

Rancang Bangun Mesin *Roasting* Kopi Berbasis Mikrokontroler dengan Sistem Kendali Otomatis dan Energi *Hybrid* Listrik–Surya

¹Dimas Angga Ferdiansyah, ²Desriyanti, ³Mohamad Muhsin

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah, Ponorogo

Jl. Budi Utomo No 10, Ponorogo 63471, Jawa Timur, Indonesia

dimasanggaferdiansyah@gmail.com, desri77@umpo.ac.id, mmuhsin69@gmail.com

Abstract - Conventional coffee roasting in micro, small, and medium enterprises (MSMEs) often suffers from unstable temperatures, inconsistent roast levels, and heavy reliance on a single power grid. This study designed and built an automatic coffee roasting machine driven by an Arduino Uno microcontroller and powered by a hybrid solar–electric energy system. The machine features a K-type thermocouple sensor for real-time temperature tracking, an HX711 load cell sensor to measure coffee bean weight, and an Automatic Transfer Switch (ATS) for seamless power switching between solar energy and the utility grid (PLN). Test results showed that the load cell achieved an average accuracy of 99.79% (0.21% error rate), while the temperature sensor reached an average accuracy of 97.19% (1.81% error rate). On the power side, charging the 12V 60Ah battery to full capacity using the solar panel took approximately 4.4 hours. The battery successfully ran all machine components (DC motor, control unit, and 500W heater) for 45 minutes on its own, with the ATS switching power sources smoothly without interrupting the roasting process. Full roasting trials across different batch sizes (250 g, 500 g, and 750 g) produced weight losses of 11.40%–11.60% for light roast, 11.60%–13.80% for medium roast, and 11.87%–16.80% for dark roast. Overall, the system effectively improves energy efficiency, stabilizes roasting temperatures, and delivers consistent coffee quality.

Keywords: Coffee Roaster Machine, Microcontroller, Hybrid Energy, Solar Panel, Automatic Transfer Switch.

Abstrak - Proses penyangraian kopi pada skala usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) umumnya masih menghadapi masalah suhu yang kurang stabil, tingkat kematangan biji kopi yang tidak merata, serta ketergantungan pada satu sumber listrik PLN. Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat mesin penyangrai kopi otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang dipadukan dengan sistem energi hibrida listrik–surya. Mesin ini menggunakan sensor termokopel tipe-K untuk memantau suhu, sensor *load cell* HX711 untuk menimbang berat biji kopi, serta *Automatic Transfer Switch* (ATS) untuk memindahkan sumber listrik secara otomatis antara panel surya dan PLN. Dari hasil pengujian, sensor *load cell* mampu menimbang dengan akurasi rata-rata 99,79% (tingkat kesalahan 0,21%), sedangkan sensor suhu memiliki akurasi rata-rata 97,19% (tingkat kesalahan 1,81%). Pada sistem daya hibrida, pengisian baterai 12V 60Ah dari kondisi kosong hingga penuh menggunakan panel surya membutuhkan waktu sekitar 4,4 jam. Baterai mampu menyuplai seluruh komponen mesin (motor penggerak, sistem kontrol, dan elemen pemanas 500 Watt) selama 45 menit secara mandiri, sementara ATS berhasil mengalihkan arus listrik secara mulus tanpa mengganggu proses penyangraian. Pengujian penyangraian pada berbagai variasi berat (250 gram, 500 gram, dan 750 gram) menghasilkan susut bobot sebesar 11,40%–11,60% untuk *light roast*, 11,60%–13,80% untuk *medium roast*, dan 11,87%–16,80% untuk *dark roast*. Dengan demikian, mesin ini berhasil meningkatkan efisiensi energi, menjaga stabilitas suhu, serta menghasilkan tingkat kematangan kopi yang konsisten.

Kata Kunci: Mesin Penyangrai Kopi, Mikrokontroler, Energi Hibrida, Panel Surya, Automatic Transfer Switch.

I. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia, baik sebagai sumber devisa negara maupun penopang mata pencaharian jutaan petani di berbagai sentra produksi. Salah satu tahapan yang paling menentukan mutu akhir kopi dalam rantai pengolahan adalah proses penyangraian (*roasting*), yaitu tahap ketika biji kopi mengalami reaksi kimia dan fisika, antara lain reaksi Maillard dan karamelisasi

gula, yang bersama-sama membentuk profil aroma, rasa, tingkat keasaman, serta warna biji kopi. Namun demikian, sebagian besar pelaku usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) kopi di Indonesia masih menjalankan proses penyangraian secara konvensional, dengan mengandalkan pengamatan visual, indra penciuman, dan pengalaman operator. Pendekatan manual semacam ini rentan terhadap kesalahan pengukuran suhu dan waktu, sehingga tingkat kematangan biji kopi antarbatch cenderung tidak seragam dan mutu hasil sangrai sulit direplikasi secara konsisten, yang pada akhirnya menurunkan daya saing produk kopi olahan UMKM.[1],[2]

Permasalahan tersebut diperparah oleh kendala operasional lain yang bersifat kewilayahan, yaitu ketergantungan proses produksi terhadap pasokan listrik dari jaringan PLN yang belum sepenuhnya andal, khususnya di daerah sentra produksi kopi yang umumnya berada di wilayah dataran tinggi dan pedesaan. Fluktuasi tegangan maupun pemadaman listrik dapat menghentikan proses penyangraian di tengah jalan, sehingga menyebabkan kegagalan proses dan kerugian ekonomi bagi pelaku usaha. Perkembangan teknologi sistem terbenam (*embedded system*) berbasis mikrokontroler membuka peluang untuk mengatasi persoalan presisi proses penyangraian, karena memungkinkan perancangan sistem kendali otomatis yang mengatur suhu, waktu sangrai, dan kecepatan pengadukan drum secara terprogram dan terukur, dengan memanfaatkan sensor termokopel tipe-K dan sensor beban (*load cell*) untuk menyajikan data proses secara waktu nyata (*real-time*).[3],[4]

Untuk menjawab tantangan keandalan pasokan energi, penerapan sistem energi hibrida yang memadukan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan jaringan PLN menjadi alternatif solusi yang relevan, terutama bagi wilayah sentra kopi yang memiliki potensi radiasi matahari cukup tinggi sepanjang tahun. Melalui integrasi sakelar pemindah otomatis (*Automatic Transfer Switch/ATS*), sistem dapat beralih secara otomatis antara sumber daya PLTS dan PLN sesuai ketersediaan masing-masing, sehingga kontinuitas pasokan listrik selama proses penyangraian tetap terjaga. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan melakukan rancang bangun mesin penyangrai kopi otomatis berbasis mikrokontroler yang diintegrasikan dengan sistem energi hibrida listrik–surya, guna meningkatkan konsistensi mutu hasil sangrai, efisiensi energi, dan menjadi alternatif teknologi tepat guna bagi pelaku usaha kopi skala UMKM di Indonesia.[5],[6]

II. METODE PENELITIAN

A. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan oleh penulis untuk memperkuat identifikasi permasalahan yang menjadi dasar penelitian. Kegiatan ini dilaksanakan melalui observasi secara langsung dan wawancara dengan pelaku Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) pengolahan kopi di Desa Pupus, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur. Desa Pupus merupakan salah satu daerah penghasil kopi Robusta dan Arabika di lereng Gunung Wilis, namun proses penyangraian kopi yang diterapkan oleh pelaku usaha masih menggunakan metode konvensional dengan tingkat otomatisasi yang terbatas.

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, diketahui bahwa sebagian besar pelaku usaha masih mengendalikan proses penyangraian secara manual dengan mengatur besar kecilnya api berdasarkan pengalaman operator. Pengendalian suhu dan lama penyangraian belum menggunakan sistem kendali otomatis sehingga tingkat kematangan biji kopi sering kali tidak seragam. Kondisi tersebut menyebabkan kualitas hasil sangrai berbeda pada setiap proses produksi serta berpotensi menurunkan mutu aroma, warna, dan cita rasa kopi.

Selain itu, lokasi penelitian yang berada di wilayah dataran tinggi menyebabkan pasokan listrik dari jaringan PLN kurang stabil, terutama ketika terjadi cuaca ekstrem yang mengakibatkan fluktuasi tegangan maupun pemadaman listrik. Kondisi tersebut menjadi kendala apabila proses penyangraian menggunakan mesin berbasis listrik karena terhentinya proses pemanasan dapat memengaruhi kualitas hasil sangrai. Hasil observasi juga menunjukkan bahwa mesin yang digunakan belum dilengkapi sistem pemantauan berat secara digital sehingga penyusutan massa biji kopi selama proses penyangraian belum dapat diketahui secara akurat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu mesin roasting kopi otomatis berbasis mikrokontroler yang mampu mengendalikan suhu secara presisi, memantau penyusutan berat biji kopi secara waktu nyata, serta memanfaatkan sistem energi hibrida listrik–surya untuk meningkatkan keandalan pasokan energi selama proses penyangraian.

B. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami teori yang berkaitan dengan mesin *roasting* kopi otomatis, sistem pengendalian suhu dan waktu, pemanfaatan energi surya, serta penggunaan sensor *Load Cell* sebagai dasar dalam perancangan sistem. Berikut beberapa penelitian yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

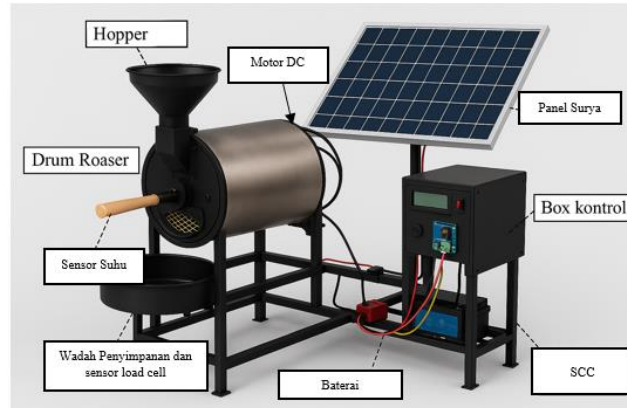
1. I. F. Al Akbar, S. Hidayatullah, I. H. Baihaqi, F. N. Mubarakah, F. D. Maulidiyah, dan Z. Ulma (2024) menerbitkan penelitian dalam *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin Manufaktur* dengan judul “Rancang Bangun Smart Coffee Dry-Huller Machine Tenaga Surya Berbasis IoT dengan Inovasi Sinar UV sebagai Penghigienis.” Penelitian tersebut mengulas pengembangan mesin pengolahan kopi yang memanfaatkan tenaga surya dan teknologi IoT, dan menjadi rujukan dalam pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif pada peralatan pengolahan kopi serta penerapan sistem kendali berbasis teknologi digital.[7]
2. Studi lain disampaikan oleh R. Arifuddin, I. Mujahidin, S. Subairi, dan R. Wikantiyoso (2021) melalui *Cyclotron: Jurnal Teknik Elektro* dengan judul “Sistem Kontrol Suhu dan Waktu Otomatis Mesin Roasting Kopi Portabel.” Penelitian tersebut membahas penerapan sistem kontrol otomatis untuk mengatur suhu dan waktu pada mesin *roasting* kopi. Penelitian ini menjadi acuan dalam pengendalian parameter suhu dan durasi penyangraian secara otomatis sehingga proses *roasting* dapat berlangsung sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.[8]
3. Selanjutnya, M. Y. Mappedasse, M. Mustakim, dan F. Firdaus (2022) mempublikasikan kajian dalam *Jurnal Media Elektrik* dengan judul “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Listrik untuk Kapal Pinisi.” Kajian tersebut mengulas perencanaan pembangkit listrik tenaga surya sebagai sumber energi listrik dan menjadi rujukan dalam penerapan panel surya sebagai sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan daya pada sistem kelistrikan.[9]
4. Terakhir, N. M. Ghifary, R. Primananda, dan E. Setiawan (2025) menerbitkan penelitian dalam *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* dengan judul “Rancang Bangun Sistem Takaran Otomatis Biji Kopi Blend (Arabika dan Robusta) pada Mesin Grinder Kopi Berbasis Load Cell pada Arduino.” Penelitian tersebut membahas penggunaan sensor *Load Cell* dan Arduino untuk melakukan pengukuran serta pengaturan takaran biji kopi secara otomatis. Penelitian ini menjadi acuan dalam pemanfaatan sensor *Load Cell* untuk memperoleh data berat biji kopi secara terukur pada sistem pengolahan kopi.[10]

C. Perencanaan Alat

Tahap perencanaan alat dilakukan sebagai dasar dalam proses pembangunan mesin *roasting* kopi otomatis berbasis mikrokontroler dengan sistem energi hibrida listrik–surya. Tahap ini bertujuan untuk menentukan konsep kerja sistem, spesifikasi komponen, serta hubungan antarperangkat sebelum dilakukan proses perakitan. Perencanaan dilakukan berdasarkan hasil studi lapangan dan studi literatur sehingga rancangan yang dihasilkan mampu menjawab permasalahan yang ditemukan pada proses penyangraian kopi di UMKM Desa Pupus. Tahapan perencanaan meliputi desain alat, diagram blok sistem, dan diagram wiring.

1. Perencanaan Desain Alat

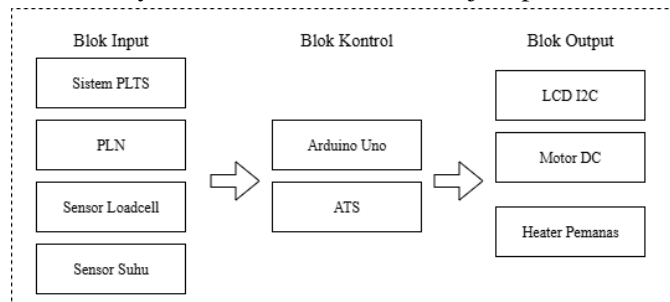
Perencanaan desain alat dilakukan untuk memberikan gambaran visual mengenai bentuk dan tata letak komponen mesin *roasting* kopi. Komponen utama yang dirancang meliputi drum *roasting*, hopper, panel kontrol, panel surya, serta wadah hasil sangrai yang dilengkapi sensor *load cell*. Penyusunan posisi setiap komponen bertujuan menghasilkan konstruksi yang ergonomis, memudahkan proses pengoperasian, serta mempermudah perawatan alat.



Gambar 1. Perencanaan Desain Mesin Roasting Kopi

2. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem menggambarkan hubungan antara bagian masukan (*input*), pengendali (*controller*), dan keluaran (*output*) pada mesin roasting kopi. Bagian masukan terdiri atas sensor suhu Thermocouple Type-K, sensor berat *load cell*, serta sistem catu daya hibrida yang berasal dari panel surya dan jaringan listrik PLN. Seluruh data diproses oleh Arduino Uno sebagai pengendali utama untuk mengatur elemen pemanas, motor penggerak drum, serta menampilkan informasi suhu dan berat pada LCD. Selain itu, sistem menggunakan Automatic Transfer Switch (ATS) untuk melakukan perpindahan sumber daya secara otomatis ketika terjadi perubahan kondisi suplai energi.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Berdasarkan gambar 2 diagram blok sistem dapat dijelaskan sebagai berikut :

a) Blok Input

1. Sistem PLTS

Mengubah cahaya matahari menjadi listrik DC dengan efisiensi 17–18% (monocrystalline 40 Wp). Energi disalurkan ke Solar Charge Controller untuk mengisi baterai dan menyuplai sistem kontrol.

2. Tegangan PLN

Sumber daya cadangan yang aktif ketika baterai dan panel surya tidak mencukupi (malam hari atau intensitas cahaya rendah). Dihubungkan melalui relay otomatis yang dikontrol Arduino Uno.

3. Sensor Beban (*Load Cell*)

Mengukur berat biji kopi sebelum dan sesudah roasting untuk menghitung persentase *weight loss* akibat penguapan air dan CO₂.

4. Sensor Suhu (*Thermocouple Type-K*)

Mendeteksi temperatur ruang sangrai secara *real-time* untuk menjaga kestabilan suhu sesuai profil *roasting* (*light, medium, dark*).

b) Blok Kontrol

1. Arduino Uno

Pusat kendali sistem: membaca sensor, mengontrol relay switching, dan mengatur aktuator,

2. Automatic Transfer Switch (ATS)

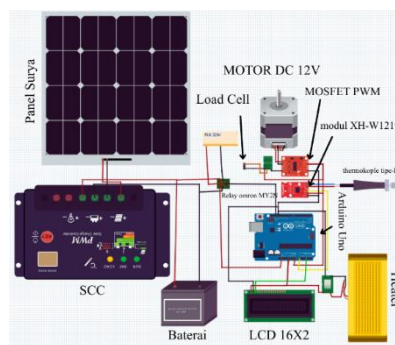
Saklar otomatis yang memilih sumber daya: baterai tinggi → gunakan panel surya/baterai; baterai rendah → beralih ke PLN. Sistem bekerja tanpa intervensi manual.

c) *Blok Output*

1. LCD 16x2 I2c
Menampilkan informasi lokal (suhu, tegangan, waktu, status daya) dan monitoring jarak jauh via cloud.
2. Motor DC 12V
Memutar drum penyangrai agar biji kopi tercampur merata. Kecepatan diatur dengan gearbox untuk efisiensi energi.
3. Heater pemanas
Sumber panas utama, dikontrol secara otomatis oleh mikrokontroler.

3. *Diagram Wiring*

Diagram wiring merupakan rancangan hubungan kelistrikan yang menunjukkan koneksi antarperangkat pada sistem. Diagram ini memperlihatkan hubungan Arduino Uno dengan sensor Thermocouple Type-K melalui modul MAX6675, sensor *load cell* melalui modul HX711, LCD I2C, solid state relay (SSR), motor DC, elemen pemanas (*heater*), Solar Charge Controller (SCC), baterai, inverter, dan ATS. Penyusunan diagram wiring dilakukan untuk memastikan seluruh komponen dapat terhubung dengan benar sehingga sistem bekerja sesuai fungsi yang direncanakan.

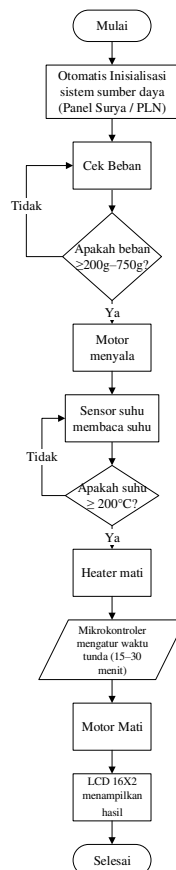


Gambar 3. Diagram Wiring Sistem

Gambar 3 menunjukkan diagram wiring mesin *roasting* kopi otomatis berbasis mikrokontroler dengan sistem *hibrida* listrik-surya. Panel surya mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC) sebagai sumber catu daya sistem. Arduino Uno berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima data dari sensor Thermocouple Type-K dan Load Cell, kemudian mengendalikan motor DC melalui modul PWM serta elemen pemanas menggunakan relay. Seluruh informasi suhu dan berat biji kopi ditampilkan pada LCD 16x2 sehingga proses *roasting* dapat berlangsung secara otomatis sesuai parameter yang telah ditentukan.

4. *Flowchart Mesin Roasting*

Perancangan perangkat lunak (*software*) ini akan menjelaskan alur prinsip kerja yang sudah sesuai dengan perencanaan pemrograman. Alur kerja suatu sistem umumnya ditampilkan dalam bentuk diagram atau *flowchart* pada Rancang Bangun Mesin *Roasting* Kopi Otomatis Berbasis Mikrokontroler dengan Sistem Energi *Hibrida* Listrik-Surya. Perancangan perangkat lunak (*software*) dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4 *Flowchart* sistem roasting

Flowchart pada Gambar 4 menunjukkan alur kerja mesin roasting kopi otomatis berbasis mikrokontroler dengan sistem energi hibrida listrik–surya. Proses diawali dengan inisialisasi sistem dan pemilihan sumber daya dari panel surya atau jaringan PLN. Selanjutnya, sistem melakukan pembacaan sensor beban untuk memastikan berat biji kopi berada pada rentang 200–250 gram. Apabila berat belum sesuai, proses pembacaan diulangi hingga memenuhi ketentuan.

Setelah berat biji kopi sesuai, elemen pemanas (*heater*) diaktifkan dan sensor suhu memantau temperatur ruang sangrai secara terus-menerus. Ketika suhu mencapai 240 °C, *heater* dimatikan dan mikrokontroler menghitung waktu penyangraian selama 15 menit. Setelah waktu roasting selesai, motor penggerak dihentikan, hasil penimbangan ditampilkan pada LCD 16×2, kemudian proses dinyatakan selesai.

D. Perancangan Alat

Tahap perancangan merupakan proses implementasi dari rancangan yang telah disusun pada tahap perencanaan. Pada tahap ini dilakukan pembangunan perangkat keras (*hardware*) serta pengembangan perangkat lunak (*software*) sehingga seluruh komponen dapat terintegrasi menjadi satu sistem mesin roasting kopi otomatis berbasis mikrokontroler dengan sistem energi hibrida listrik–surya.

1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi proses pembuatan rangka mesin, pemasangan drum roasting, perakitan sistem elektronika, instalasi sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), integrasi sistem hibrida menggunakan ATS, pemasangan motor penggerak dan elemen pemanas, serta penyatuan seluruh komponen menjadi satu kesatuan mesin roasting kopi.

a. Perakitan Rangka Mesin

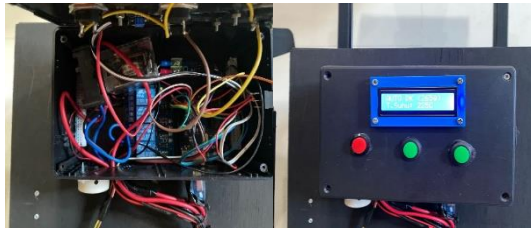
Rangka mesin dibuat menggunakan besi profil yang memiliki kekuatan mekanis untuk menopang seluruh komponen utama. Pada bagian bawah wadah hasil sangrai dipasang sensor *load cell* sebagai media penimbangan berat hasil roasting secara otomatis. Selain itu, kedudukan motor DC dan elemen pemanas dirancang agar mampu bekerja secara stabil selama proses penyangraian berlangsung.



Gambar 5. Hasil Perakitan Rangka Mesin Roasting Kopi

b. Perakitan Sistem Elektronika

Sistem elektronika dirancang menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama yang terhubung dengan sensor Thermocouple Type-K, sensor *load cell*, LCD I2C, motor DC, serta SSR sebagai pengendali elemen pemanas. Seluruh komponen dihubungkan berdasarkan diagram wiring sehingga mampu melakukan pembacaan suhu, berat, serta pengendalian proses roasting secara otomatis.



Gambar 6. Hasil Perakitan Sistem Elektronika

c. Perakitan Sistem PLTS dan Hibrida

Sistem PLTS terdiri atas panel surya 40 Wp, Solar Charge Controller (SCC), baterai, inverter, dan ATS. Panel surya berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik, sedangkan SCC mengatur proses pengisian baterai. ATS digunakan untuk melakukan perpindahan sumber daya secara otomatis dari baterai menuju jaringan listrik PLN apabila kapasitas baterai berada di bawah batas yang telah ditentukan sehingga kontinuitas operasi mesin tetap terjaga.



Gambar 7. Hasil Perakitan Sistem Hibrida Listrik–Surya

d. Perakitan Akhir Mesin

Tahap akhir dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh subsistem mekanik dan elektronika menjadi satu kesatuan mesin roasting kopi. Setelah seluruh komponen terpasang, dilakukan pengujian awal untuk memastikan sensor, aktuator, sistem kontrol, serta sistem energi hibrida dapat berfungsi sesuai dengan rancangan.



Gambar 8. Hasil Perakitan Akhir Mesin Roasting Kopi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Alat

Hasil penelitian ini berupa mesin *roasting* kopi otomatis berbasis mikrokontroler dengan sistem energi *hibrida* listrik–surya. Sistem dirancang menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama yang terintegrasi dengan sensor Thermocouple Type-K sebagai pendeteksi suhu, sensor Load Cell sebagai pengukur berat biji kopi, motor DC sebagai penggerak tabung *roasting*, serta elemen pemanas (*heater*) sebagai sumber panas. Selain itu, sistem juga dilengkapi LCD 16×2 sebagai media tampilan informasi suhu dan berat secara *real-time*.

Sumber energi pada alat menggunakan sistem *hibrida* yang terdiri atas panel surya 40 Wp, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai LiFePO₄ 12 V 60 Ah, inverter, dan *Automatic Transfer Switch* (ATS). Integrasi seluruh komponen tersebut memungkinkan mesin tetap beroperasi ketika terjadi perpindahan sumber daya dari panel surya ke jaringan listrik PLN maupun sebaliknya.

B. Pengujian Sistem Hibrida

Pengujian sistem *hibrida* dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menjaga kontinuitas pasokan daya pada mesin *roasting* kopi otomatis. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi operasi, yaitu saat panel surya mengisi baterai, ketika baterai digunakan sebagai sumber daya utama, saat terjadi penurunan tegangan baterai hingga ATS melakukan perpindahan ke jaringan listrik PLN, serta ketika panel surya kembali menghasilkan energi. Parameter yang diamati meliputi tegangan panel surya, tegangan baterai, tegangan keluaran inverter, dan respons ATS selama proses pengujian.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem *Hibrida* Listrik–Surya

No.	Kondisi Pengujian	Tegangan Panel Surya (V)	Tegangan Baterai (V)	Tegangan Keluaran Inverter (VAC)	Status ATS	Keterangan
1	Pengisian baterai oleh panel surya	20,8	12,5	220	Panel Surya	Pengisian baterai berjalan normal
2	Mesin beroperasi menggunakan baterai	20,5	12,4	220	Panel Surya	Sistem beroperasi normal
3	Kapasitas baterai mulai menurun	19,8	12,1	220	Panel Surya	Sistem tetap stabil
4	Tegangan baterai di bawah batas minimum	18,6	11,8	220	PLN	ATS berpindah secara otomatis
5	Mesin beroperasi menggunakan sumber PLN	–	11,8	220	PLN	Operasi mesin tetap normal
6	Panel surya kembali menyuplai daya	20,9	12,6	220	Panel Surya	ATS kembali ke panel surya

Berdasarkan Tabel 1, sistem *hibrida* mampu bekerja sesuai dengan perancangan. Panel surya menghasilkan tegangan sebesar 18,6–20,9 V yang digunakan untuk mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC). Selama proses pengujian, baterai mampu menyuplai inverter sehingga menghasilkan tegangan keluaran sebesar 220 VAC untuk mengoperasikan mesin *roasting*. Ketika tegangan baterai turun hingga 11,8 V, ATS secara otomatis

mengalihkan sumber daya ke jaringan listrik PLN tanpa menghentikan proses kerja mesin. Setelah panel surya kembali menghasilkan energi yang mencukupi, ATS mengembalikan sumber daya ke panel surya secara otomatis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem *hibrida* mampu menjaga kontinuitas pasokan energi selama proses penyangraian berlangsung.

C. Pengujian Proses Roasting

Pengujian proses *roasting* dilakukan untuk mengetahui kinerja mesin dalam melakukan penyangraian biji kopi secara otomatis pada beberapa variasi berat awal dan profil *roasting*. Parameter yang diamati meliputi berat awal biji kopi, target suhu, durasi waktu penyangraian, berat akhir, dan persentase susut bobot. Persentase susut bobot dihitung berdasarkan selisih antara berat awal dan berat akhir setelah proses *roasting* selesai.

Tabel 2. Hasil Pengujian Proses *Roasting* Kopi

No.	Profil <i>Roasting</i>	Berat Awal (gram)	Target Suhu (°C)	Durasi Waktu (menit)	Berat Akhir (gram)	Persentase Susut Bobot (%)
1	<i>Light Roast</i>	100	200	10	91	9,00
2	<i>Light Roast</i>	150	205	11	136	9,33
3	<i>Medium Roast</i>	200	220	12	174	13,00
4	<i>Medium Roast</i>	250	225	13	216	13,60
5	<i>Dark Roast</i>	300	235	14	253	15,67
6	<i>Dark Roast</i>	350	240	15	294	16,00

Berdasarkan Tabel 2, mesin *roasting* kopi mampu menjalankan proses penyangraian sesuai dengan parameter yang telah diprogram. Pada profil *Light Roast*, persentase susut bobot berada pada kisaran 9,00–9,33%, sedangkan pada profil *Medium Roast* meningkat menjadi 13,00–13,60%. Persentase susut bobot tertinggi diperoleh pada profil *Dark Roast*, yaitu sebesar 15,67–16,00%. Peningkatan nilai susut bobot dipengaruhi oleh suhu dan durasi penyangraian yang semakin tinggi sehingga kadar air dan senyawa volatil dalam biji kopi lebih banyak menguap.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor Thermocouple Type-K mampu menjaga suhu penyangraian sesuai dengan nilai yang telah ditentukan, sedangkan sensor Load Cell mampu mengukur perubahan berat biji kopi selama proses *roasting*. Integrasi kedua sensor dengan Arduino Uno menghasilkan proses penyangraian yang berlangsung secara otomatis dan konsisten pada setiap profil *roasting*.

D. Pembahasan

Secara umum, mesin *roasting* kopi otomatis berbasis mikrokontroler dengan sistem energi *hibrida* listrik–surya telah bekerja sesuai dengan tujuan penelitian yang ditetapkan. Sistem *hibrida* terus menjaga kontinuitas pasokan daya melalui integrasi panel surya, baterai, SCC, inverter, dan ATS sehingga mesin tetap beroperasi meskipun terjadi perpindahan sumber energi. Sementara itu, sistem kendali berbasis Arduino Uno berhasil mengintegrasikan sensor Thermocouple Type-K, sensor Load Cell, motor DC, dan elemen pemanas untuk mengatur proses penyangraian secara otomatis.

Dari pengujian proses *roasting* terlihat bahwa variasi profil penyangraian turut memengaruhi nilai susut bobot biji kopi: makin tinggi suhu dan makin lama durasi penyangraian, makin besar pula persentase susut bobot yang dihasilkan. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem mampu mempertahankan parameter operasi sesuai dengan profil *roasting* yang dipilih sehingga menghasilkan tingkat kematangan biji kopi yang lebih seragam.

Temuan ini menunjukkan bahwa mesin *roasting* kopi yang dikembangkan mampu meningkatkan otomatisasi proses penyangraian sekaligus memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber daya alternatif. Sistem ini berpotensi diterapkan pada pelaku UMKM pengolahan kopi untuk meningkatkan efisiensi operasional, menjaga kualitas hasil sangrai, serta mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik dari jaringan PLN.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan mesin *roasting* kopi otomatis berbasis mikrokontroler dengan sistem energi *hibrida* listrik–surya yang mampu mengintegrasikan sensor Thermocouple Type-K, sensor Load Cell, motor DC, dan elemen pemanas dalam satu sistem kendali. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem *hibrida* mampu menjaga kontinuitas pasokan daya melalui perpindahan sumber energi secara otomatis menggunakan *Automatic Transfer Switch* (ATS), sehingga proses penyangraian tetap berlangsung tanpa gangguan ketika terjadi perubahan sumber catu daya. Selain itu, pengujian proses *roasting* menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan profil penyangraian *Light Roast*, *Medium Roast*, dan *Dark Roast* sesuai dengan parameter suhu dan waktu yang telah ditentukan, dengan persentase susut bobot yang meningkat seiring kenaikan suhu dan durasi penyangraian.

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penerapan sistem kendali berbasis mikrokontroler yang dipadukan dengan pemanfaatan energi surya dapat meningkatkan efisiensi proses penyangraian, menjaga kestabilan suhu selama proses *roasting*, serta menghasilkan kualitas sangrai yang lebih konsisten dibandingkan metode konvensional. Temuan ini juga sejalan dengan berbagai penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa otomatisasi pengendalian suhu dan pemanfaatan energi terbarukan mampu meningkatkan keandalan proses produksi serta mendukung penerapan teknologi yang lebih efisien pada sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) pengolahan kopi.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Muharom and M. A. Lamanele, ‘Rancang Bangun Mesin Pengering Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler Atmega32’.
- [2] W. Kusuma, R. A. Prasajo, L. Hakim, M. A. Furqon, and M. E. Ramadhan, ‘Integrasi IoT pada Mesin Roasting Kopi Fluidized Bed’, *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, pp. 120–125, 2025.
- [3] A. Rahayuningtyas, D. D. Hidayat, M. Furqon, and T. Santoso, ‘Sistem monitoring dan kontrol suhu alat sangrai biji kopi otomatis berbasis mikrokontroler’, *Agrointek J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 13, no. 2, 2023.
- [4] V. A. Fernando, F. Pratama, A. Febriansyah, and D. Palupi, ‘RANCANG BANGUN MESIN SANGRAI BIJI KOPI OTOMATIS KAPASITAS 1 KILOGRAM’, in *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 2025, pp. 266–272.
- [5] A. A. D. Atmojo, I. T. Yuniahastuti, and R. D. Laksono, ‘ANALISIS POTENSI DAYA PLTS ROOFTOP LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS PGRI MADIUN MENGGUNAKAN APLIKASI PVSYST’.
- [6] D. Riyanto, M. Muhsin, and J. S. Habiby, ‘Penerapan PLTS 200 WP Pada Rumah Hunian Masyarakat Pedesaan Sebagai Listrik Hybrid’.
- [7] I. F. Al Akbar, S. Hidayatullah, I. H. Baihaqi, F. N. Mubarakah, F. D. Maulidiyah, and Z. Ulma, ‘Rancang bangun Smart Coffee Dry-Huller Machine tenaga surya berbasis IoT dengan inovasi sinar UV sebagai penghidrogenis’, *ARMATUR Artik. Tek. Mesin Manufaktur*, vol. 5, no. 1, pp. 28–38, 2024.
- [8] R. Arifuddin, I. Mujahidin, S. Subairi, and R. Wikantiyoso, ‘Sistem kontrol suhu dan waktu otomatis mesin roasting kopi portabel’, *Cyclotr. J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 42–45, 2021.
- [9] M. Y. Mappeasse, M. Mustakim, and F. Firdaus, ‘Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Listrik Untuk Kapal Pinisi’, *J. Media Elektr.*, vol. 19, no. 3, pp. 194–199, 2022.
- [10] N. M. Ghifary, R. Pramananda, and E. Setiawan, ‘Rancang Bangun Sistem Takaran Otomatis Biji Kopi Blend (Arabika Dan Robusta) Pada Mesin Grinder Kopi Berbasis Load Cell Pada Arduino’, *J. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 12, no. 4, pp. 843–850, 2025.