

Purwarupa Alat Ukur Kekentalan Minyak Goreng menggunakan Sinar Laser dan *Light Dependent Resistor* (LDR)

Prototype of Cooking Oil Viscosity Measuring Instrument Using Laser Beam and Light Dependent Resistor (LDR)

Dudi Adi Firmansyah^{1,*}, Aria Tama¹, Decky Ari Irwanto¹, Gianto¹, Vera Firmansyah¹, Willi Sutanto¹, Nandang Gunawan Tunggal Waras¹, Budi Yasri¹, Azis Muslim¹, Chandrini Mestika Dewi¹, Eko Karsono¹, Ari Susandy Sanjaya², Ira Puspita Rahmawati³, Eliyana Firmansyah⁴, Hilman Syaeful Alam⁵

¹Program Studi D-III Metrologi dan Instrumentasi, Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Sumedang.

²Program Studi Teknik Kimia, Universitas Mulawarman, Samarinda.

³PT. Ramdhani Jaya, Bandung.

⁴PT. Global Quality Indonesia, Bandung.

⁵Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jakarta Pusat.

Email* : dudiadif@akmet.ac.id

Abstrak – Viskositas merupakan parameter kualitas yang sangat penting untuk membedakan minyak goreng baru dan minyak bekas akibat pemanasan. Meskipun demikian, peralatan pengukurannya masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah purwarupa yang dapat mengukur kekentalan minyak goreng secara praktis, cepat dan akurat. Pengukuran kekentalan minyak goreng tersebut dilakukan dengan metode viskometer bola jatuh yang waktu pergerakan bolanya dideteksi dengan laser dan sensor LDR serta dicatat secara otomatis oleh pencatat waktu internal pada Arduino Uno. Dalam waktu singkat, nilai viskositas minyak goreng dapat ditentukan dengan nilai presisi sebesar 94,73%. Purwarupa juga menunjukkan hasil yang akurat 98,09% setelah dikalibrasi dengan rekaman video. Hasil pengukuran viskositas minyak goreng baru dengan purwarupa pada suhu 29 °C hingga 45 °C menunjukkan penurunan nilai viskositas pada rentang 1,225 – 1,112 Pa.s, sedangkan hasil dari rekaman video berada rentang 1,230 – 1,070 Pa.s. Dari rentang tersebut terdapat dua kecenderungan yaitu lebih rendahnya viskositas purwarupa dibandingkan viskositas hasil rekaman video pada suhu 29°C-40°C, dan sebaliknya viskositas dari purwarupa lebih tinggi pada suhu 40°C-45°C yang diakibatkan dari menurunnya waktu deteksi pada video dibandingkan hasil pengukuran dari purwarupa. Hasil penelitian ini membuka peluang penggunaan sensor cahaya dalam pengukuran sifat fluida.

Kata kunci : Viskositas, kualitas, minyak goreng, viskometer bola jatuh, LDR, laser, video, waktu deteksi.

Abstract - Viscosity is a very important quality parameter to distinguish new cooking oil from used cooking oil due to heating. However, the measuring equipment is still limited. Therefore, this study aims to create a prototype that can measure the viscosity of cooking oil practically, quickly and accurately. The measurement of the viscosity of cooking oil is carried out using the falling ball viscometer method whose ball movement time is detected by a laser and LDR sensor and recorded automatically by an internal timer on the Arduino Uno. In a very short time, the viscosity value of cooking oil can be determined with a precision value of 94,73%. The prototype also showed accurate results of 98,01% after being calibrated with video recording. The results of measuring the viscosity of new cooking oil with the prototype at a temperature of 29 °C to 45 °C showed a decrease in viscosity values in the range of 1,225 – 1,112 Pa.s, while the results from the video recording were in the range of 1,230 – 1,070 Pa.s. From this range, there are two tendencies, namely the lower viscosity of the prototype compared to the viscosity of the video recording results at a temperature of 29°C-40°C, and conversely the viscosity of the prototype is higher at a temperature of 40°C-45°C which is caused by the decreased detection time on the video compared to the measurement results from the prototype. The results of this study open up opportunities for the use of light sensors in measuring fluid properties.

Keywords : Viscosity, quality, cooking oil, falling ball viskometer, LDR, laser, video, detection time.

I. PENDAHULUAN

Minyak goreng merupakan salah satu komoditas yang paling sering dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Data yang diambil dari penelitian Meixner, Hackl dan Haas pada tahun 2023 menyebutkan bahwa konsumsi minyak goreng di Indonesia sangat tinggi dan termasuk dalam negara dengan tingkat konsumsi minyak goreng tertinggi di dunia, khususnya minyak goreng kelapa sawit [1]. Berdasarkan pernyataan dari Direktorat Statistik Distribusi, konsumsi minyak goreng sawit di Indonesia mencapai angka 20,9 juta ton pada tahun 2022 [2].

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas minyak goreng adalah viskositas [3]. Hal ini dikarenakan ketika minyak goreng dipakai berulang, maka viskositas minyak goreng bertambah [3], [4], [5]. Viskositas merupakan gesekan yang terjadi pada lapisan-lapisan yang bersebelahan di dalam fluida dan pada zat cair, viskositas terjadi akibat adanya gaya kohesi antar molekul zat cair [6]. Salah satu parameter yang berpengaruh pada viskositas adalah suhu, dan viskositas akan menurun akibat pemuaiian minyak goreng sehingga menurunkan gaya kohesi molekular minyak goreng [6]. Adanya perubahan viskositas tersebut tentu saja dapat menurunkan kualitas minyak goreng dan berdampak pada kesehatan [6], [7], [8].

Viskositas minyak goreng telah diukur dengan berbagai metode mulai dari viskometer Ostwald [9], viskometer redwood [8], [10], dan metode benda jatuh [3], [4], [5], [7], [11]. Diantara berbagai metode tersebut, metode bola jatuh merupakan metode yang banyak digunakan karena viskositas dihitung berdasarkan pengukuran waktu jatuh bola pada cairan yang akan diukur viskositasnya [12], dan dikembangkan mulai dari pengukuran manual dengan *stopwatch* [4], [6], [7], perekaman video [13], diotomatisasi dengan LabView [11], dan terbaru menggunakan sensor mini *reed switch magnetic* [5], [12].

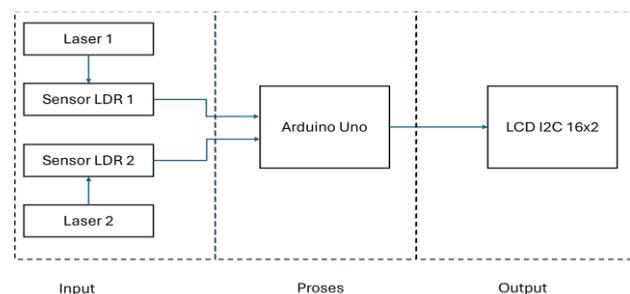
Meskipun demikian, pengukuran viskositas tersebut memiliki keterbatasan dalam pengukuran waktu pergerakan bola dan masih membutuhkan perhitungan manual [4], [6], [7], kurang presisi [11] serta *error* yang masih besar [5] akibat kekurangan sensitivitas sensor, serta semua pengukuran tersebut tidak dikalibrasi dengan alat standar [4], [5], [6], [7], [11], [12]. Oleh karenanya, penelitian ini bertujuan untuk membuat purwarupa yang dapat mengukur viskositas minyak goreng

dengan cepat dan akurat secara praktis dan otomatis dengan sensor yang lebih sensitif [14], [15], [16], [17] serta dikalibrasi dengan alat standar yang akurasi lebih tinggi [18]. Hal ini dilakukan untuk memastikan akurasi purwarupa dan meningkatkan efisiensi pengukuran kekentalan minyak goreng.

II. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental melalui pembuatan purwarupa dan analisis data menggunakan metode perbandingan dengan membandingkan hasil pengukuran purwarupa dengan standar yang telah ditentukan. Standar yang digunakan pada penelitian ini adalah rekaman video. Untuk pengujian purwarupa dilakukan di Laboratorium Akademi Metrologi dan Instrumentasi (Akmet) yang berada di Sumedang.

Pada penelitian ini dirancang sebuah purwarupa alat ukur kekentalan minyak goreng. Purwarupa ini dirancang berdasarkan prinsip kerja viskometer bola jatuh (*falling ball viskometer*) [3], [4], [5], [7], [11] menggunakan 2 (dua) pasang modul laser dan modul sensor *light dependent resistor* (LDR) karena spesifikasi sensor ini yang memiliki waktu respon kurang dari 1 sekon [17] yang akan cocok untuk penentuan waktu jatuh bola besi. Secara sederhana, rancangan awal purwarupa ditunjukkan pada diagram blok berikut, dimana hasil pengukuran waktu jatuh bola diolah oleh mikrokontroler menjadi nilai viskositas yang ditampilkan pada layer LCD.

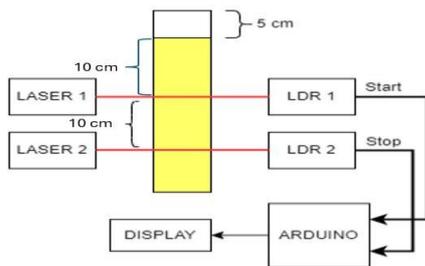


Gambar 1. Diagram blok purwarupa

Sensor LDR juga merupakan sensor cahaya, dimana nilai resistansinya akan naik jika intensitas cahaya menurun [14], [15], [16], [17], [20]. Sensor ini tidak memancarkan cahaya, melainkan menerima cahaya yang mengenai sensor [21]. Oleh karenanya, sensor LDR biasanya terintegrasi sebagai *Light Sensor Module* yang dapat dihubungkan dengan mikrokontroler untuk pendeteksian kecerahan dan intensitas cahaya lingkungan sekitar dengan memakai chip

komparator LM393. Modul LDR biasanya harus digabungkan suatu sumber cahaya misalnya laser pada Modul Laser KY-008, misal untuk keperluan *speed tracker* (pengukur kecepatan kendaraan yang berada pada suatu jalur), alat ukur *push up* dan kran air otomatis [17], [21], [22]. Modul KY-008 merupakan modul laser yang diproduksi oleh Keyes yang terdiri dari laser diode dan resistor yang beroperasi dengan voltase 5 V dan dapat dikendalikan dengan pin I/O pada mikrokontroler [21]. Kelebihan dari kombinasi modul LDR dan modul Laser KY-008 adalah waktu respon yang sangat kecil yaitu di bawah 1 sekon [17] untuk mengatasi permasalahan kurangnya sensitivitas sensor pada studi sebelumnya [5].

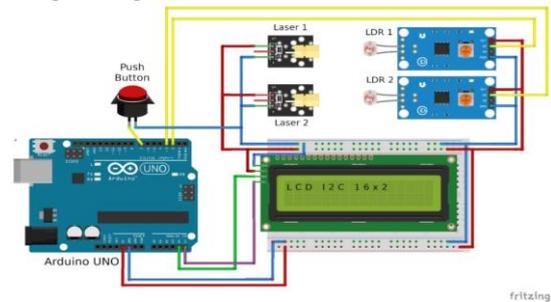
Purwarupa menggunakan modul laser diode KY-008 sebagai sumber cahaya yang nantinya menembakkan sinar laser berbentuk titik menuju posisi sensor LDR [14], [15] yang sudah disesuaikan sensitivitasnya agar saat terkena sinar laser akan mengeluarkan keluaran digital *HIGH* (1), dan apabila tidak terkena akan mengeluarkan keluaran digital *LOW* (0). Untuk dapat menentukan waktu jatuh bola, pada purwarupa ini digunakan 2 (dua) pasang modul laser diode KY-008 dan modul sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) yang telah dipasangkan pada sebuah tiang penyangga dengan jarak antar sensor seperti terlihat pada **Gambar 2** untuk membantu menghitung selang waktu antara dua garis, dimana satu pasang berada pada jarak sekitar 10 cm dari permukaan cairan dan sepasang lainnya berada di bawah pasangan pertama dengan jarak 10 cm.



Gambar 2. Desain purwarupa

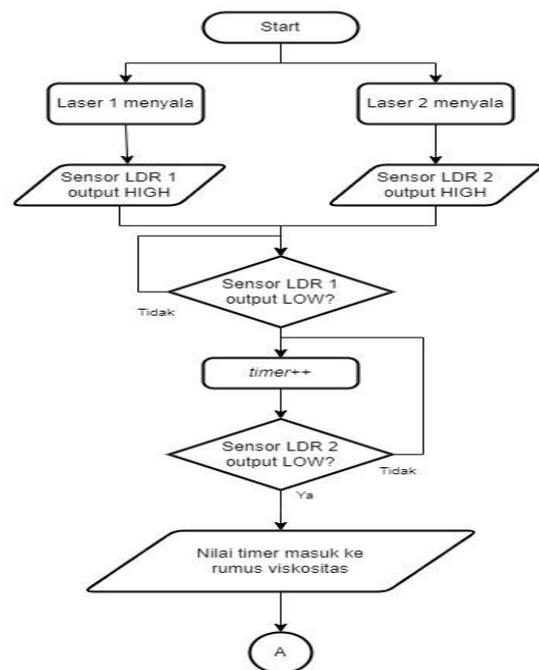
Secara keseluruhan, purwarupa menggunakan beberapa komponen yaitu LCD I2C, 2 (dua) unit modul laser KY-008 dan 2 (dua) unit modul sensor LDR, mikrokontroler Arduino Uno dan 1 (satu) unit *Push Button*. Arduino Uno dipilih karena memiliki dua pin interupsi eksternal yaitu pin *Digital 2* dan pin *Digital 3*. Kedua pin tersebut akan dihubungkan dengan dua sensor LDR seperti ditunjukkan pada diagram pengkabelan purwarupa di dalam Gambar 3. Pada desain tersebut, 2 (dua) buah laser dan sensor LDR digunakan untuk

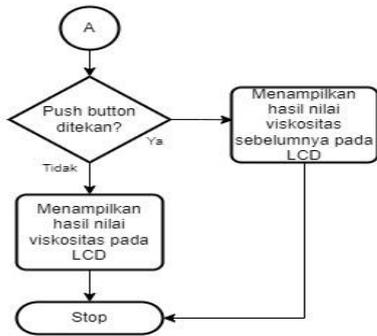
perhitungan nilai viskositas fluida tersebut akan ditampilkan pada LCD I2C 16x2.



Gambar 3. Diagram pengkabelan purwarupa

Modul sensor LDR yang berada di atas (LDR 1) dihubungkan dengan *external interrupt pin Digital pin 2* (D2) dan modul sensor LDR yang di bawah (LDR 2) dihubungkan *external interrupt pin Digital pin 3* (D3). Kemudian, ketika bola besi jatuh dan menutupi sinar laser yang menuju LDR 1, maka akan merubah kondisi pin D2 menjadi *LOW* dan memicu interupsi pada Arduino Uno yang telah diatur dengan mode *falling* (mendeteksi perubahan input dari *HIGH* ke *LOW*) dan memulai *internal timer* didasarkan pada sebuah *oscillator* sebesar 16 MHz. Hal yang sama terjadi pada LDR 2 yang dihubungkan dengan pin D3. Setelah itu, Arduino Uno [14], [15], [23], [24] akan mencatat berapa lama selang waktu yang terjadi antara *interrupt* pada pin D2 dan pin D3, kemudian dimasukkan ke dalam rumus viskositas yang telah ada pada program. Prinsip kerja purwarupa tersebut diringkas pada diagram alir yang terdapat pada Gambar 4 berikut.





Gambar 4. Diagram alir prinsip kerja purwarupa

Berdasarkan rangkaian prinsip kerja pada Gambar 4, purwarupa memiliki sebuah tombol yang berguna untuk menahan hasil terakhir yang didapatkan oleh purwarupa agar memudahkan pencatatan dan mencegah perubahan hasil pengukuran yang diakibatkan oleh faktor eksternal seperti wadah yang bergeser atau proses pengambilan bola di dalam wadah.

Dengan demikian, prosedur penggunaan alat sendiri cukup sederhana. Setelah purwarupa dihidupkan, maka wadah yang telah terisi minyak goreng dapat ditempatkan sedemikian rupa hingga laser kedua pada sensor LDR menyala, baik pada LDR 1 maupun LDR 2. Setelah itu, bola besi yang telah dicapit dapat dimasukkan ke dalam wadah hingga keseluruhan bola besi terendam untuk menghindari adanya gelembung udara yang dapat mengganggu pengujian, lalu bola dapat dilepaskan dan hasil pengujian akan langsung ditampilkan pada *display* purwarupa.

Pada penelitian ini digunakan minyak goreng dengan merek “Filma”, “Kunci Mas”, dan “Rizki” yang memiliki massa jenis berturut-turut sebesar 907 kg/m^3 , 804 kg/m^3 dan 891 kg/m^3 pada suhu ruang. Massa jenis tersebut ditentukan dengan menggunakan *picnometer* 50 ml dan sebuah timbangan elektronik yang memiliki resolusi 0,01 g. Untuk wadah yang digunakan memiliki tinggi $\pm 300 \text{ mm}$, diameter luar $\pm 41 \text{ mm}$ dan diameter dalam $\pm 38 \text{ mm}$.

Untuk spesifikasi bola besi yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel I. Spesifikasi bola besi

| Massa (kg) | Jari-jari (m) | Volume (m^3) | Massa jenis (kg/m^3) |
|------------|---------------|-------------------------|---------------------------------|
| 0,024 | 0,00898 | $3,033 \times 10^{-6}$ | 7912 |

Untuk pengukuran viskositas pada suhu lebih tinggi, minyak goreng dipanaskan dengan elemen

pemanas 350 W. Suhu minyak goreng diukur dengan termometer digital dengan daya baca $0,1^\circ\text{C}$. Setelah didapatkan suhu yang diinginkan, minyak goreng dimasukan ke dalam wadah gelas ukur pada purwarupa. Pada penelitian ini, minyak goreng dipanaskan pada suhu 29°C , 30°C , 35°C , 40°C dan 45°C .

Pada penelitian ini, hasil pembacaan viskositas dari purwarupa akan dibandingkan dengan hasil pengukuran waktu manual dan metode rekaman video. Metode rekaman video dipilih sebagai nilai standar atau nilai yang sebenarnya karena memiliki daya baca pengukuran waktu lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran manual *stopwatch* [4] dan sensor LDR [17], [18]. Hal ini dilakukan dengan merekam bola jatuh dengan video yang dilakukan secara *frame per frame* [13], [25] untuk penentuan waktu bola jatuh yang selanjutnya digunakan untuk penentuan kecepatan bola terminal dan viskositas cairan untuk menentukan akurasi dari purwarupa.

Akurasi ditentukan dari kedekatan nilai penunjukan purwarupa dengan nilai yang sebenarnya, sedangkan presisi menunjukkan konsistensi purwarupa pada saat dilakukan pengukuran berulang [26]. Untuk mendapatkan dua nilai parameter pengukuran tersebut, pengukuran viskositas baik dengan purwarupa maupun dengan video dilakukan sebanyak 25 kali pada setiap suhu pemanasan dan merek minyak goreng.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, purwarupa dibuat berdasarkan prinsip kerja viskometer bola jatuh atau metode bola jatuh dan sensor LDR [4], [5], [6], [7], [11], [12], [14], [15], [16]. Penentuan viskositas metode bola jatuh dilakukan dengan menjatuhkan bola uji yang diketahui jari-jari dan densitasnya ke dalam cairan yang akan diuji kekentalannya. Terdapat tiga gaya yang dialami oleh bola tersebut, yaitu gaya berat akibat gaya gravitasi bumi (F_g), gaya dari tekanan ke atas dari cairan (hukum Archimedes) sebesar F_a dan gaya yang ditimbulkan cairan untuk melawan benda (hukum Stokes) sebesar F_R [12], [27]. Pada saat gaya berat dan gabungan gaya Archimedes dan gaya Stokes sama, maka kecepatan bola akan konstan, Kecepatan ini disebut kecepatan terminal (v_T).

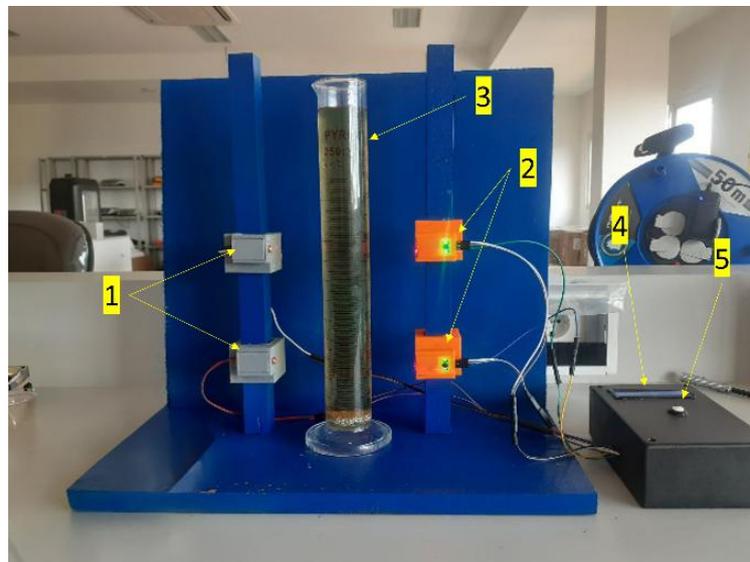
Viskometer bola jatuh dapat menentukan nilai viskositas (η) dari nilai kecepatan terminal tersebut dengan rumus $\eta = \frac{2r^2g(\rho_b - \rho_f)}{9v_T}$, dimana r adalah

jari-jari bola besi (m), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), ρ_b adalah massa jenis bola (kg/m^3), ρ_f adalah massa jenis fluida (kg/m^3), dan v_T (m/s) adalah kecepatan terminal bola yang ditentukan dari waktu (t) yang dibutuhkan oleh bola untuk melewati dua garis dengan jarak (h) yang sudah ditentukan sebelumnya, yaitu dengan rumus $v_T = \frac{h}{t}$ [5].

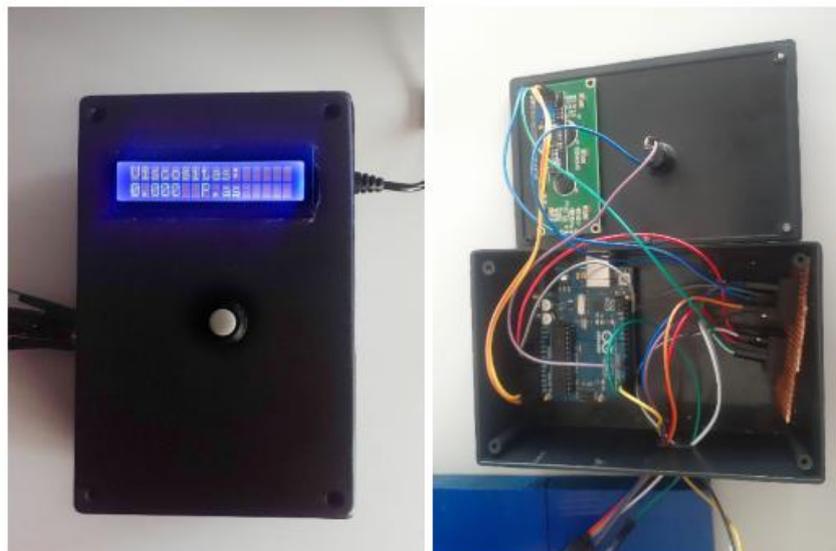
Berdasarkan prinsip tersebut dan perancangan sebelumnya, purwarupa alat ukur kekentalan minyak goreng telah berhasil dibuat. Untuk tampilan purwarupa secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5. Pada purwarupa terdapat 2 (dua) pasang modul LDR dan modul laser yang berjarak 10 cm di antara keduanya untuk mengukur waktu jatuh bola besi dalam satuan milisekon (ms).

Di tengah-tengah purwarupa terdapat gelas ukur dengan volume 250 ml sebagai wadah penampung minyak goreng yang diisi hingga tinggi minyak goreng mencapai 10 cm di atas garis yang ditimbulkan oleh sinar laser. Hal ini dimaksudkan agar kecepatan terminal bola besi sudah tercapai saat melewati sensor pertama (paling atas).

Untuk menyangga modul laser dan sensor LDR, maka dibuatlah sebuah kotak tempat modul dan sensor tersebut menggunakan printer 3D dengan bahan PLA dan digantungkan pada sebuah tiang kayu dan dipasang pada sebuah tatakan kayu dengan dimensi 40 cm x 20 cm x 2 cm. Bagian belakang purwarupa dipasang sebuah triplek berwarna biru tua dengan maksud agar sinar laser dapat dilihat dengan baik.



Gambar 5. Purwarupa pengukur viskositas terdiri (1) sumber sinar Laser, (2) sensor LDR, (3) gelas ukur, (4) display, dan tombol reset (5).



Gambar 6. Kontroler tampak luar (kiri) dan tampak dalam (kanan).

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa purwarupa menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Untuk *power supply* yang digunakan pada purwarupa adalah adaptor 12 VDC/2A yang dapat dihubungkan dengan *power outlet*. Setelah diketahui waktu jatuh bola besi dari waktu interupsi ketika 2 (dua) modul LDR memberikan keluaran digital LOW, maka selang waktu tersebut diubah menjadi satuan sekon dan diproses Arduino Uno agar dapat menjadi nilai viskositas dalam satuan Pascal sekon (Pa.s) yang ditampilkan pada layer LCD I2C 16x2.

Contoh hasil pengukuran viskositas dari purwarupa ditunjukkan pada **Gambar 7**. Pada baris pertama terdapat hasil pengukuran koefisien viskositas (η) yang memiliki satuan Pa.s. Sementara itu pada baris kedua terdapat hasil waktu (t) dan kecepatan terminal (v). Pada *display* tidak terdapat satuan untuk waktu dan kecepatan terminal agar dapat ditampilkan pada satu *display* LCD.



Gambar 7. Contoh tampilan pada *display* purwarupa setelah pengujian

Hasil pengukuran viskositas baik dengan purwarupa, manual maupun dengan rekaman video terhadap minyak goreng baru (merek Filma, Kunci Mas, dan Rizki) pada 4 (empat) titik suhu (29°C, 35°C, 40°C dan 45°C) ditunjukkan pada Tabel II. Berdasarkan **Tabel II** di atas, nilai viskositas yang didapatkan cara manual yaitu 1,6-1,8 Pa.s, sedangkan hasil purwarupa mendekati hasil pembacaan video adalah pada kisaran 1,1 hingga 1,2 Pa.s yang mendekati nilai viskositas minyak goreng baru yang diukur dengan viskometer bola jatuh berbagai diameter [28]. Dibandingkan dengan penelitian ini [28], kelebihan prototipe ini adalah kepraktisan pengukuran viskositas yang otomatis melalui pengukuran waktu bola jatuh dengan sensor cahaya yang kemudian divalidasi dengan metode rekaman video yang akurasi pengukurannya lebih tinggi [16], [17], [18], [19], [29], [30], [31], [32].

Oleh karenanya, akurasi pengukuran dapat ditentukan dengan mengambil nilai viskositas dari pembacaan video sebagai nilai standar dan nilai viskositas dari hasil pengukuran prototipe sebagai nilai uji [33]. Hasil pada Tabel II menunjukkan pengukuran prototipe mendekati hasil pembacaan video dengan akurasi sebesar 98,09%. Nilai akurasi ini melebihi nilai akurasi dari hasil sebelumnya yang rata-rata kesalahannya mencapai 7,42% [5]. Akurasi tertinggi sebesar 99,79% pada titik 29 °C didapatkan pada di minyak goreng Filma dan akurasi terendah sebesar 95,82% di titik 29 °C pada minyak goreng “Rizki” sehingga dapat disimpulkan bahwa purwarupa akurat.

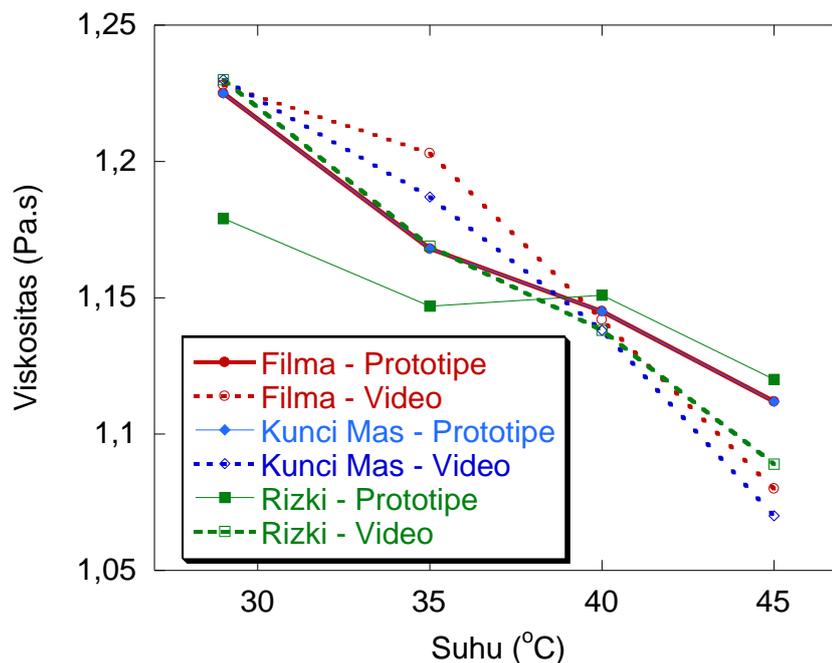
Adapun presisi ditentukan dari nilai standar deviasi dan rata-rata pengukuran dari 25 kali pengukuran untuk setiap suhu [26]. Hasilnya menunjukkan nilai yang cukup tinggi dengan presisi terendah senilai 90,24% pada dua titik yaitu pada titik 45 °C di minyak goreng “Filma” dan “Kunci Mas”. Untuk presisi tertinggi didapatkan pada titik 40 °C di minyak goreng “Rizki” dengan nilai 97,36%. Oleh karena itu, secara keseluruhan rata-rata presisi dari purwarupa yaitu sebesar 94,73%.

Adanya variasi nilai akurasi dan presisi tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, bola besi yang terlalu berat sehingga lebih cepat kecepatan jatuhnya [5] ataupun terlalu besar diameternya [28], kurang dan tingginya wadah penampung yang digunakan [13]. Jika bola besi yang terlalu besar diameternya maka hal tersebut dapat mengakibatkan adanya gaya tarik antar bola dengan dinding wadah. Selain itu, bola yang memiliki massa terlalu berat akan sulit diketahui kapan bola tersebut mencapai kecepatan terminal karena bola tersebut akan memiliki gaya berat yang semakin tinggi [5].

Pada fluida dengan viskositas tinggi, cairan menjadi lebih pekat, sehingga bola dengan diameter besar yang mana memiliki luas penampang yang besar akan mengakibatkan bola lebih lambat untuk menembus cairan yang pekat sehingga waktu tempuhnya menjadi lebih tinggi. Namun, berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa kecepatan bola lebih tinggi dari teori dikarenakan pengaruh massa bola lebih dominan dibandingkan efek perlambatan akibat luas penampang [28]. Sementara itu, untuk tinggi wadah penampung fluida memengaruhi seberapa akurat pencatatan waktu yang didapatkan karena semakin tinggi wadahnya maka akan semakin lama pula waktu yang dibutuhkan oleh bola untuk jatuh menuju dasar wadah [7].

Tabel II. Hasil pengujian purwarupa

| Merek Minyak Goreng | Titik Suhu (°C) | Rata-rata | | | | | Kesalahan (%) | Akurasi (%) | Presisi (%) |
|---------------------|-----------------|------------|--------------------|----------------------|-------------|----------------|---------------|-------------|-------------|
| | | t Alat (s) | η Alat (Pa.s) | η Manual (Pa.s) | t Video (s) | H Video (Pa.s) | | | |
| Filma | 29 | 0,100 | 1,225 | 1,685 | 0,100 | 1,228 | 0,21 | 99,79 | 95,69 |
| | 35 | 0,095 | 1,168 | 1,832 | 0,098 | 1,203 | 2,89 | 97,11 | 96,25 |
| | 40 | 0,093 | 1,145 | 1,820 | 0,093 | 1,142 | 0,30 | 99,70 | 94,37 |
| | 45 | 0,090 | 1,112 | 1,832 | 0,088 | 1,080 | 2,92 | 97,08 | 90,24 |
| Kunci Mas | 29 | 0,100 | 1,225 | 1,870 | 0,100 | 1,230 | 0,40 | 99,60 | 95,69 |
| | 35 | 0,095 | 1,168 | 1,747 | 0,097 | 1,187 | 1,56 | 98,44 | 96,25 |
| | 40 | 0,093 | 1,145 | 1,808 | 0,093 | 1,138 | 0,66 | 99,34 | 94,37 |
| | 45 | 0,090 | 1,112 | 1,783 | 0,087 | 1,070 | 3,91 | 96,09 | 90,24 |
| Rizki | 29 | 0,096 | 1,179 | 1,797 | 0,100 | 1,230 | 4,18 | 95,82 | 94,81 |
| | 35 | 0,093 | 1,147 | 1,784 | 0,095 | 1,169 | 1,90 | 98,10 | 96,81 |
| | 40 | 0,094 | 1,151 | 1,673 | 0,093 | 1,138 | 1,08 | 98,92 | 97,36 |
| | 45 | 0,091 | 1,120 | 1,612 | 0,089 | 1,089 | 2,81 | 97,19 | 94,70 |



Gambar 8. Hubungan antara suhu dan viskositas minyak goreng Filma, Kunci Mas, dan Rizki

Setelah didapatkan hasil akurasi dan presisi purwarupa, maka dapat dicari hubungan antara suhu minyak goreng dengan viskositas. Seperti ditunjukkan pada Gambar 8, nilai viskositas dari 3 (tiga) merek minyak goreng menunjukkan penurunan pada saat suhu dinaikan, baik yang diukur dengan prototipe ataupun dengan video. Hal ini konsisten dengan hasil

pengukuran viskositas minyak goreng pada suhu 24 °C hingga 50°C dengan metode viskometer bola jatuh [34], akan tetapi pada hasil viskositasnya tidak divalidasi, sedangkan pada penelitian ini nilai viskositas prototipe divalidasi dengan metode rekaman video. Penurunan nilai viskositas juga

disebabkan waktu pemakaian dan jumlah pemakaian pada suhu penggorengan lebih tinggi [6], [8].

Seperti ditunjukkan oleh Gambar 8, terdapat 2 (dua) kecenderungan penurunan viskositas. Pertama, pada rentang suhu 29°C hingga 40°C, hasil pengukuran viskositas dengan prototipe memiliki kecenderungan lebih kecil dibandingkan dengan hasil dari pengukuran video. Kedua, pada rentang suhu 40°C hingga 45°C, nilai viskositas yang diukur prototipe lebih besar daripada hasil pengukuran video.

Kecenderungan pertama pada suhu 29°C hingga 40°C menunjukkan nilai viskositas dari prototipe yang lebih besar dari nilai viskositas hasil dari video. Hal ini dikarenakan kecepatan terminal yang diukur oleh prototipe lebih besar dibandingkan dengan hasil dari video, karena kecepatan terminal berbanding terbalik dengan viskositas [5]. Dengan menggunakan rumus kecepatan sebagai jarak dibagi dengan waktu, maka besarnya waktu yang diukur oleh prototipe dengan sensor LDR yaitu lebih kecil (yaitu 0,095 s) dibandingkan dengan hasil pengukuran waktu oleh video (yaitu 0,097 s). Hal ini konsisten dengan waktu deteksi sensor LDR yang berada pada rentang 20-40 ms [16], [17] yang lebih kecil dibandingkan waktu deteksi pada rentang 40 ms hingga 2300 ms bergantung pada ukuran objek [25].

Sebaliknya pada kecenderungan kedua pada rentang suhu 40°C hingga 45°C yang menunjukkan nilai viskositas hasil pengukuran video lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengukuran prototipe yang menunjukkan kecepatan terminal yang lebih besar dan waktu tempuh bola yang lebih singkat yang dapat dideteksi oleh video (yaitu 0,090 s) dibandingkan dengan waktu tempuh yang dideteksi oleh purwarupa (yaitu 0,092 s) yang konsisten dengan kemampuan pengukuran waktu video sebesar 5-17 ms [18] [19] dibandingkan dengan kemampuan pengukuran sensor LDR sebesar 20 ms [17].

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain: Telah dibuat purwarupa alat ukur viskositas minyak goreng menggunakan modul laser KY-008 dan modul sensor LDR yang mampu mengukur kekentalan minyak goreng pada suhu 29°C hingga 45°C. Purwarupa ini menggunakan satuan Pa.s sebagai satuan kekentalan dan memiliki ketelitian sebesar 0,002 Pa.s. Purwarupa dapat mengukur viskositas minyak goreng dalam waktu cepat dengan rata-rata nilai presisi sebesar 94,73%. Hasil kalibrasi nilai viskositas dari purwarupa

dengan hasil analisis rekaman video menunjukkan rata-rata akurasi sebesar 98,09% dalam pengukuran viskositas minyak goreng baru merek Filma, Kunci Mas dan Rizki pada suhu 29°C hingga 45°C. Nilai viskositas yang terukur dengan purwarupa yaitu 1,225 Pa.s – 1,112 Pa.s (Filma); 1,225 Pa.s – 1,112 Pa.s (Kunci Mas) dan 1,179 Pa.s – 1,120 Pa.s (Rizki). Sedangkan dengan metode rekaman video, nilai viskositas yang terukur adalah 1,228 Pa.s – 1,080 Pa.s (Filma); 1,230 Pa.s – 1,070 Pa.s (Kunci Mas) dan 1,230 Pa.s – 1,089 Pa.s (Rizki). Terdapat dua kecenderungan penurunan viskositas pada saat suhu dinaikan akibat perbedaan waktu tempuh bola jatuh, yaitu pada suhu 29°C-40°C untuk hasil purwarupa lebih rendah daripada hasil video (waktu tempuh dari purwarupa lebih kecil daripada hasil video) dan pada suhu 40°C – 45°C dengan hasil purwarupa lebih tinggi daripada hasil video (waktu tempuh dari purwarupa lebih besar dari video).

Kekurangan dari purwarupa yang dibuat adalah menurunnya presisi pada pengukuran viskositas ketika suhu dinaikan akibat dari bola yang lebih cepat jatuhnya pada beberapa merek minyak goreng baru. Dampak dari penelitian ini adalah terbukanya pengembangan alat ukur viskositas metode benda jatuh berbasis sensor cahaya beserta metode kalibrasinya. Beberapa rekomendasi pengembangan yaitu: Dapat menggunakan instrumen standar lainnya seperti Viskometer Brookfield untuk standar pengukuran. Dapat merancang alat ukur viskositas berbasis sensor cahaya untuk viskometer jenis lainnya seperti viskometer *rotary*, viskometer kapiler, viskometer *rolling ball* dan sebagainya. Dapat menggunakan wadah penampung fluida yang lebih tinggi agar pencatatan waktunya lebih teliti. Purwarupa dapat digunakan untuk menguji viskositas cairan lain yang nilai viskositasnya lebih tinggi seperti glycerin dan oli garda mobil. Purwarupa dapat diuji dengan bola yang berukuran lebih kecil, tetapi perlu dimodifikasi sistem deteksinya misalnya menggunakan modul laser yang lebih kuat intensitasnya agar bola dapat terdeteksi pada saat melewati sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Meixner, S. Hackl, dan R. Haas, "Assessing the Sustainability of Palm Oil by Expert Interviews—An Application of the Analytic Hierarchy Process," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 16954, hlm. 1–17, 2023, doi: 10.3390/su152416954.
- [2] Direktorat Statistik Distribusi, *BPS 2023 distribusi-perdagangan-komoditas-minyak-goreng-indonesia-2023*, vol. 6. Badan Pusat Statistik, 2023.
- [3] E. Yusibani, N. Al Hazmi, dan E. Yufita, "Pengukuran Viskositas beberapa Produk Minyak Goreng Kelapa Sawit setelah

- Pemanasan,” *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, vol. 9, no. 1, hlm. 28–32, 2017, doi: 10.17969/jtipi.v9i1.6108.
- [4] R. Rusdiana, “Analisis Kualitas Minyak Goreng Berdasarkan Parameter Viskositas dan Indeks Bias,” Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang, 2015.
- [5] U. Pratiwi dan A. Luthfia, “Pengukuran Viskositas Oli dan Minyak Goreng Menggunakan Sensor Mini Reed Switch Magnetic Berbasis Arduino,” *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, vol. 9, no. 2, hlm. 277–283, 2023.
- [6] K. Shoaliha, Bahtiar, and K. Arizona, “Analisis Kualitas Minyak Goreng berdasarkan Suhu Pemanasan dengan Metode Koefisien Viskositas Falling Ball,” *Indonesian Physical Review*, vol. 3, hlm. 15–23, 2020, doi: 10.29303/ip.
- [7] R. Rosmalinda, “Analisis Viskositas dan Indeks Bias terhadap Kualitas Minyak Goreng Kemas dan Curah,” *Jurnal Hadron*, vol. 1, no. 2, hlm. 17–21, 2019.
- [8] Firdaus, “Analisis Pola Perubahan Viskositas Minyak Goreng,” *SPEKTRA: Jurnal Kajian Pendidikan Sains*, vol. 3, no. 1, hlm. 53–62, 2017.
- [9] A. Irawati, “Pembuatan dan Pengujian Viskositas dan Densitas Biodiesel dari Beberapa Jenis Minyak Jelantah,” *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. 5, no. 1, hlm. 82–89, 2018.
- [10] D. R. Rosalina dan N. Kadarisman, “Pengukuran Viskositas Minyak Goreng Pada Berbagai Variasi Suhu dengan Menggunakan Sensor Fiber Optik,” *Jurnal Fisika*, hlm. 15–22, 2017.
- [11] A. Mujadin, S. Jumianto, dan R. L. Puspitasari, “Pengujian Kualitas Minyak Goreng Berulang Menggunakan Metoda Uji Viskositas dan Perubahan Fisis,” *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 4, hlm. 229–233, 2014.
- [12] S. S. B. Depari, D. Hamdani, dan R. Medriati, “Pengembangan Alat Peraga Viskositas Menggunakan Sensor Mini Reed Switch Magnetic Berbasis Arduino Uno,” *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, vol. 15, no. 1, hlm. 18–30, 2024, doi: 10.26877/jp2f.v15i1.17461.
- [13] Y. Damayanti, A. D. Lesmono, dan T. Prihandono, “Kajian Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Goreng Sebagai Rancangan Bahan Ajar Petunjuk Praktikum Fisika,” *Jurnal Pembelajaran Fisika*, no. 3, hlm. 307–314, 2018.
- [14] D. M. Sobirin dan M. Ariandi, “Sistem Kendali PID Untuk Intensitas Cahaya Ruang Berbasis LabView,” *TELEKONTRAN*, vol. 4, no. 2, hlm. 59–67, 2016.
- [15] M. D. Darmawan, R. P. Astutik, dan H. Ariwianto, “Rancang Bangun Prototipe Sistem Otomatis Bangunan Pintar Pada Rumah Kos Bertingkat,” *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 11, no. 2, hlm. 93–104, 2023, doi: 10.34010/telekontran.v11i2.9943.
- [16] D. A. Hapidin, M. Z. P. Hernawan, F. Krisnanto, A. Syahbana, M. I. Fiordi, M. M. Munir, dan Khairurrijal, “The Study of Velocity Measurement Using Single Light Dependent Resistor (LDR) Sensor,” in *2018 The 3rd International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement, and Metrology (ISSIMM)*, IEEE, hlm 111–114, 2018.
- [17] C. M. Yusuf, S. J. I. Ismail, dan A. Sularsa, “Pengimplementasian Speed Violation dan Capture Menggunakan Microcontroller,” *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 6, no. 2, hlm. 1997–2003, 2020.
- [18] A. Wishnu dan B. Sugiantoro, “Case Based Scenario Questions,” *International Journal on Informatics for Development*, vol. 7, no. 2, hlm. 74–79, 2018.
- [19] S. Ubik dan J. Pospisilik, “Video Camera Latency Analysis and Measurement,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 31, no. 1, hlm. 140–147, 2020, doi: 10.1109/TCSVT.2020.2978057.
- [20] H. P. Ramadhan, C. Kartiko, dan A. Prasetiadi, “Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Menggunakan NodeMCU, Firebase, dan Flutter,” *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 6, no. 1, hlm. hlm. 102–114, 2020, doi: 10.28932/jutisi.v6i1.2365.
- [21] R. Ramadhan, H. Sulistiani, Y. Rahmanto, A. Sesanti, dan B. N. Pasaribu, “Implementasi ESP32 untuk Pengukuran Daya Tahan Otot Tes Push Up,” *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTJKOM)*, vol. 3, no. 2, hlm. 79–92, 2022.
- [22] F. T. Missa, I. Fahmi, dan Z. Y. Baitanu, “Perancangan Keran Air Cuci Tangan Otomatis yang Dikendalikan oleh LDR (Light Dependent Resistor) dengan Pencahayaan Laser,” *Jurnal Spektro*, vol. 3, no. 2, hlm. 7–14, 2020.
- [23] M. Banzi and M. Shiloh, *Getting started with Arduino*. 2022.
- [24] J. Utama dan D. Riki, “Implementasi Sistem Pendeteksi Target Berdasarkan Pengenalan Warna dan Pola untuk Robot Pengikut Bola,” *TELEKONTRAN*, vol. 5, no. 2, hlm. 107–117, 2017.
- [25] O. Yakovleva, A. Kovtunenkov, V. Liubchenko, V. Honcharenko, dan O. Kobylin, “Face Detection for Video Surveillance-based Security System,” in *COLINS-2023: 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems*, Kharkiv: CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), hlm. 1–18, 2023.
- [26] V. Nadhira, E. Juliastuti, L. I. Fauzy, dan R. T. Widodo, “Alat Ukur Portabel Kadar Logam Mangan dan Besi dalam Air Menggunakan Prinsip Spektrofotometer,” *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 9, no. 2, hlm. 71–80, 2017.
- [27] B. W. Dionova, E. Supriyono, N. Hutagalung, D. J. Vresdian, L. P. Pratama, dan A. A. Hapsari, “Rancang Bangun Alat Pengukuran Viskositas Menggunakan Sensor UGN3503 pada Oli Berbasis Android,” in *Proceedings of Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE) - 2023*, Depok: Departemen Teknik Elektro ITS, hlm. 1–6, 2023.
- [28] Sudarti, Yushardi, and A. P. Farnas, “Viskositas Bola Jatuh,” *Jember*, hlm. 1–13, 2023.
- [29] S. Stefanus Hermawan, “Pengukuran Viskositas Bola Jatuh Fluida dengan Mikrokontroler Atmega8535,” Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, 2011.
- [30] M. Nasir, “Perbandingan Kualitas Minyak Sawit Bermerk dan Minyak Kelapa Menggunakan Parameter Viskositas dan Indeks Bias Article History,” *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 12, no. 2, hlm. 37–43, 2020.
- [31] S. S. Sadewo, R. Sumiharto, dan I. Candradewi, “Sistem Pengukur Kecepatan Kendaraan Berbasis Pengolahan Video,” *IJEIS*, no. 2, hlm. 177–186, 2015.
- [32] M. F. Madyan dan N. C. Aminuallah, “Implementasi Object Tracking di Robot Sepakbola Beroda pada ESRB,” *Teknologipintar.org*, vol. 2, no. 10, hlm. 1–18, 2022.
- [33] L. Handayani, J. Pebralia, I. Amri, dan A. P. Lestari, “Pengembangan Alat Ukur Kematangan Kompos Berbasis Arduino ATmega328,” *JoP*, vol. 8, no. 2, hlm. 96–102, 2023.
- [34] A. Putri dan E. Kasli, “Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Goreng,” in *Prosiding Seminar Nasional MIPA III*, Langsa: Unsyiah, hlm. 464–469, 2017, [Online]. Available: www.conference.unsyiah.ac.id/SN-MIPA