

Rancang Bangun Sistem Kendali Presisi Suhu dan Kelembapan pada Mesin Penyangrai Kopi Menggunakan Sensor SHT-31

Muhammad Arfan ^{1*)}, Warnisa Gulo ²⁾, Muhammad Khairul Amri Rosa ³⁾,
Alex Surapati ⁴⁾, Natsir Habibullah ⁵⁾

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Bengkulu
Jl. W.R Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371A, Indonesia

^{*}Korespondensi : marfan@unib.ac.id

Abstrak

Metode penyangraian kopi konvensional sering menghadapi kendala inkonsistensi mutu akibat ketergantungan pada keahlian operator dan ketiadaan regulasi termal yang presisi. Penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem penyangrai kopi otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor SHT-31 untuk pengendalian suhu dan kelembapan uap secara real-time. Sistem menerapkan logika kontrol threshold dengan *setpoint* suhu 90°C dan kelembapan 12% untuk mengotomasi aktuator motor servo pada katup gas. Pengujian operasional dilakukan menggunakan variasi beban biji kopi 50, 100, 150, dan 200 gram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan massa biji berbanding lurus dengan durasi penyangraian, dengan rentang waktu 12,46 menit untuk beban 50 gram (hasil *dark roast*) hingga 21,16 menit untuk 200 gram (hasil *light roast*). Akurasi pembacaan sensor tervalidasi dengan nilai *error* sebesar 2,62% dibandingkan termometer standar. Sistem kendali terbukti efektif menstabilkan parameter iklim mikro dan menghentikan proses secara otomatis saat target tercapai, sehingga menjamin konsistensi kualitas produk akhir.

Kata kunci : Arduino Uno, Kontrol Otomatis, Penyangrai Kopi, SHT-31, Suhu dan Kelembapan

Abstract

Conventional coffee roasting methods often face challenges regarding quality inconsistency due to a high reliance on operator proficiency and the absence of precise thermal regulation. This study aims to design and build an automatic coffee roasting system based on the Arduino Uno microcontroller integrated with an SHT-31 sensor for real-time monitoring of steam temperature and humidity. The system applies threshold control logic with a setpoint of 90°C temperature and 12% humidity to automate the servo motor actuator on the gas valve. Operational testing was conducted using coffee bean load variations of 50, 100, 150, and 200 grams. The results showed that increasing bean mass was directly proportional to roasting duration, ranging from 12.46 minutes for a 50-gram load (dark roast) to 21.16 minutes for 200 grams (light roast). Sensor reading accuracy was validated with an error value of 2.62% compared to a standard thermometer. The control system proved effective in stabilizing microclimate parameters and terminating the process automatically upon reaching targets, thereby ensuring final product consistency.

Keywords : Arduino Uno, Automatic Control, Coffee Roaster, SHT-31, Temperature and Humidity

I. PENDAHULUAN

Penyangraian (*roasting*) merupakan tahapan krusial dalam rantai produksi kopi karena proses ini menginduksi transformasi fisik dan kimiawi signifikan yang menentukan kualitas sensorik akhir produk. Selama proses penyangraian, biji kopi mengalami serangkaian reaksi kimia kompleks yang bertanggung jawab atas pembentukan profil aroma, rasa, dan warna yang khas [1], [2].

Meskipun memegang peranan vital, metode penyangraian tradisional atau manual sering kali dihadapkan pada kendala teknis yang fundamental. Masalah utama yang sering ditemui adalah ketergantungan yang

tinggi pada profisiensi operator. Hal ini menyebabkan variabilitas hasil yang signifikan antar batch, sehingga konsistensi mutu produk sulit dicapai [1], [2]. Selain itu, instrumen penyangraian konvensional sering kali tidak memiliki mekanisme regulasi termal yang presisi. Ketidakmampuan dalam mengontrol suhu secara akurat dapat mengakibatkan distribusi panas yang tidak merata, yang berujung pada defek fisik seperti scorching (pembakaran sebagian) atau over-roasting [3], [4]. Kapasitas mesin yang tidak terukur—terlalu besar atau terlalu kecil—juga sering kali menjadi inefisiensi tersendiri bagi skala usaha mikro [2].

Info Makalah:

Dikirim : 17-12-2025
Revisi 1 : 19-12-2025
Revisi 2 : -
Diterima : 24-12-2025

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-859-2589-2074
e-mail : marfan@unib.ac.id

Tantangan utama dalam industri penyangraian, khususnya pada skala kecil dan menengah, adalah inkonsistensi parameter proses. Variasi suhu dan kelembapan yang tidak terkontrol dapat berdampak fatal terhadap kualitas produk. Suhu yang berfluktuasi atau terlalu tinggi (*over-roasting*) tidak hanya mendegradasi aroma yang diinginkan, tetapi juga memicu pembentukan senyawa berbahaya seperti akrilamida dan menurunkan kadar senyawa bioaktif yang bermanfaat [4], [5]. Penelitian spesifik mengindikasikan bahwa kombinasi presisi, seperti suhu 190°C dengan durasi 11 menit, diperlukan untuk mengoptimalkan profil antioksidan dan rasa [6], sementara kelembapan relatif yang terjaga dapat membantu preservasi senyawa fenolik selama proses berlangsung [7], [8].

Pengendalian presisi terhadap variabel suhu dan kelembapan menjadi imperatif dalam proses penyangraian modern. Stabilitas kedua parameter ini tidak hanya menjamin perkembangan karakteristik organoleptik yang optimal [9], [10], tetapi juga memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap kinetika reaksi kimia, seperti reaksi Maillard dan pirolisis, yang menentukan komposisi kimiawi akhir [11], [12]. Sebaliknya, kegagalan dalam mengendalikan parameter proses dapat mendegradasi kualitas kopi, mulai dari munculnya profil rasa yang tidak diinginkan (*off-flavors*) hingga kerusakan senyawa bioaktif penting [13], [14].

Permasalahan mendasar pada sistem penyangraian konvensional terletak pada keterbatasan instrumentasi dan kontrol. Banyak sistem yang masih bergantung pada pengendalian manual atau menggunakan sensor berbiaya rendah dengan akurasi terbatas, seperti DHT11. Penggunaan sensor dengan spesifikasi rendah ini sering kali menghasilkan data yang tidak linier dan rentan terhadap *noise*, yang berujung pada inkonsistensi hasil penyangraian [15], [16]. Ketidakakuratan pembacaan sensor ini menghambat pencapaian profil suhu dan kelembapan yang presisi yang disyaratkan untuk kualitas kopi spesialti. Oleh karena itu, integrasi teknologi sensor mutakhir menjadi solusi imperatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penggunaan sensor presisi tinggi seperti SHT-31, yang menawarkan akurasi suhu $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan $\pm 2\%$ RH serta stabilitas jangka panjang yang lebih baik, menawarkan keandalan yang jauh lebih tinggi dibandingkan sensor konvensional [15], [16]. Penerapan sistem kontrol otomatis berbasis sensor presisi ini diharapkan mampu meminimalisir ketergantungan pada skill operator, mencegah degradasi senyawa aktif, serta menjamin keamanan dan konsistensi mutu produk kopi akhir.

Tinjauan literatur menunjukkan adanya evolusi dalam pengembangan teknologi penyangraian kopi, namun masih menyisakan celah teknologi (*research gap*) pada aspek kendali otomatisasi presisi. Sa'po *et al.* [17] mengembangkan mesin penyangrai tipe rotary berkapasitas 3 kg yang berhasil mencapai kematangan merata, namun sistem ini tidak memiliki kontrol suhu dan kelembapan sehingga sangat bergantung pada operator. Senada dengan hal tersebut, Fiatno *et al.* [18] merancang mesin tipe silinder horizontal dengan penggerak motor wiper, namun kelemahan utamanya tetap pada ketiadaan sistem kendali parameter lingkungan mikroklimat dalam tabung. Nazura dan Dhafir [19] juga merancang mesin dengan elemen pemanas listrik, tetapi sistem ini hanya berfokus pada sumber panas tanpa integrasi kontrol umpan balik terhadap kondisi biji kopi. Bahroin dan Budijono [2] telah mengimplementasikan thermocontrol dan pengaturan putaran menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*). Meskipun telah terdapat kontrol suhu, mekanisme penghentian proses masih dilakukan secara manual, yang berpotensi menyebabkan inkonsistensi jika operator tidak sigap. Wicaksono [21] berfokus pada pengukuran kadar air menggunakan teknik LIBS (*Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*). Penelitian ini memberikan

Rancang Bangun Sistem Kendali Presisi Suhu dan Kelembapan pada Mesin Penyangraai Kopi Menggunakan Sensor SHT-31

(Muhammad Arfan, Warnisa Gulo, Muhammad Khairul Amri Rosa, Alex Surapati, Natsir Habibullah : Halaman 146 - 157)

wawasan mendalam mengenai parameter fisik biji kopi namun tidak menawarkan solusi rekayasa untuk pengendalian proses penyangraian itu sendiri.

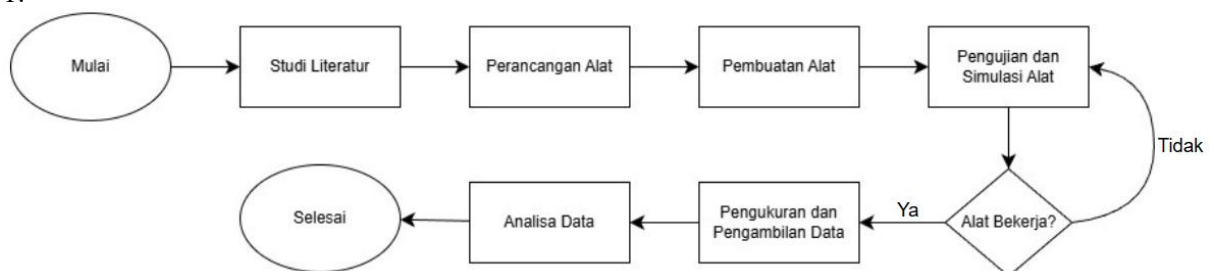
Berangkat dari keterbatasan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini mengisi celah dengan mengintegrasikan sensor SHT-31 yang mampu mengukur suhu dan kelembapan uap secara simultan, serta menggunakan aktuator motor servo untuk mengotomatisasi regulasi aliran gas berdasarkan *setpoint* yang telah ditentukan.

Berdasarkan deskripsi perancangan dan rumusan masalah, tujuan penelitian ini secara implisit diarahkan pada tiga aspek utama rekayasa sistem kendali: 1). Rekayasa sistem kendali presisi dilakukan dengan mengembangkan arsitektur perangkat keras dan lunak untuk alat roasting kopi yang mampu melakukan akuisisi data suhu dan kelembapan secara real-time menggunakan sensor SHT-31, serta mengotomatisasi respon aktuator (motor servo dan *solenoid valve*) untuk menjaga stabilitas proses. 2). Karakterisasi termodinamika penyangraian dilakukan dengan mengevaluasi dinamika perubahan suhu dan kelembapan uap air yang dilepaskan biji kopi selama proses penyangraian untuk menentukan titik optimal kematangan (*light, medium, dark*) berdasarkan data kuantitatif, bukan sekadar estimasi visual. 3). Validasi efisiensi sistem terhadap variasi beban dilakukan dengan menganalisis korelasi antara massa biji kopi (beban kerja) dengan durasi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* suhu dan kelembapan, guna membuktikan efektivitas sistem kendali dalam menghasilkan produk yang konsisten pada berbagai kondisi pembebanan.

II. METODE

A. Desain Penelitian

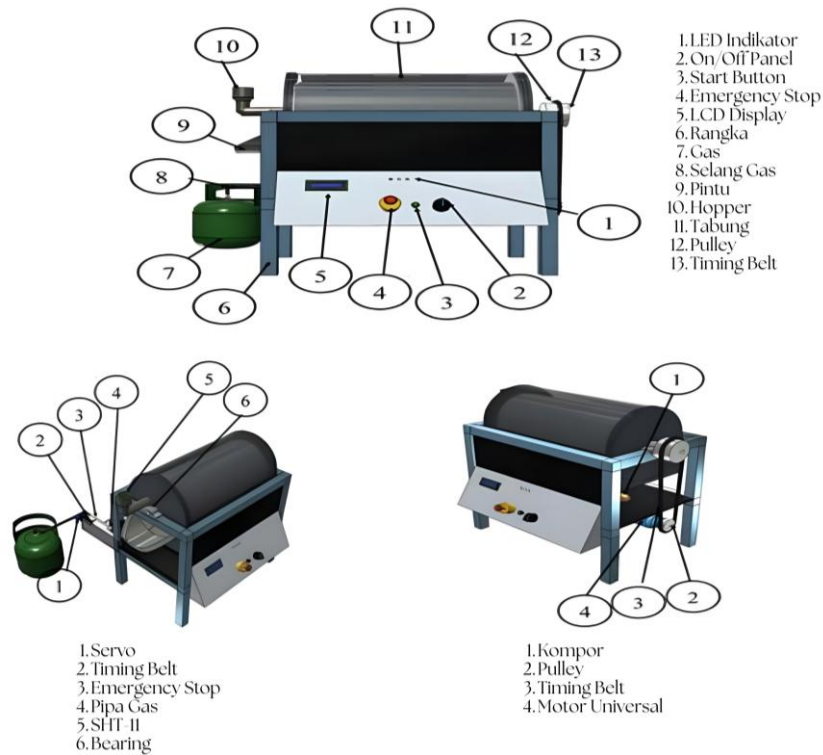
Penelitian ini termasuk dalam jenis Rancang Bangun (*Design and Build*) atau penelitian rekayasa (*engineering research*) yang berfokus pada pembuatan alat penyangrai kopi dengan sistem kontrol otomatis. Pendekatan eksperimental digunakan untuk menguji kinerja alat yang telah dirancang dengan memvariasikan beban biji kopi untuk menganalisis respons suhu dan kelembapan. Tahapan penelitian dimulai dari Studi Literatur, Perancangan Alat, Pembuatan Alat, Pengujian dan Simulasi Alat, Pengambilan Data, hingga Analisa Data. Diagram alur penelitian secara visual dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

B. Perancangan Sistem Mekanik

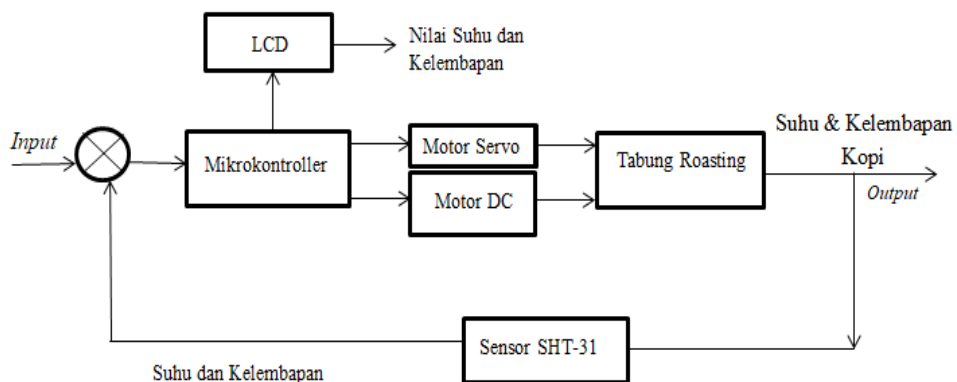
Perancangan aspek mekanikal difokuskan pada konstruksi chamber penyangraian berbentuk tabung sepanjang 28 cm yang difabrikasi menggunakan material kombinasi Stainless Steel 304 setebal 1 mm dan plat baja hitam 2 mm untuk menjamin durabilitas termal dan higienitas produk. Sistem ini dirancang dengan kapasitas pemrosesan maksimal 500 gram, di mana mekanisme rotasi biji kopi digerakkan oleh Motor Universal AC/DC yang mentransmisikan torsi melalui sistem pulley dan timing belt guna memastikan kerataan penyangraian. Sumber panas utama berasal dari kompor gas LPG 3 kg yang intensitas apinya diregulasi secara otomatis melalui integrasi motor servo pada regulator dan solenoid valve. Desain mekanik juga mencakup cerobong uap sebagai jalur sirkulasi udara sekaligus lokasi strategis penempatan sensor untuk memonitor kondisi iklim mikro uap secara real-time, sebagaimana diilustrasikan pada desain teknis Gambar 2.



Gambar 2 Desain Mekanik

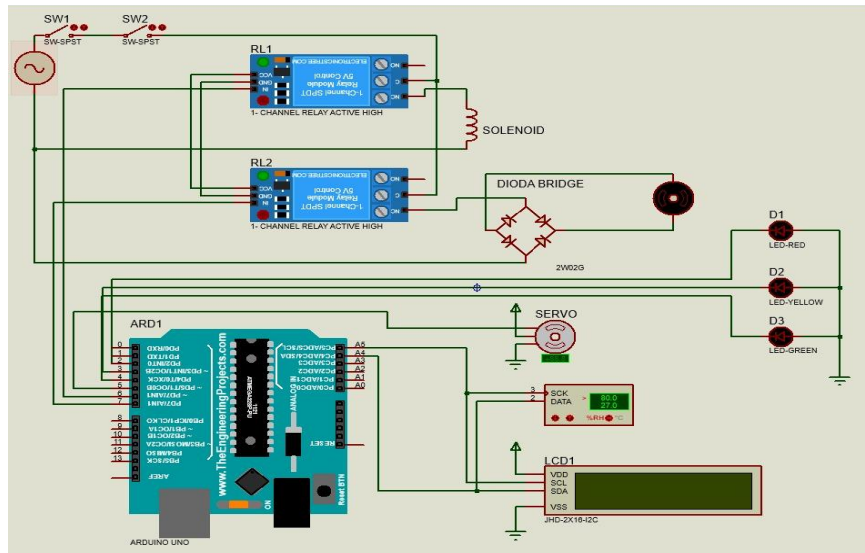
C. Perancangan Sistem Elektronik

Arsitektur sistem elektronik dibangun berdasarkan diagram blok sistem pada Gambar 3 yang memetakan aliran data dari input, pemrosesan, hingga aktuasi. Pusat kendali sistem menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang terhubung dengan skema rangkaian elektronik pada Gambar 4 meliputi modul Relay 2 Channel untuk manajemen daya Motor DC dan solenoid valve, serta driver untuk Motor Servo MG996 sebagai pengatur katup gas. Akuisisi data lingkungan dilakukan oleh sensor presisi SHT-31, sementara kebutuhan daya seluruh sistem disuplai melalui sumber tegangan AC 220V yang disesuaikan melalui adaptor dan penyearah untuk kebutuhan komponen DC maupun beban AC.



Gambar 3 Diagram Blok Sistem

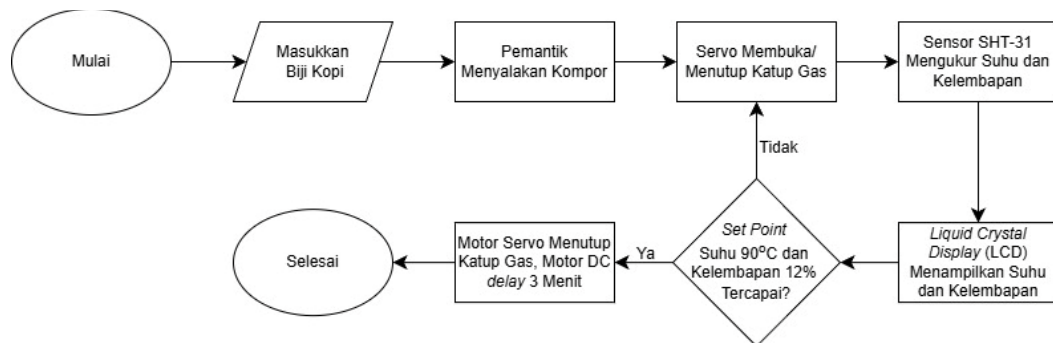
Rancang Bangun Sistem Kendali Presisi Suhu dan Kelembapan pada Mesin Penyangrai Kopi Menggunakan Sensor SHT-31
 (Muhammad Arfan, Warnisa Gulo, Muhammad Khairul Amri Rosa, Alex Surapati, Natsir Habibullah : Halaman 146 - 157)



Gambar 4 Skema Rangkaian Elektronik

D. Perancangan Perangkat Lunak

Pengembangan perangkat lunak didasarkan pada algoritma kontrol yang dijabarkan dalam diagram alir sistem pada Gambar 5. Logika kendali yang diterapkan berbasis metode threshold control (On-Off), di mana sistem secara kontinu membandingkan pembacaan sensor dengan nilai *setpoint* suhu $90^{\circ}C$ dan kelembapan 12% untuk menentukan aksi motor servo dalam menutup aliran gas secara otomatis saat target tercapai. Antarmuka pengguna difasilitasi oleh LCD 16x2 untuk visualisasi data real-time, didukung oleh komunikasi serial untuk pencatatan data (*logging*) menggunakan PLX-DAQ pada komputer. Komunikasi antar modul menggunakan protokol I2C untuk pembacaan sensor SHT-31 dan sinyal PWM untuk pengendalian posisi sudut motor servo.



Gambar 5 Diagram Alir Sistem

E. Spesifikasi Komponen

Instrumen utama pengukuran menggunakan sensor SHT-31 yang memiliki spesifikasi tegangan operasi 2,15–5,5 V dengan rentang pengukuran suhu $-40^{\circ}C$ hingga $+125^{\circ}C$ serta kelembapan 0–100% RH, yang menawarkan akurasi tinggi sebesar $\pm 0,3^{\circ}C$ untuk suhu dan $\pm 2^{\circ}C$ RH untuk kelembapan melalui antarmuka komunikasi I2C. Unit pemrosesan data mengandalkan mikrokontroler Arduino Uno berbasis chip ATmega328 dengan tegangan operasi 5V dan input yang direkomendasikan 7-12V. Sistem aktuasi didukung oleh Motor Universal AC/DC 220V dengan kecepatan 32 rpm dan torsi 20 N.m, Motor Servo MG996 dengan torsi hingga 11 kgfcm dan rotasi maksimal 180 derajat, serta Solenoid Valve tipe *Normally Closed* (NC) bertegangan 220V AC. Komponen pendukung operasional meliputi LCD 16x2, LED indikator status (Merah, Kuning, Hijau), serta tombol navigasi *Start* dan *Emergency Stop* untuk keamanan sistem.

F. Kalibrasi dan Setup

Validasi akurasi instrumen dilakukan melalui prosedur kalibrasi yang membandingkan pembacaan sensor SHT-31 terhadap termometer referensi pada kondisi uap penyangraian, yang kemudian dianalisis nilai error absolut dan persentase penyimpangannya. Parameter kontrol sistem ditetapkan pada nilai ambang batas (*threshold*) suhu 90°C dan target kelembapan 12% sebagai acuan pemutusan suplai panas. Prosedur operasional awal (*setup*) dimulai dengan menghubungkan catu daya, memuat biji kopi ke dalam tabung, dan menekan tombol start yang secara berurutan akan memicu pembukaan katup gas oleh servo, pengaktifan pemantik kompor, serta rotasi tabung penyangrai oleh motor DC21.

G. Metode Pengujian

Evaluasi sistem dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu pengujian fungsional dan operasional. Pengujian fungsional mencakup verifikasi kinerja mikrokontroler melalui program dasar, validasi pembacaan sensor SHT-31, analisis karakteristik putaran Motor DC terhadap variasi tegangan, presisi sudut servo, serta respons tampilan LCD. Selanjutnya, pengujian operasional dilaksanakan dengan memvariasikan beban biji kopi sebesar 50 gram, 100 gram, 150 gram, dan 200 gram untuk menghasilkan berbagai tingkatan sangrai mulai dari *Light* hingga *Dark roast* dengan durasi proses berkisar antara 12,46 menit hingga 21,16 menit. Parameter kunci yang diukur meliputi profil kenaikan suhu dan penurunan kelembapan terhadap waktu, durasi total penyangraian hingga mencapai *setpoint*, serta observasi visual terhadap tingkat kematangan atau perubahan warna biji kopi secara kualitatif.

H. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode statistik deskriptif, khususnya perhitungan *Error Absolut* dan *Persentase Error (%)* untuk mengkuantifikasi akurasi sensor SHT-31 terhadap alat ukur standar termometer. Pengolahan dan visualisasi data didukung oleh perangkat lunak Arduino IDE untuk pemrograman dan pemantauan real-time via Serial Monitor, serta pemanfaatan fitur PLX-DAQ untuk perekaman data (*data logging*) secara terstruktur ke dalam format *spreadsheet* (Excel) guna memudahkan analisis komparatif performa sistem terhadap variasi beban yang diberikan.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah mikrokontroller Arduino uno. Mikrokontroler ini digunakan sebagai pengendali dari setiap bagian komponen yang terhubung secara keseluruhan pada alat yang akan dibuat pada penelitian ini. Pengujian mikrokontroler ini dilakukan agar dapat diketahui apakah mikrokontroler dapat bekerja dengan baik. Pengujian mikrokontroler ini dilakukan dengan menggunakan software Arduino IDE. dimana program *Blink* diunggah pada software tersebut, selanjutnya akan terlihat lampu indikator LED pada Arduino akan berkedip atau aktif.

B. Pengujian Sensor SHT-31

Pengujian sensor SHT-31 dilakukan terlebih dahulu agar dapat diketahui apakah sensor dapat mendeteksi suhu dan kelembapan dengan baik atau tidak. Berdasarkan pengujian ini juga dapat diketahui keakuratan pengukuran suhu dan kelembapan dengan menggunakan sensor SHT-31. Pengujian sensor SHT-31 dilakukan dengan menghubungkan pin 5V, GND, A4, dan A5 pada pin-pin sensor SHT-31. Setelah pin-pin dihubungkan dilanjutkan dengan mengupload kode program pada aplikasi Arduino uno IDE. Jika kode program pada Arduino uno IDE berhasil di upload maka hasil output dan pengukuran suhu dan kelembapan berdasarkan pengukuran sensor SHT-31 dapat dilihat pada serial monitor.

C. Pengujian Sensor SHT-31 dengan Thermometer

Pengujian kali ini dilakukan dengan membandingkan sensor SHT-31 dengan thermometer pada hasil uap penyangraian biji kopi. Pengujian sensor dapat dilihat pada Tabel 1.

Rancang Bangun Sistem Kendali Presisi Suhu dan Kelembapan pada Mesin Penyangrai Kopi Menggunakan Sensor SHT-31
 (Muhammad Arfan, Warnisa Gulo, Muhammad Khairul Amri Rosa, Alex Surapati, Natsir Habibullah : Halaman 146 - 157)

Tabel 1 Hasil Pengujian Sensor SHT-31 dengan Thermometer

Waktu (Menit)	Sensor SHT-31 (°C)	Termometer (°C)	Selisih
0	27,94	27,4	0,54
2	31,97	31,6	0,37
4	33,59	32,6	0,99
6	47,88	46,3	1,58
8	54,67	52,8	1,87
10	66,63	64,3	2,33
12	68,74	66,8	1,94
14	72,97	70,0	2,97
16	85,56	83,8	1,76
18	90,01	87,7	2,31
20	92,36	90,0	2,36

Penelitian ini menguji sensor SHT-31 untuk membandingkan hasil pengukuran suhunya dengan termometer standar melalui variasi waktu dan suhu. Selama proses pengujian, sensor menunjukkan respons yang konsisten mengikuti kenaikan suhu penyangraian. Studi ini kemudian menghitung nilai galat (*error*) dengan mengomparasi data pembacaan sensor SHT-31 dan termometer. Secara spesifik pada menit ke-20, perhitungan nilai galat antara kedua alat tersebut menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$e(\%) = \frac{92,36 - 90,0}{90,0} \times 100\% = 2,62\% \quad (1)$$

Perhitungan tersebut menunjukkan nilai galat pengukuran suhu pada menit ke-20 sebesar 2,62%. Nilai ini merepresentasikan selisih pembacaan antara sensor SHT-31 dan termometer.

D. Pengujian Motor Universal AC/DC

Pengujian ini bertujuan memverifikasi kinerja motor universal dalam memutar tabung penyangrai (*roasting*). Sistem ini menggunakan motor DC *gearbox* tipe 80ZY145C-22030/60JX56 dengan tegangan kerja 220 Volt. Prosedur pengujian menerapkan variasi tegangan tanpa beban serta memanfaatkan tachometer dan multimeter untuk merekam kecepatan putar, arus, dan tegangan. Tabel 2 menyajikan data hasil pengukuran kecepatan dan konsumsi arus motor tersebut.

Tabel 2 Hasil Pengujian Motor Universal AC/DC

Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (RPM)
20	0,06	10,1
40	0,063	32,1
60	0,074	52,3
80	0,090	61,1
100	0,093	70,2
120	0,101	91,5
140	0,112	119,1
160	0,120	126,5
180	0,113	140,8

200	0,110	182,4
220	0,125	220,1

Analisis data pada Tabel 2 mengonfirmasi bahwa spesifikasi motor tersebut memenuhi kriteria operasional untuk alat *roasting* dan pengembangan riset berikutnya.

E. Pengujian Motor Servo

Pengujian fungsional motor servo bertujuan memastikan keandalan komponen sebelum proses perakitan alat. Osiloskop merekam sinyal PWM dari Arduino Uno untuk menganalisis sudut rotasi, lebar pulsa, dan tegangan RMS pada lima titik uji (0°, 45°, 90°, 145°, dan 180°). Melalui mekanisme ini, osiloskop memvisualisasikan sinyal perintah Arduino menjadi bentuk gelombang yang terukur. Tabel 3 menyajikan data kuantitatif nilai pulsa dan tegangan yang dihasilkan dari setiap sudut.

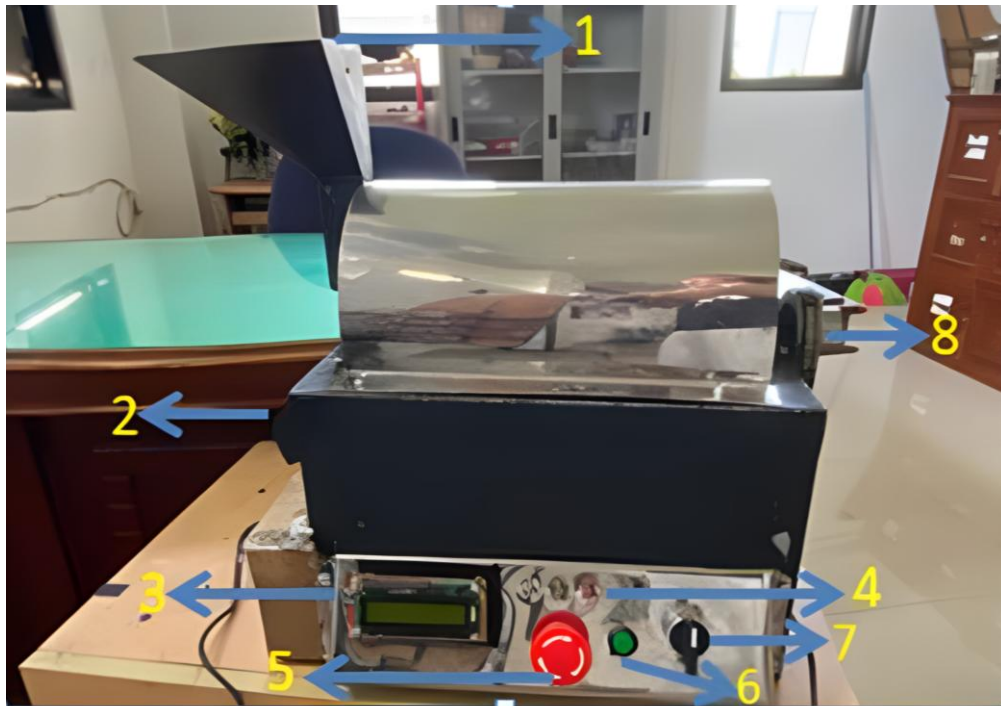
Tabel 3 Hasil Pengujian Motor Servo

No	Sudut (°)	Nilai Pulsa	Pulse Width (ms)	Rms (V)
1.	0	1	0,55	1,13
2.	45	1	1,10	1,52
3.	90	1	1,470	1,82
4.	145	1	1,790	2,01
5.	180	1	2,410	2,33

F. Bentuk Fisik Alat Roasting Kopi

Alat penyangrai biji kopi ini menggunakan kontrol suhu dan kelembapan dengan sensor SHT-31 sebagai basis operasionalnya. Konstruksi alat terdiri dari komponen krusial seperti sensor SHT-31, motor DC, tabung penyangrai, LCD, *emergency stop*, motor servo, dan saklar yang terintegrasi untuk menghasilkan sangraian yang optimal. Gambar 12 memperlihatkan detail realisasi fisik dari perancangan alat tersebut.

Rancang Bangun Sistem Kendali Presisi Suhu dan Kelembapan pada Mesin Penyangrai Kopi Menggunakan Sensor SHT-31
 (Muhammad Arfan, Warnisa Gulo, Muhammad Khairul Amri Rosa, Alex Surapati, Natsir Habibullah : Halaman 146 - 157)



- Keterangan:
- | | |
|---------------------------|-------------------|
| 1. Hopper | 5. Emergency Stop |
| 2. Pintu Keluar Biji Kopi | 6. Start Button |
| 3. LCD | 7. Saklar Motor |
| 4. LED | 8. Pulley |

Gambar 5 Mesin Penyangrai Biji Kopi

G. Hasil Pengujian Sistem Kontrol Alat Roasting Kopi

Penelitian ini menguji sistem kontrol alat penyangrai secara langsung menggunakan biji kopi di dalam tabung untuk memverifikasi kinerja mesin. Prosedur tersebut mencakup empat skenario percobaan dengan variasi massa biji kopi, yaitu 50 gram, 100 gram, 150 gram, dan 200 gram. Tabel 4 menyajikan data hasil pengujian dari variasi beban tersebut.

Tabel 4 Hasil Pengujian Sistem Kontrol Alat Roasting Kopi

No	Berat (Gram)	Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
1.	50	12,46	25,71 – 104,59	70,69 – 12
2.	100	16,93	30,18 – 111,87	68,25 – 12
3.	150	19,25	32,9 - 116,80	62,05 – 12
4.	200	21,16	30,07 - 117,16	68,72 – 12

Sistem penyangrai memproses variasi massa biji kopi (50, 100, 150, dan 200 gram) sembari merekam data suhu dan kelembapan setiap detik hingga motor servo menutup katup gas secara otomatis. Data menunjukkan bahwa meskipun *setpoint* suhu (90°C) dan kelembapan (12%) bernilai konstan, durasi untuk mencapainya bervariasi. Sampel 50 gram mencapai target dalam 12,46 menit, sedangkan sampel 200 gram membutuhkan waktu 21,16 menit. Fenomena ini mengindikasikan bahwa peningkatan massa biji kopi memperbesar kapasitas penyerapan panas dan volume uap air yang harus dibuang, sehingga memperlambat laju pencapaian suhu dan kelembapan target.

Variasi massa biji kopi secara signifikan memengaruhi profil penyangraian yang dihasilkan. Percobaan menunjukkan gradasi hasil mulai dari *dark roast* pada massa 50 gram, *medium dark roast* (100 gram),

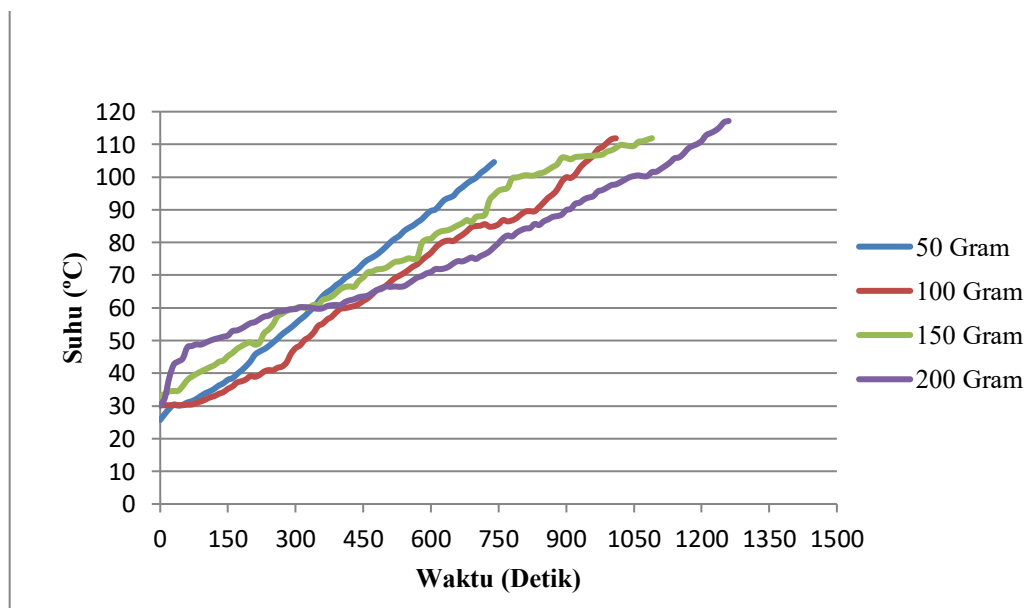
medium roast (150 gram), hingga *light roast* pada massa 200 gram. Fenomena ini mengonfirmasi bahwa massa yang lebih ringan mempercepat laju penyangraian sehingga menghasilkan warna yang lebih gelap. Gambar 6 memvisualisasikan perbandingan tingkat kematangan produk tersebut.



Gambar 6 (a) Berat 50 Gram Tipe *Dark Roast*, (b) Berat 100 Gram Tipe *Medium Dark Roast*, (c) Berat 150 Gram Tipe *Medium Roast*, dan (d) Berat 200 Gram Tipe *Light Roast*.

H. Grafik Data Hasil Pengujian Sistem Kontrol Alat Roasting kopi

Visualisasi data hasil pengujian mencakup variasi massa biji kopi sebesar 50, 100, 150, dan 200 gram untuk memfasilitasi pengamatan karakteristik parameter. Penulis menyajikan data tersebut dalam dua kategori hubungan, yaitu perbandingan suhu terhadap waktu dan kelembapan terhadap waktu. Detail kedua grafik tersebut tersaji pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7 Grafik Perbandingan Suhu Terhadap Waktu

Rancang Bangun Sistem Kendali Presisi Suhu dan Kelembapan pada Mesin Penyangrai Kopi Menggunakan Sensor SHT-31

(Muhammad Arfan, Warnisa Gulo, Muhammad Khairul Amri Rosa, Alex Surapati, Natsir Habibullah : Halaman 146 - 157)

Gambar 7 menyajikan profil suhu terhadap waktu untuk setiap variasi massa (50–200 gram), yang memperlihatkan kenaikan suhu berbanding lurus dengan durasi proses hingga titik *setpoint*. Peningkatan ini berlangsung karena sistem terus memicu pembakaran untuk memenuhi target parameter suhu dan kelembapan yang telah ditentukan.

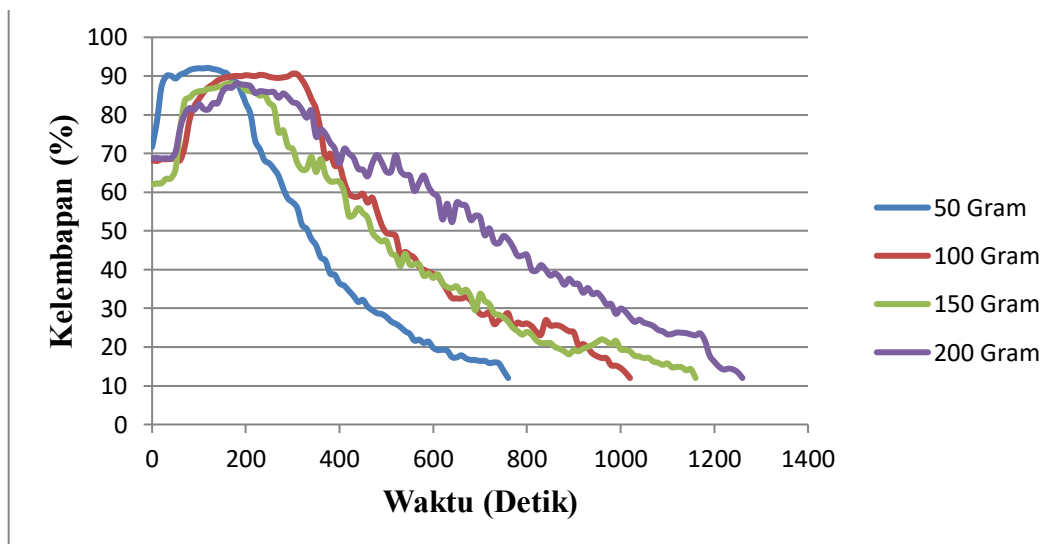
Analisis data menunjukkan bahwa massa 50 gram mencapai *setpoint* tercepat dalam 12,46 menit, diikuti oleh massa 100 gram (16,93 menit), 150 gram (19,25 menit), dan 200 gram (21,16 menit). Peningkatan massa biji kopi secara langsung memperpanjang durasi proses karena sistem membutuhkan waktu lebih lama untuk memaksimalkan penyerapan panas dan mereduksi kelembapan.

Sistem mencatatkan suhu di atas *setpoint* 90°C pada beberapa pengujian karena mekanisme kontrol mengharuskan pemenuhan target kelembapan 12% sebagai syarat terminasi proses. Gambar 8 menyajikan grafik respons kelembapan terhadap waktu tersebut.

Gambar 8 memvisualisasikan profil kelembapan terhadap waktu untuk variasi massa 50, 100, 150, dan 200 gram. Pada fase inisial, proses pemanasan memicu evaporasi air permukaan yang menyebabkan lonjakan nilai kelembapan sesaat. Selanjutnya, peningkatan suhu secara bertahap mereduksi kadar air hingga menyentuh *setpoint* 12%.

Volume pelepasan uap air selama penyangraian menentukan laju penurunan kelembapan. Massa biji kopi yang lebih besar mengandung total air yang lebih banyak, sehingga menuntut waktu penguapan yang lebih lama untuk mencapai target. Sebaliknya, massa yang lebih kecil mempercepat proses tersebut. Fenomena ini sejalan dengan hukum gas ideal ($PV = nRT$), di mana kenaikan suhu (T) meningkatkan energi kinetik molekul dan tekanan uap (P). Mekanisme termodinamika ini memacu pelepasan uap air dari pori-pori biji kopi, yang secara progresif menurunkan nilai kelembapan.

Visualisasi data ini membuktikan kemampuan sistem kontrol dalam menyesuaikan parameter operasional dan waktu penyangraian secara responsif berdasarkan beban massa biji kopi.



Gambar 8 Grafik Perbandingan Kelembapan Terhadap Waktu

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merealisasikan rancang bangun alat penyangrai (*roasting*) kopi berbasis kontrol suhu dan kelembapan. Konstruksi alat memiliki dimensi kerangka 33 cm dan tabung 28 cm dengan kapasitas muatan maksimal 500 gram. Sistem mengintegrasikan sensor SHT-31 serta motor servo yang berperan sebagai aktuator pengatur katup gas otomatis. Menggunakan material utama besi dan pelat,

alat ini mampu memantau dan mengendalikan parameter suhu serta kelembapan uap secara real-time selama proses penyangraian.

Penelitian ini menguji empat variasi massa biji kopi (50, 100, 150, dan 200 gram) yang menunjukkan bahwa peningkatan massa berbanding lurus dengan durasi pencapaian *setpoint*. Massa 50 gram mencapai target suhu 90°C dan kelembapan 12% dalam 12,46 menit, sedangkan massa 200 gram memerlukan waktu hingga 21,16 menit. Selama proses tersebut, sistem kontrol mendemonstrasikan stabilitas kinerja melalui respons penutupan katup gas otomatis saat target tercapai. Korelasi terbalik antara kenaikan suhu dan penurunan kelembapan ini memvalidasi efektivitas alat dalam meregulasi parameter penyangraian secara presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. W. Wibowo, R. D. Atmaja, and M. A. Murti, "Preliminary Studies for Cracking Sound Identification During Coffee Roasting," in 2023 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA), Surabaya, Indonesia: IEEE, 2023, pp. 215–219.
- [2] P. C. Ayu, I. W. A. Wijaya, I. G. A. P. R. Agung, and I. W. Rinas, "Design of coffee roaster with controlled temperature system to maintain the sustainability of coffee roasting process," IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., vol. 1302, no. 1, 2024.
- [3] O. A. Ogunjirin, M. O. Olabanji, and O. T. Ojo, "Instrumentation of NCAM developed coffee roasting machine," IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., vol. 445, no. 1, 2020.
- [4] E. Getaneh, S. W. Fanta, and N. Satheesh, "Effect of Broken Coffee Beans Particle Size, Roasting Temperature, and Roasting Time on Quality of Coffee Beverage," J. Food Qual., vol. 2020, 2020.
- [5] I. Laukalja, Z. Kruma, and I. Cinkmanis, "Impact of the Roast Level on Chemical Composition of Coffee from Colombia," Proc. Latv. Acad. Sci., Sect. B: Nat., Exact, Appl. Sci., vol. 76, no. 3, pp. 348–354, 2022.
- [6] D. Prajna, J. C. K. H. S. Putra, H. K. Purwadaria, and S. Sutrisno, "Roasting optimization of robusta coffee beans and their effect on the antioxidant related compound," BIO Web Conf., vol. 120, 2025.
- [7] G. Budryn, E. Nebesny, J. Oracz, and T. Rachwał-Rosiak, "Influence of roasting conditions on fatty acids and oxidative changes of Robusta coffee oil," Eur. J. Lipid Sci. Technol., vol. 114, no. 9, pp. 1052–1061, 2012.
- [8] D. Żyżelewicz, G. Budryn, J. Oracz, H. Antolak, D. Kregiel, and M. Kaczmarek, "The influence of the roasting process conditions on the polyphenol content in cocoa beans, nibs and chocolates," Food Res. Int., vol. 89, pp. 918–929, 2016.
- [9] B. Heyd, E. Broyart, G. Trystram, and A. Voilley, "Physical model of heat and mass transfer in a spouted bed coffee roaster," Drying Technol., vol. 25, no. 4, pp. 621–633, 2007.
- [10] R. Wulandari, A. C. Nugraha, R. A. W. Yudha, and S. Roseno, "Heat transfer through a clay furnace in a coffee roasting machine to produce coffee with a distinctive aroma," in AIP Conference Proceedings, vol. 2900, 2023.
- [11] X. Wang and L.-T. Lim, "Physicochemical Characteristics of Roasted Coffee," in Coffee in Health and Disease Prevention, Elsevier Inc., 2015, pp. 247–254.
- [12] F. Wei and M. Tanokura, "Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting," in Coffee in Health and Disease Prevention, Elsevier Inc., 2015, pp. 83–91.
- [13] W. B. Sunarharum, T. S. Y. Putri, and S. M. Ulfa, "Sensory and Physicochemical Characteristics of Two Common Roast Defects in Robusta Coffee," Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol., vol. 12, no. 1, pp. 339–346, 2022.
- [14] M. Bolka and S. Emire, "Effects of coffee roasting technologies on cup quality and bioactive compounds of specialty coffee beans," Food Sci. Nutr., vol. 8, no. 11, pp. 6120–6131, 2020.
- [15] I. V. Shtykova and T. A. Shinkevich, "Investigation of a Nonlinear Sar Model of the Temperature of the Exhaust Gases of the Firing Machine in the Presence of Noise in the Control Error," in AIP Conference Proceedings, vol. 2467, 2022.
- [16] L. Li and G. Zhou, "Method of variable universe fuzzy control base on inverse-model decoupling for green tea baking," Trans. Chinese Soc. Agric. Eng., vol. 30, no. 5, pp. 238–245, 2014.
- [17] S. Sa'po, M. Jusman, dan M. Arif, "Rancang Bangun Mesin Penyangrai Biji Kopi Kapasitas 3 Kg Type Rotary," Skripsi, Politeknik Ati Makassar, Makassar, 2021.
- [18] A. Fiatno, Y. Yusmita, G. Aprinaldi, E. Putri, dan M. Habibil, "Rancang Bangun Mesin Roasting Kopi Tipe Silinder Horizontal Kapasitas 2 Kg," Skripsi, Universitas Pahlawan, Bangkinang, 2023.
- [19] F. Nazura dan M. Dhafir, "Desain Mesin Penyangrai Kopi Menggunakan Sumber Elemen Pemanas Listrik (Heater) dan Tenaga Penggerak Motor Listrik," J. Ilm. Mhs. Pertan., vol. 7, no. 1, 2022.
- [20] A. Bahroin, A. P. Budijono, dan R. Budi, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu Dan Putaran Pada Mesin Penyangrai Kopi Semi Otomatis," J. Tek. Mesin, vol. 2, no. 3, pp. 35–39, 2016.
- [21] P. E. Wicaksono, "Penentuan Kadar Kandungan Air Pada Biji Kopi Arabika dengan Teknik Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2018.