasa kopi. Pembatasan ini dilakukan agar peneliti tetap fokus pada efektivitas fotodiode dalam pengukuran konsentrasi melalui hasil nilai resistansi.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kuantitatif untuk mengukur kepekatan kopi melalui analisis resistansi menggunakan sensor fotodiode. Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu variabel bebas, terikat, dan kontrol. Variabel bebas adalah variabel yang dapat diubah atau dikendalikan oleh peneliti, variabel bebas dalam penelitian ini yaitu konsentrasi kepekatan kopi yang digunakan, variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau bergantung pada variabel bebas, variabel terikat dalam penelitian ini yaitu intensitas cahaya yang tertransmisi, variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan selama penelitian berlangsung, variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu warna LED yang digunakan. Penelitian dilakukan pada Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember dengan tujuan mengetahui hubungan antara kepekatan kopi dan resistansi yang terukur dari sensor fotodiode dapat seakurat mungkin. Hubungan ini dapat diketahui melalui beberapa tahapan yaitu dimulai dari

larutan kopi dengan berbagai tingkat kepekatan yang digunakan sebagai sampel uji. Setiap sampel akan dilakukan pengukuran menggunakan sensor photodiode, dimana intensitas cahaya yang diterima sensor akan bervariasi sesuai dengan tingkat kepekatan kopi. Pengukuran yang dilakukan akan menghasilkan data resistansi untuk dianalisis dan diplot terhadap tingkat kepekatan kopi bertujuan melihat pola hubungan yang muncul. Analisis dilakukan dengan polynomial fitting menggunakan fungsi polyfit dan polyval. Polyfit digunakan untuk menghitung koefisien pola derajat dua antara molaritas (x) dan resistansi normalisasi (y), sedangkan polyval digunakan dalam mengevaluasi nilai polinomial pada rentang data kontinu x dari 3,5 hingga 12,5. Pendekatan ini diambil agar hasil penelitian dapat dilakukan dengan valid dan mengurangi faktor eksternal yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Metode eksperimen dipilih untuk memastikan bahwa variabel yang diukur adalah hasil perlakuan langsung terhadap sampel kopi pada berbagai konsentrasi. Sampel kopi disiapkan dalam beberapa konsentrasi standar untuk memastikan konsistensi dan setiap konsentrasi diukur dalam kondisi yang sama.

Jenis Data dan Pengambilan Data

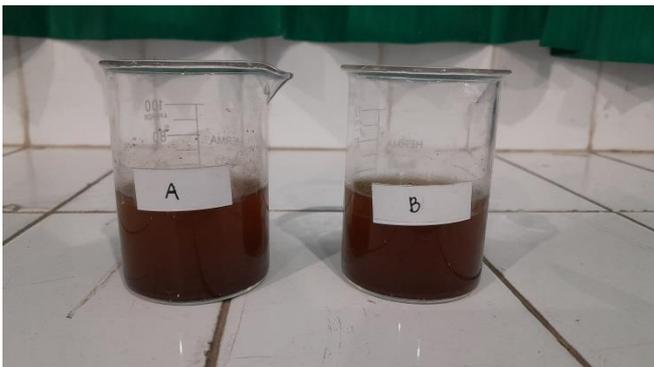
Data yang diperoleh berupa nilai resistansi dari sensor fotodiode saat mendeteksi sampel kopi dengan berbagai konsentrasi. Sampel kopi diukur dengan volume awal 5ml dan diencerkan menggunakan air atau susu sebanyak 3ml. Pengenceran dilakukan secara bertahap menggunakan sampel kopi yang ditambah dengan kelipatan 0,5ml, sehingga diperoleh konsentrasi yang bervariasi. Setiap pengukuran dilakukan dengan menggunakan multimeter digital yang telah dikalibrasi dengan satuan ohm. Warna LED yang digunakan yaitu LED merah, biru, kuning, dan hijau. Penggunaan warna LED yang berbeda dilakukan untuk menentukan respons yang paling sensitif dari sensor terhadap kepekatan kopi. Pengukuran dilakukan 3 kali untuk memastikan keakuratan dan hasil yang konsisten. Hasil data yang diperoleh dari penelitian kali ini dapat dilihat berdasarkan tabel 1.

Tabel 1. Jumlah sumber data.

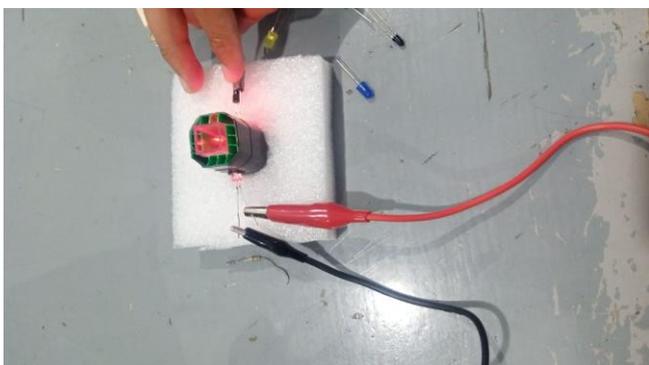
Jenis Data		Warna LED	Jumlah Data
Cabang	Campuran		
Cabang A	Susu	Merah	40
		Kuning	40
		Hijau	40
		Biru	40
	Air	Merah	40
		Kuning	40
		Hijau	40
		Biru	40
Cabang B	Susu	Merah	40
		Kuning	40
		Hijau	40
		Biru	40
	Air	Merah	40
		Kuning	40
		Hijau	40
		Biru	40
Total			640

Gambar 1 menunjukkan dua sampel kopi yang berasal dari cabang A dan cabang B, masing-masing sampel diletakkan pada gelas beaker. Sampel pada cabang A dan cabang B merupakan bahan yang diuji untuk menentukan kepekatan kopi menggunakan sensor fotodiode. Sebelum dilakukan pengukuran, masing-masing sampel diencerkan dengan menambahkan 3ml air atau susu dengan variasi pengenceran sebesar 3ml, 4ml, 5ml, 6ml, 7ml, 8ml, 9ml, 10ml, 11ml, dan 12 ml dengan kopi yang digunakan sebesar 0,5 ml sehingga menghasilkan larutan dengan konsentrasi yang bervariasi.

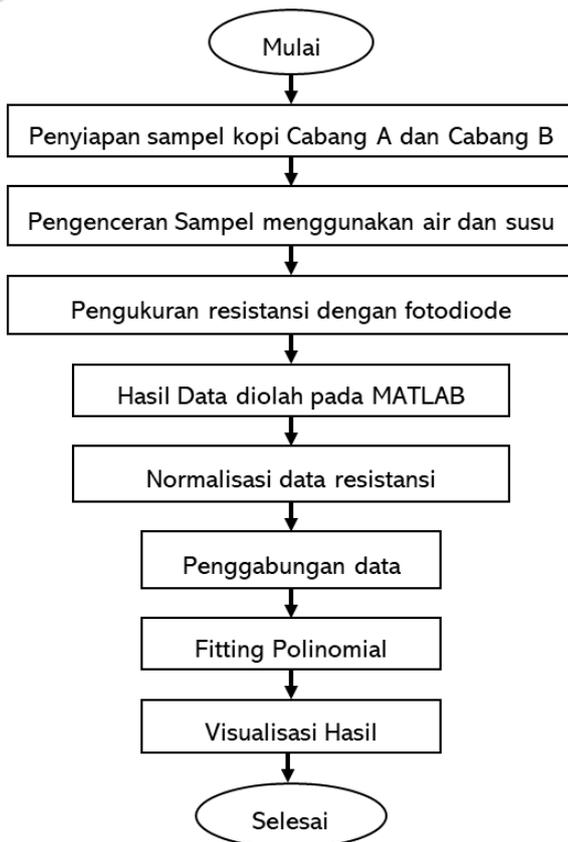
Gambar 2 menunjukkan proses pengukuran resistansi menggunakan sensor fotodiode. Sensor fotodiode dipasang pada perangkat uji berbasis busa styrofoam untuk menjaga kestabilan posisi selama proses pengukuran. Sumber cahaya (LED) memancarkan cahaya yang melewati larutan kopi, dan sensor fotodiode akan mendeteksi intensitas cahaya yang diteruskan. Nilai resistansi yang dihasilkan oleh fotodiode diukur menggunakan multimeter yang dihubungkan dengan kabel penghubung. Warna LED yang digunakan untuk uji larutan kepekatan kopi yaitu warna LED merah, biru, kuning dan hijau untuk mengoptimalkan respon sensor fotodiode.



Gambar 1. Sampel kopi cabang A dan B.



Gambar 2. Proses pengukuran resistansi dengan sensor fotodiode.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

Gambar 3 menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian dimulai dengan perencanaan dan menyiapkan alat dan bahan yang digunakan. Sampel kopi dari kedua cabang (A dan B) disiapkan dalam gelas beaker. Pemilihan sampel dilakukan untuk mengidentifikasi masing-masing kepekatan kopi dari lokasi yang berbeda. Setiap sampel diencerkan dengan menambahkan air atau susu sebanyak variasi yang ditentukan. Tahap pengenceran dilakukan untuk memastikan bahwa larutan kopi memiliki tingkat kejernihan yang sama dalam dua lokasi yang berbeda. Larutan kopi yang telah diencerkan kemudian diukur menggunakan sensor fotodiode. Sensor ini akan mendeteksi intensitas cahaya yang melewati larutan kopi sehingga menghasilkan nilai resistansi. Data resistansi yang diperoleh kemudian diolah menggunakan MATLAB. MATLAB dipilih karena perangkat lunak ini dapat menganalisis data yang kompleks. Data resistansi yang telah diukur kemudian dinormalisasi untuk menghilangkan ketidaksesuaian antara sampel. Setelah

dinormalisasi, data resistansi dari cabang A dan cabang B digabung untuk dianalisis sehingga menghasilkan pola hubungan antara konsentrasi kopi dan nilai resistansi hasil pengukuran. Data yang telah digabungkan diolah menggunakan metode fitting polinomial. Hasil fitting polinomial data dan analisis data divisualisasikan dalam bentuk grafik. Visualisasi hasil dilakukan untuk melihat pola hubungan antara konsentrasi kopi dengan nilai resistansi lebih jelas. Penelitian diakhiri setelah semua data dianalisis, hubungan antara konsentrasi kopi dan nilai resistansi ditemukan dan hasil divisualisasikan dalam bentuk grafik.

Prosedur Penelitian

Pengukuran dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan yaitu multimeter digital, pipet, kuvet, LED (merah, kuning, hijau, dan biru), gelas beaker, kabel jumper, sumber tegangan, air, susu steril, dan sampel kopi pada Cabang A dan Cabang B. Sampel kopi pada cabang A dan cabang B diambil masing-masing sebanyak 0,5 ml dan diencerkan menggunakan air dengan 10 variasi yaitu 3ml, 4ml, 5ml, 6ml, 7ml, 8ml, 9ml, 10ml, 11ml, dan 12ml, sehingga menghasilkan larutan kopi dengan kepekatan yang bervariasi. Hasil pengenceran diletakkan pada kuvet transparan. Kuvet ditempatkan diantara sumber cahaya LED dan sensor fotodiode. Pengukuran dilakukan dengan menyalakan LED pertama dan mengarahkan cahaya pada kuvet. Fotodiode akan mendeteksi cahaya yang diteruskan melalui larutan kopi sehingga mendapatkan keluaran nilai resistansi. Prosedur yang sama dilakukan pada tiga LED lainnya dan dilakukan juga pada pengenceran oleh susu steril. Setelah keempat LED diuji pada satu sampel, kuvet diganti dengan sampel berikutnya dan pengukuran dilakukan dengan tiga kali pengulangan untuk hasil yang lebih akurat. Pengukuran nilai resistansi dilakukan pada cabang B dengan prosedur kerja yang sama. Data yang terkumpul dianalisis untuk dapat mengetahui hubungan antara konsentrasi kopi dan nilai resistansi yang dihasilkan.

Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengukuran resistansi dianalisis melalui beberapa tahapan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah polynomial fitting dengan pendekatan least squares untuk menganalisis hubungan antara data resistansi yang diperoleh dari pengukuran dengan variabel-variabel independen, seperti molaritas atau konsentrasi larutan. Polynomial fitting dilakukan dengan menggunakan fungsi polyfit dan polyval. Polyfit digunakan untuk menghitung koefisien pola derajat dua antara konsentrasi (x) dan resistansi normalisasi (y), dan polyval digunakan untuk mengevaluasi nilai polinomial pada rentang data kontinu x dari 3,5 hingga 12,5. Polynomial kuadratik dilakukan untuk menjaga keseimbangan antara akurasi dan kompleksitas model. Sebelum fitting dilakukan, data resistansi dinormalisasi terhadap R_0 agar data resistansi dalam skala yang lebih sama. Data yang dihasilkan digambarkan pada grafik menggunakan scatter plot dengan setiap warna mewakili kelompok data yang berbeda. Garis fitting polynomial di plot menggunakan hasil dari polyval dengan warna berbeda untuk setiap data. Teknik ini bertujuan untuk menemukan model matematika yang secara akurat menggambarkan pola perubahan data resistansi berdasarkan variasi tingkat pengenceran larutan. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Proses fitting dimulai dengan mengimpor data resistansi yang telah diukur ke dalam MATLAB untuk diolah. Langkah pertama melakukan pemilihan tingkat polinomial (derajat) yang sesuai untuk model. Derajat polinomial menentukan tingkat kompleksitas model, dimana derajat yang lebih tinggi menunjukkan model untuk menangkap pola data yang lebih kompleks. Proses fitting dilakukan menggunakan fungsi polyfit untuk menghitung koefisien polinomial, diikuti oleh validasi dengan polyval untuk memprediksi nilai resistansi. Model dievaluasi menggunakan parameter R-squared dan analisis residu untuk memastikan tingkat akurasi. Metode polynomial fitting dapat

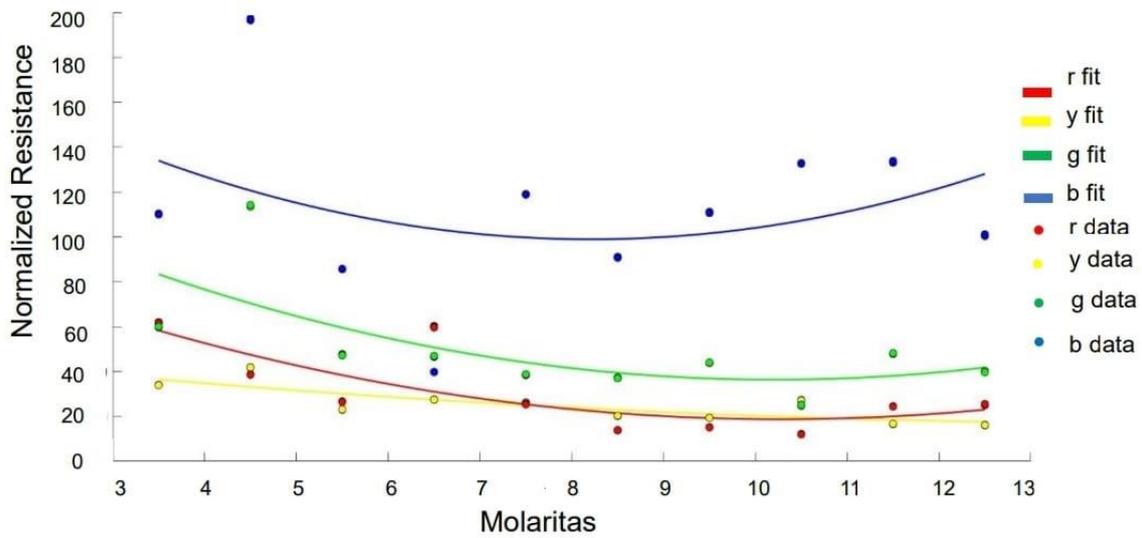
membuat kurva lebih tepat pada data yang menunjukkan perubahan non-linear.

HASIL DAN PEMBAHASAN

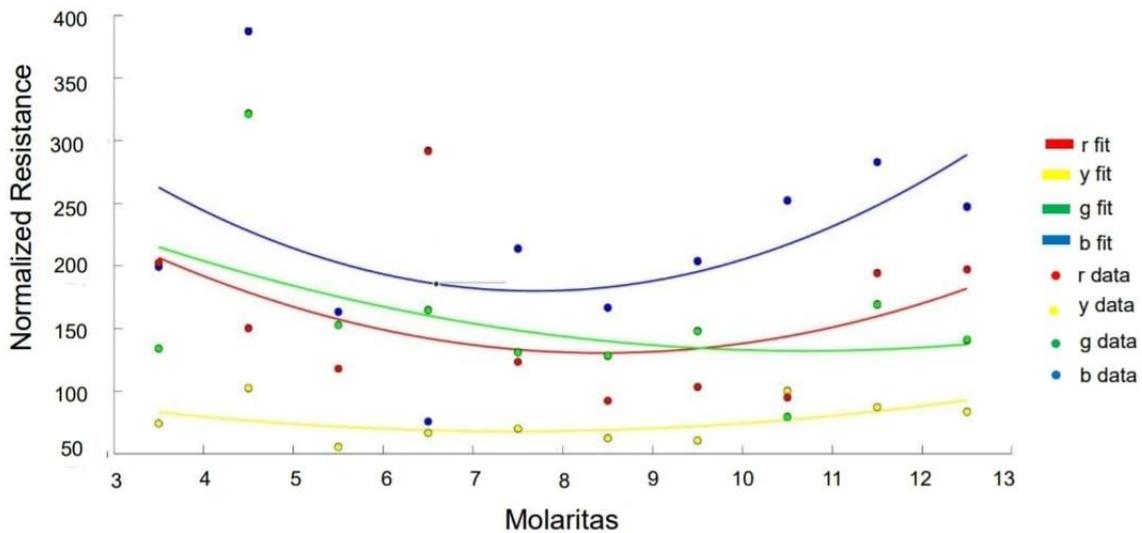
Data dan Temuan

Pengukuran resistansi pada konsentrasi larutan kopi dengan LED yang berbeda yaitu meliputi LED dengan warna merah, kuning, biru, dan hijau. Hasil pengukuran yang pertama yaitu pada jenis larutan kopi cabang A yang dicampur dengan variasi air dan campuran variasi susu. Pengukuran resistansi yang dihasilkan pada kopi dari cabang A dengan variasi air sejumlah 3 ml sampai 12 ml menunjukkan adanya penurunan nilai resistansi berdasarkan warna LED. Hasil warna LED biru cenderung lebih tinggi jika dibandingkan warna LED lainnya. Warna LED hijau dan merah menunjukkan pola resistansi yang menurun secara bertahap dengan peningkatan konsentrasi larutan kopi. Hal ini menunjukkan bahwa sensitivitas larutan terhadap cahaya hijau dan merah tidak sebesar terhadap cahaya biru. Hasil pada LED kuning menunjukkan nilai resistansi yang rendah jika dibandingkan warna LED lainnya dan menunjukkan garis tren yang lebih mendatar atau bisa dibilang konstan, hal ini terjadi karena intensitas cahaya kuning paling sedikit terpengaruh oleh perubahan konsentrasi larutan kopi. Hasil pengukuran ditunjukkan seperti pada Gambar 4.

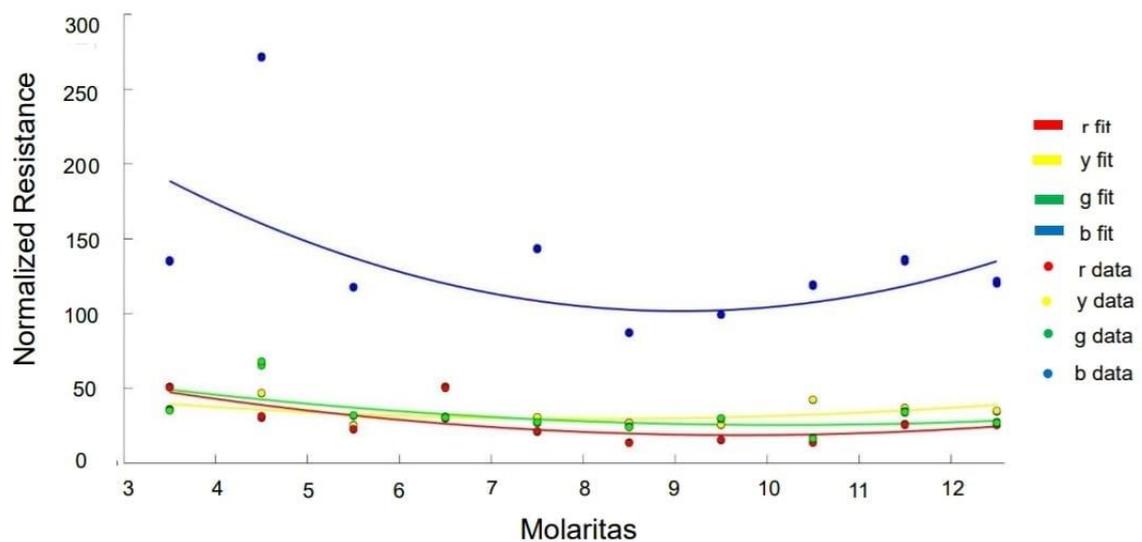
Hasil pengukuran resistansi yang dihasilkan pada cabang A dengan variasi susu sejumlah 3 ml sampai 12 ml menunjukkan adanya penurunan nilai resistansi berdasarkan warna LED. Hasil menunjukkan bahwa jika semakin tinggi kepekatan larutan, nilai resistansi tidak selalu linier, namun membentuk pola kurva tertentu. LED biru cenderung memiliki nilai resistansi yang lebih tinggi jika dibandingkan warna LED yang lain terhadap variasi konsentrasi larutan, baik pada konsentrasi rendah hingga sedang. Hal ini menunjukkan bahwa sensor lebih sensitif terhadap LED biru pada konsentrasi tertentu.



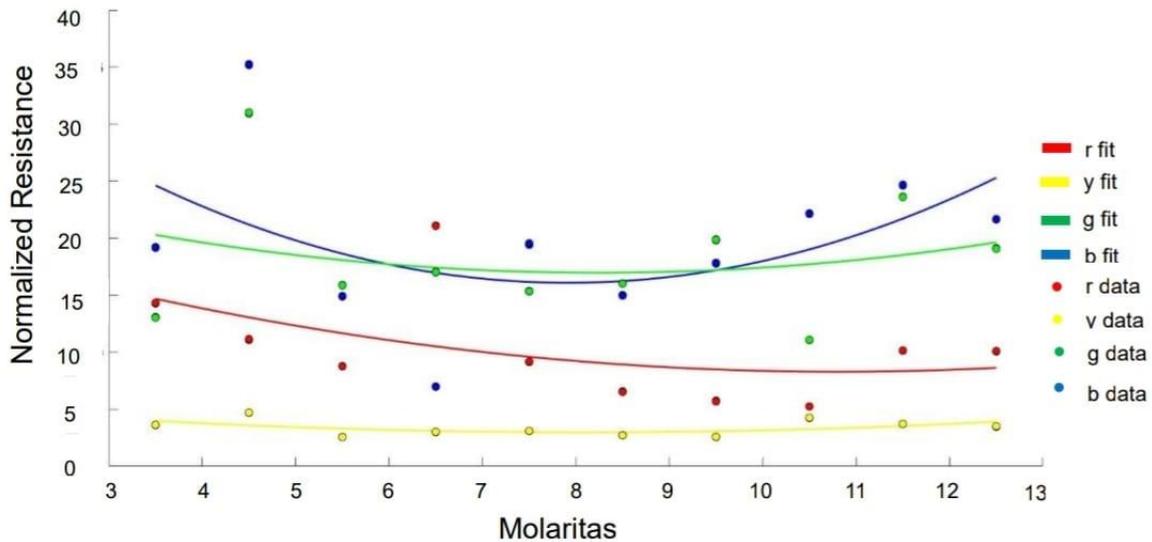
Gambar 4. Hubungan antara konsentrasi larutan dan resistansi pada cabang A (air).



Gambar 5. Hubungan antara konsentrasi larutan dan resistansi pada cabang A (susu).



Gambar 6. Hubungan antara konsentrasi larutan dan resistansi pada cabang B (air).



Gambar 7. Hubungan antara konsentrasi larutan dan resistansi pada cabang B (susu).

Kurva dengan LED merah dan hijau menunjukkan tren menurun pada konsentrasi rendah, tetapi cenderung mendatar atau sedikit meningkat pada konsentrasi yang lebih tinggi. Sementara itu, kurva LED kuning terlihat memiliki nilai resistansi yang paling rendah di antara warna LED lainnya dengan tren yang stabil. Hasil pengukuran ditunjukkan seperti pada Gambar 5.

Pengukuran resistansi kopi dari cabang B pada larutan kopi yang dicampur dengan air menunjukkan LED biru yang nilai resistansinya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan warna LED lain seperti merah, kuning, dan hijau. Hal ini menunjukkan bahwa warna biru mungkin kurang efektif dalam menembus larutan atau lebih terpengaruh oleh perubahan konsentrasi larutan. Hasil pada warna merah, kuning, dan hijau, dapat dikatakan bahwa nilai resistansi yang dihasilkan cenderung lebih rendah dan relatif stabil terhadap perubahan konsentrasi larutan, ditunjukkan pada garis fit polinomial yang lebih datar. Hasil pada pengukuran ini disajikan dalam Gambar 6.

Pengukuran resistansi cabang B pada campuran larutan antara kopi dengan susu bahwa pada LED biru menunjukkan nilai resistansi yang lebih tinggi dibandingkan warna lain. Hal ini menunjukkan bahwa campuran kopi dan susu lebih menyerap cahaya biru pada konsentrasi yang lebih

tinggi. LED merah menunjukkan pola penurunan resistansi secara perlahan dengan meningkatnya konsentrasi larutan. Hasil ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya merah tidak terlalu dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi campuran antara kopi dan susu. LED hijau juga menunjukkan pola yang mirip dengan biru namun dengan resistansi yang lebih rendah, sementara LED kuning memiliki nilai resistansi paling rendah dan garis yang datar atau konstan. Hal ini menunjukkan bahwa warna kuning mungkin paling sedikit terpengaruh oleh variasi konsentrasi larutan, dan tidak terlalu menyerap cahaya kuning dari campuran kopi dan susu. Hasil pada pengukuran ini disajikan dalam Gambar 7.

Perbandingan pengukuran resistansi untuk larutan kopi dengan variasi air dan susu pada dua cabang menunjukkan perbedaan respons pada tiap warna LED yang meliputi biru, merah, hijau, dan kuning. Hasil secara keseluruhan, LED biru menunjukkan sensitivitas paling tinggi terhadap perubahan kepekatan kopi, baik dalam campuran air maupun susu, sedangkan LED kuning paling stabil dengan resistansi terendah. Hal ini menunjukkan bahwa variasi warna LED mempengaruhi respons resistansi sensor terhadap kepekatan larutan kopi, dengan LED biru paling sensitif dan LED kuning paling stabil di antara semua warna.

Pembahasan

Hasil pengukuran pada penelitian ini membahas tentang kepekatan kopi berdasarkan nilai resistansi menggunakan LED dengan warna berbeda yaitu meliputi warna LED biru, merah, hijau, dan kuning pada dua jenis larutan campuran kopi dengan air dan campuran kopi dengan susu. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa LED biru menghasilkan nilai resistansi yang lebih tinggi dalam kedua jenis campuran, hal ini menunjukkan bahwa cahaya biru memiliki sensitivitas paling tinggi terhadap perubahan kepekatan kopi. LED kuning menunjukkan resistansi yang rendah namun juga menunjukkan garis tren yang cukup stabil, karena disebabkan oleh rendahnya sensitivitas cahaya kuning terhadap perubahan konsentrasi dalam kedua jenis larutan. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fajri *et al*, menggunakan metode berbeda yaitu spektrofotometer UV-Vis dalam mendeteksi konsentrasi larutan, dimana warna cahaya tertentu dapat memberikan sensitivitas lebih tinggi terhadap variasi dalam larutan dibandingkan warna lain [7]. Hasil penelitian yang dilakukan dapat dikatakan bahwa LED biru cenderung lebih sensitif dalam larutan yang mengandung senyawa ataupun kandungan lain karena panjang gelombang yang pendek sehingga mudah diserap oleh molekul yang ada dalam larutan pekat seperti kopi. Hasil ditunjukkan melalui respons yang berbeda antara LED biru dengan warna LED lainnya yang meliputi LED merah, kuning, dan hijau juga berkaitan dengan perbedaan komponen dalam sensor fotodiode yang digunakan serta adanya perbedaan panjang gelombang cahaya yang digunakan.

Pada Gambar 4 yaitu Cabang A dengan pengenceran air menunjukkan bahwa perubahan resistansi berbanding terbalik dengan penambahan air. Semakin encer larutan kopi, semakin rendah nilai resistansi yang terukur. Pada awal pengenceran, resistansi relatif tinggi pada semua LED yang menunjukkan bahwa konsentrasi kopi masih pekat sehingga partikel dalam larutan kopi dapat meningkatkan resistansi. LED warna

kuning memiliki rentang molaritas dari 3 hingga 12 dengan nilai resistansi antara 20ohm hingga 40 ohm. Kurva ini menunjukkan bahwa setelah pengenceran, kepekatan kopi pada cabang A tergolong rendah karena perubahan molaritas tidak berdampak signifikan pada resistansi kopi. Kopi yang terdeteksi LED kuning memiliki kepekatan yang cukup encer. LED warna biru memiliki rentang molaritas yang sama dengan resistansi sekitar 60 ohm hingga 200 ohm. Kurva menunjukkan pola non linear dimana resistansi awalnya menurun namun meningkat kembali pada molaritas yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kopi dengan kepekatan tinggi dapat terdeteksi oleh LED biru, sehingga pengenceran kopi dengan air dapat menurunkan kepekatan senyawa aktif yang terlihat dari adanya perubahan resistansi.

Pada Gambar 5 kopi dari Cabang A dengan pengenceran susu menunjukkan bahwa resistansi tetap tinggi meskipun dilakukan pengenceran. Hal ini menunjukkan bahwa susu yang digunakan sebagai pengencer, tetap menghasilkan kepekatan yang tinggi. Susu mengandung komponen tambahan seperti lemak dan protein yang menyebabkan jumlah partikel yang terlarut lebih tinggi. Kopi yang diencerkan dengan susu tetap lebih pekat yang terbukti dari hasil nilai resistansi yang lebih tinggi daripada air. Pada grafik, LED warna biru menunjukkan rentang molaritas dari 3 hingga 12 dengan nilai resistansi sekitar 150 ohm hingga 400 ohm. Kurva membentuk parabola, dimana resistansi menurun seiring dengan meningkatnya molaritas. LED warna kuning menunjukkan nilai resistansi lebih rendah menunjukkan bahwa kopi yang terdeteksi oleh LED kuning berada pada kepekatan yang lebih rendah.

Kepekatan kopi yang diencerkan dengan susu pada cabang A lebih tinggi nilai kepekatannya dibandingkan dengan pengenceran menggunakan air pada cabang A, dimana hasil ini terlihat dari rentang resistansi yang lebih tinggi pada LED biru. Resistansi yang lebih tinggi pada

pengenceran susu menunjukkan bahwa partikel susu menyebabkan kopi lebih pekat dan buram sehingga LED biru mendeteksi nilai resistansi yang lebih besar. Sebaliknya, pengenceran air menghasilkan resistansi yang lebih rendah karena air menyebabkan larutan kopi lebih jernih dan encer, sehingga lebih mudah melewati larutan tanpa banyak hambatan.

Gambar 6 yaitu pada kopi dari cabang B pengenceran dengan air, menunjukkan pola kurva berbentuk parabola. Rentang molaritas yang diamati berkisar antara 3 hingga 12, dengan nilai resistansi sekitar 100 ohm hingga 300 ohm. Resistansi mengalami penurunan pada awal seiring meningkatnya molaritas hingga mencapai titik terendah sekitar molaritas 8 dengan resistansi sekitar 100 ohm, dan mengalami kenaikan pada molaritas lebih tinggi. Berdasarkan data resistansi yang diamati pada LED biru (yang paling sensitif terhadap perubahan kepekatan kopi) dapat ditunjukkan bahwa kopi pada cabang A dengan pengenceran air lebih pekat dibandingkan dengan pada cabang B. Hal ini terlihat dari nilai resistansi yang lebih tinggi pada cabang A pada rentang molaritas yang sama dan menunjukkan konsentrasi partikel yang lebih tinggi di larutan kopi tersebut.

Gambar 7 yaitu pada cabang B pengenceran kopi dengan susu, dengan molaritas rendah yaitu sekitar 3 hingga 9, resistansi cenderung lebih tinggi, kemungkinan karena efek saturasi yang menghambat pergerakan ion. Saat kopi mulai diencerkan dengan susu, resistansi menurun karena peningkatan konduktivitas akibat ion terlarut yang lebih bebas bergerak. Pada pengenceran molaritas diatas 9 resistansi kembali meningkat karena jumlah ion terlarut berkurang dan mengurangi konduktivitas.

Kepekatan kopi pada cabang A dengan pengenceran susu menunjukkan bahwa sampel memiliki kepekatan yang lebih tinggi dibandingkan pada cabang B dengan pengenceran yang sama. Pada cabang B, kepekatan kopi lebih rendah sehingga nilai resistansi lebih rendah dan pola perubahan

resistansi terhadap molaritas tidak setajam pada cabang A. Hasil ini menunjukkan bahwa cabang A memiliki sampel dengan kopi yang lebih pekat atau konsentrasi yang lebih tinggi, sedangkan cabang B cenderung memiliki kepekatan kopi yang lebih encer.

Penelitian yang dilakukan ini menunjukkan bahwa metode penggunaan sensor fotodiode dalam mendeteksi suatu perubahan kepekatan yang dialami kopi cukup stabil, hasil ini dapat dikatakan untuk setiap resistansi antara LED dengan warna berbeda dengan larutan yang berbeda, baik dalam campuran air maupun susu. Metode yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu menggunakan alat spektrofotometri jika dibandingkan dengan metode penelitian ini dapat dikatakan bahwa metode resistansi dengan LED ini dapat dibilang memiliki keterbatasan dalam mendeteksi konsentrasi dengan presisi yang sangat tinggi [7]. Hal ini dapat dikatakan karena metode spektrofotometri yang dilakukan peneliti sebelumnya mampu mengukur absorpsi cahaya dengan lebih tepat dan dapat dilakukan pengukuran dengan berbagai panjang gelombang dalam mendeteksi konsentrasi zat dengan lebih akurat, dibandingkan dengan teknik resistansi yang relatif lebih sederhana.

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya dampak ataupun pengaruh cukup penting jika dilakukan penelitian lanjutan maupun aplikasi praktis, dimana dapat diterapkan dalam bidang industri makanan bahkan juga minuman. Pengaruh yang dapat diterapkan yaitu dalam pengukuran konsentrasi zat baik dalam kandungan maupun bahan tambahan dalam minuman hingga makanan. Penggunaan sensor fotodiode dalam mengukur resistansi dengan variasi LED warna tertentu, penelitian yang dilakukan ini mampu dijadikan metode dalam bentuk sederhana dan harga yang cukup terjangkau dalam mendeteksi kepekatan zat suatu larutan. Penelitian juga dapat dilakukan dengan meningkatkan sensitivitas maupun keakuratan dengan cara menambahkan kalibrasi pada setiap jenis larutan yang

dianalisis jika digunakan pada aplikasi yang membutuhkan akurasi tinggi.

Penelitian ini dapat dikatakan memiliki keterbatasan dalam penggunaan variasi panjang gelombang LED. Penelitian yang dilakukan jika menggunakan variasi panjang gelombang yang lebih luas mampu menunjukkan hasil data yang lebih detail mengenai nilai resistansi terhadap berbagai kepekatan larutan kopi yang digunakan. Metode dalam pencampuran kopi dengan air maupun susu dapat dikatakan jika tidak sepenuhnya homogen, sehingga hal ini dapat memengaruhi hasil pengukuran resistansi. Suhu larutan juga menjadi faktor lain yang perlu diperhatikan karena suhu larutan juga dapat mempengaruhi hasil resistansi, dimana jika larutan dalam suhu yang lebih tinggi bahkan lebih rendah dari suhu ruang dapat dikatakan bahwa dapat menghasilkan nilai resistansi yang berbeda. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan penelitian dengan mengontrol suhu atau juga dalam homogenitas larutan sehingga dapat meningkatkan validitas dan keakuratan hasil yang diperoleh.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sensor fotodiode dengan variasi LED warna khususnya pada LED biru dapat dikatakan efektif dalam menganalisis kepekatan kopi berdasarkan resistansi, dengan sensitivitas terbaik pada larutan kopi bercampur susu karena interaksi panjang gelombang cahaya biru dengan partikel terlarut. Resistansi yang lebih tinggi pada cabang A menunjukkan kepekatan kopi yang lebih pekat dibandingkan cabang B, dan pengenceran dengan air maupun susu menghasilkan pola resistansi yang menunjukkan perubahan konsentrasi larutan. Secara kuantitatif, resistansi yang terukur berkisar antara 100Ω hingga 900Ω menunjukkan korelasi dengan konsentrasi larutan pada rentang tertentu. Metode ini, meskipun kurang presisi dibandingkan spektroskopi memiliki sensitivitas yang cukup menjadikannya unggul dalam kesederhanaan, efisiensi biaya, dan

kemudahan aplikasi dalam memantau kualitas produk di industri makanan dan minuman. Penelitian ini juga memperkuat gagasan bahwa alat spektroskopi sederhana dan terjangkau dapat diakses dengan mudah dalam menganalisis konsentrasi komponen tertentu dalam kopi serta menilai kualitasnya berdasarkan komposisi dalam larutan. Hal ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis sensor fotodiode dapat menjadi alternatif yang efisien untuk aplikasi praktis di industri makanan dan minuman.

DEKLARASI

Tim peneliti kepekatan kopi berdasarkan resistansi menggunakan sensor fotodiode dengan akurasi tinggi dan efisien bertujuan untuk menunjukkan beberapa aspek penting dari penelitian yang dilakukan. Penelitian dilakukan bahwa tidak ada konflik antara para peneliti sehingga tetap menjaga perbedaan pendapat untuk hasil penelitian. Sensor fotodiode digunakan dalam pengukuran resistansi, namun disini penelitian menunjukkan adanya keterbatasan dalam penggunaan variasi panjang gelombang LED. Prosedur penelitian telah dilakukan dengan tahapan yang sesuai yang sebelumnya telah disetujui dan dipastikan berdasarkan kerahasiaan peneliti. Adanya keterbatasan dalam penelitian dilakukan solusi untuk penelitian selanjutnya dengan mengontrol suhu atau juga dalam homogenitas larutan sehingga dapat meningkatkan validitas dan keakuratan hasil yang diperoleh. Ungkapan tim peneliti ini bertujuan menjaga transparansi yang sesuai dengan standar akademik penelitian yang telah dilakukan.

REFERENSI

- [1] D. Herawati, P. E. Giriwono, F. N. A. Dewi, T. Kashiwagi, and N. Andarwulan, "Critical roasting level determines bioactive content and antioxidant activity of Robusta coffee beans," *Food Sci. Biotechnol.*, vol. 28, no. 1, pp. 7–14, 2019, doi: 10.1007/s10068-018-0442-x.

- [2] A. Nadiyah Ananda, T. Sagita Azzahra, W. Susanti, and R. Wikansari, "Analisis Daya Saing Ekspor Kopi Indonesia Pada Pasar Internasional Analysis of the Competitiveness of Indonesian Coffee Exports in the International Market," *Agroradix*, vol. 7, no. 1, pp. 128–135, 2023.
- [3] H. Lire Wachamo, "Review on Health Benefit and Risk of Coffee Consumption," *Med. Aromat. Plants*, vol. 06, no. 04, 2017, doi: 10.4172/2167-0412.1000301.
- [4] M. C. Cornelis, "The impact of caffeine and coffee on human health," *Nutrients*, vol. 11, no. 2, pp. 11–14, 2019, doi: 10.3390/nu11020416.
- [5] C. Willson, "The clinical toxicology of caffeine: A review and case study," *Toxicol. Reports*, vol. 5, no. April, pp. 1140–1152, 2018, doi: 10.1016/j.toxrep.2018.11.002.
- [6] J. W. Simatupang, L. A. Prastyo, Z. Junior, and F. Fernando, "Pemanfaatan Sensor Fotodioda Berbasis Penguat IC LM358 Sebagai Pendeteksi Jarak Api Pada Saat Kebakaran," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 6088–6095, 2023, doi: 10.32672/jse.v8i2.5910.
- [7] N. Fajri, E. C. Prima, R. Riandi, and S. Sriyati, "Validasi Metode Analisis Konsentrasi Larutan Kopi berdasarkan Spektroskopi Absorpsi Cahaya," *JIPFRI (Jurnal Inov. Pendidik. Fis. dan Ris. Ilmiah)*, vol. 8, no. 1, pp. 51–59, 2024, doi: 10.30599/jipfri.v8i1.2101.
- [8] A. A. Munawar, Zulfahrizal, and D. Mörlein, "Prediction accuracy of near infrared spectroscopy coupled with adaptive machine learning methods for simultaneous determination of chlorogenic acid and caffeine on intact coffee beans," *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 10, no. August, pp. 0–6, 2024, doi: 10.1016/j.cscee.2024.100913.
- [9] B. Girma and K. Wale, "Analytical Methods for Determining Metals Concentrations in Coffee (&i>Coffea arabica L. </i>) in Ethiopia: A Review," *Am. J. Appl. Chem.*, vol. 11, no. 4, pp. 95–102, 2023, doi: 10.11648/j.ajac.20231104.11.
- [10] S. E. Yeager, M. E. Batali, J. X. Guinard, and W. D. Ristenpart, "Acids in coffee: A review of sensory measurements and meta-analysis of chemical composition," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 63, no. 8, pp. 1010–1036, 2023, doi: 10.1080/10408398.2021.1957767.
- [11] B. R. P. Ihsan, A. F. Shalas, Y. Elisabeth, L. M. Claudia, and A. R. Putri, "Determination of caffeine in Robusta coffee beans with different roasting method using UV-Vis spectrophotometry," *Food Res.*, vol. 7, no. 6, pp. 29–34, 2023, doi: 10.26656/fr.2017.7(6).1006.
- [12] K. Wale, "Quantification of Caffeine Concentration: An Electrochemical Method: A Review," *Am. J. Appl. Chem.*, no. December 2023, 2023, doi: 10.11648/j.ajac.20231106.12.
- [13] L. Munyendo, D. Njoroge, and B. Hitzmann, "The Potential of Spectroscopic Techniques in Coffee Analysis—A Review," *Processes*, vol. 10, no. 1, pp. 1–25, 2022, doi: 10.3390/pr10010071.
- [14] J. M. Yu, M. Chu, H. Park, J. Park, and K. G. Lee, "Analysis of volatile compounds in coffee prepared by various brewing and roasting methods," *Foods*, vol. 10, no. 6, 2021, doi: 10.3390/foods10061347.
- [15] X. Fang *et al.*, "Application of GC-TOF/MS and GC×GC-TOF/MS to Discriminate Coffee Products in Three States (Bean, Powder, and Brew)," *Foods*, vol. 12, no. 16, 2023, doi: 10.3390/foods12163123.
- [16] J. Del Coso, J. J. Salinero, B. Lara, S. Studies, and R. Juan, "Effects of Caffeine and Coffee on Human Functioning nutrients E f f ects of Ca f f e i n e and Co f f e e on Human Functioning," *Nutrients*, vol. 12, no. 125, pp. 1–5, 2020.