



Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Pengering Kopi Berbasis IOT dengan Catu Daya Hybrid

Nova Ilham Fitriyanto^{1*}, Budi Gunawan¹

¹ Faculty of Technical Engineering, Universitas Muria Kudus , Indonesia

*Corresponding author email: 202252004@umk.ac.id

History Article

Article history:

Received February 15, 2026

Approved March 12, 2026

Keywords:

Solar Panels, IOT, Coffee Dryer, Hybrid System, ESP32, Renewable Energy

ABSTRACT

This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based coffee bean drying system with a hybrid power source that combines solar panels and PLN electricity. The research and development (R&D) method used included system design, prototyping, and energy performance and drying process testing. The system utilizes a 50 Wp solar panel, a 12 V battery, an Automatic Transfer Switch (ATS), an ESP32 microcontroller, a DHT22 sensor, a load cell, and actuators such as a heater and a fan. Test results indicate that the system consumes 415,835 Wh of energy per day, with the solar panel contributing approximately 350 Wh per day, reducing battery load and extending operating time by up to two times compared to a system without solar panels. Furthermore, the system maintains a stable drying temperature within the range of 41–45°C and gradually reduces the mass of the coffee beans until they reach the standard dry condition. The novelty of this research lies in the integration of a hybrid system based on solar panels and PLN (State Electricity Company) that is automatically controlled using an Automatic Transfer Switch (ATS), and supported by real-time IoT-based monitoring and control. This approach improves energy efficiency, operational reliability, and drying process stability compared to previous research, which generally used a single energy source and lacked integrated monitoring systems. Thus, the developed system has proven effective in increasing energy efficiency, maintaining drying quality, and supporting the use of renewable energy in the agricultural sector.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengering biji kopi berbasis Internet of Things (IoT) dengan sumber daya hybrid yang mengombinasikan panel surya dan listrik PLN. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) yang meliputi tahap perancangan sistem, pembuatan prototipe, serta pengujian kinerja energi dan proses pengeringan. Sistem ini memanfaatkan panel surya 50 Wp, baterai 12 V, Automatic Transfer Switch (ATS), mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, load cell, serta aktuator berupa heater dan kipas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki konsumsi energi sebesar 415,835 Wh per hari, dengan kontribusi panel surya sekitar 350 Wh per hari yang mampu mengurangi beban baterai dan memperpanjang waktu operasi hingga dua kali lipat dibandingkan sistem tanpa panel surya. Selain itu, sistem mampu menjaga kestabilan suhu pengeringan pada rentang 41–45°C serta menurunkan massa biji kopi secara bertahap hingga mencapai kondisi kering sesuai standar. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem hybrid berbasis panel surya dan PLN yang dikendalikan secara otomatis menggunakan Automatic Transfer Switch (ATS), serta

didukung oleh monitoring dan kontrol real-time berbasis IoT. Pendekatan ini memberikan peningkatan pada efisiensi energi, keandalan operasional, dan kestabilan proses pengeringan dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya masih menggunakan sumber energi tunggal dan belum terintegrasi dengan sistem pemantauan secara langsung. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi, menjaga kualitas pengeringan, serta mendukung pemanfaatan energi terbarukan di sektor pertanian.

Copyright © 2026, The Author(s).

This is an open access article under the CC-BY-SA license



How to cite: Fitriyanto, N. I., & Gunawan, B. (2026). Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Pengering Kopi Berbasis IOT dengan Catu Daya Hybrid. *Jurnal Ilmiah Global Education*, 7(2), 1131–1149. <https://doi.org/10.55681/jige.v7i2.5902>

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kopi terbesar di dunia, sehingga kualitas pascapanen, khususnya pada proses pengeringan, menjadi faktor penting dalam menjaga mutu produk. Produksi kopi Indonesia mencapai sekitar 639 ribu ton per tahun dan berkontribusi signifikan terhadap pasar global (Foedinatha and Hartanto, 2022). Perkembangan kopi di Indonesia juga memiliki latar belakang historis yang panjang sejak masa kolonial, yang turut mendorong pertumbuhan produksi dan konsumsi kopi hingga saat ini (Wildan *et al.*, 2024)). Namun, metode pengeringan tradisional yang masih banyak digunakan memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada cuaca, waktu pengeringan yang lama, serta sulitnya pengendalian suhu dan kelembapan, yang dapat menurunkan kualitas biji kopi (Putra *et al.*, 2023), (Nihayatun Nafisah *et al.*, 2023)

Seiring perkembangan teknologi, sistem pengeringan berbasis *Internet of Things* (IoT) dan energi terbarukan mulai dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan kontrol proses. Teknologi IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian parameter seperti suhu dan kelembapan secara real-time sehingga proses pengeringan menjadi lebih stabil dan terkontrol (Foedinatha and Hartanto, 2022) Selain itu, pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif dinilai mampu mendukung keberlanjutan dan kemandirian energi, khususnya di daerah dengan keterbatasan pasokan listrik (Suherman *et al.*, 2020).

Meskipun demikian, penelitian sebelumnya umumnya masih menggunakan sumber energi tunggal, baik dari listrik PLN maupun panel surya saja, serta belum mengintegrasikan sistem monitoring real-time secara optimal. Hal ini menunjukkan adanya *research gap* berupa belum terwujudnya integrasi antara sistem energi *hybrid*, kontrol otomatis, dan monitoring berbasis IoT dalam satu sistem pengering kopi yang terpadu. Keterbatasan tersebut berdampak pada efisiensi energi yang belum maksimal serta kurangnya keandalan sistem dalam menghadapi kondisi lingkungan yang dinamis (Duwi Nofriyanti1 *et al.*, 2025)

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengering biji kopi berbasis IoT dengan sumber daya *hybrid* yang mengombinasikan panel surya dan listrik PLN. Sistem ini dilengkapi dengan *Automatic Transfer Switch* (ATS) untuk perpindahan sumber energi secara otomatis serta fitur *monitoring* dan kontrol *real-time* guna menjaga kestabilan proses pengeringan.

Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan sistem pengering kopi yang mengintegrasikan energi *hybrid*, kontrol otomatis berbasis sensor, dan *monitoring* IoT dalam satu platform terpadu. Sistem yang diusulkan diharapkan mampu meningkatkan efisiensi energi,

menjaga kestabilan parameter pengeringan, serta memberikan solusi yang lebih adaptif dan berkelanjutan dibandingkan metode konvensional maupun penelitian sebelumnya.

METODE

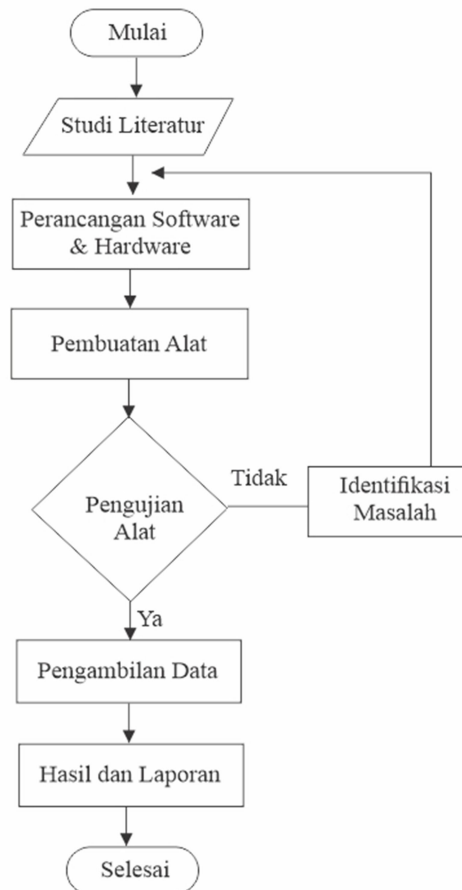
Pengeringan biji kopi secara tradisional adalah cara yang biasa digunakan oleh para petani kopi di Indonesia. Metode ini memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber panas utama untuk mengurangi jumlah air dalam biji kopi hingga mencapai tingkat kualitas yang ditentukan, biasanya sekitar 12 hingga 14%. Pengeringan dilakukan dengan cara menyebar biji kopi di atas terpal, lantai jemur, atau tempat tinggi (parapara) yang dibiarkan terkena sinar matahari langsung. Biji kopi perlu diaduk atau dibalik secara rutin agar proses pengeringannya merata dan menghindari tumbuhnya jamur atau fermentasi yang tidak diinginkan. Metode ini memakan waktu cukup lama, biasanya antara 7 sampai 14 hari, bergantung pada tingkat sinar matahari, cuaca, dan kelembapan udara (Soolany *et al.*, 2022). Ketergantungan yang besar pada kondisi alam membuat proses pengeringan tradisional mudah terganggu, misalnya karena hujan, perubahan suhu, atau kotoran seperti debu dan kuman.

Meskipun prosesnya memakan waktu, metode ini lebih hemat biaya karena tidak memerlukan listrik atau alat mekanis. Namun, kekurangannya antara lain adalah proses pengeringan yang memakan waktu lama, kualitas biji yang tidak merata, serta kemungkinan penurunan kualitas akibat kondisi lingkungan yang tidak menstabil. Metode ini masih digunakan oleh petani kecil karena caranya sederhana dan pengeluaran untuk operasionalnya tidak terlalu besar.

Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan prosedural berbasis rekayasa (*engineering prototype development*), yang meliputi tahapan identifikasi masalah, perancangan sistem, pembuatan prototipe, pengujian, serta evaluasi kinerja alat yaitu sistem pengeringan biji kopi yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). (Husain and Soasiu, 2023)

Penelitian dan pengembangan dilakukan melalui beberapa langkah, yaitu mengenali masalah, merancang sistem, membuat produk, sampai pada tahap uji coba dan penilaian. Setiap tahapan dilakukan dengan teratur agar produk yang dihasilkan tidak hanya memiliki inovasi, tetapi juga sesuai dengan keperluan pengguna serta bekerja dengan baik dan hemat waktu.

Dengan menerapkan metode penelitian dan pengembangan ini, diharapkan bisa dibuat sistem pengeringan pertanian yang lebih cocok dengan kondisi cuaca, lebih efektif dalam beroperasi, serta mendukung prinsip keberlanjutan. Alur proses penelitian yang dilakukan oleh peneliti disajikan dalam bentuk diagram alur di bagian berikut ini.



Gambar 1 Flowchart Tahapan Penelitian

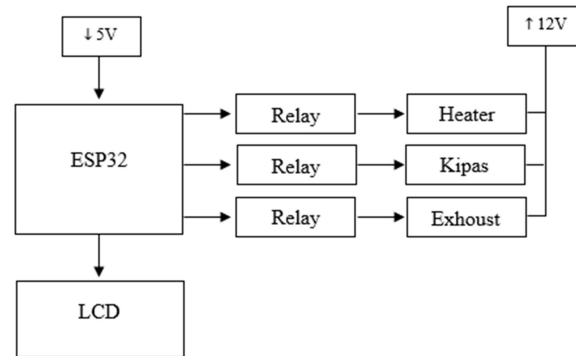
Dalam penelitian ini, dibuat alat pengering biji kopi yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). Alat ini memiliki sistem kontrol otomatis menggunakan timer dan bisa dipantau secara langsung melalui ponsel pintar. Pengumpulan data dilakukan dengan menguji alat selama sekitar satu bulan, terutama saat musim hujan, untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam kondisi lingkungan yang tidak mendukung proses pengeringan alami. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan hasil pengeringan yang dilakukan secara manual dengan pengeringan menggunakan alat khusus yang telah dirancang.

Data yang didapat dari hasil pengujian akan dianalisis untuk memahami apakah ada perbedaan nyata antara kedua metode tersebut, terutama dalam hal waktu pengeringan, stabilitas kadar air, serta kualitas hasil akhirnya. Penelitian ini juga melibatkan petani sebagai pengguna akhir, khususnya dalam hal penggunaan dan penilaian kinerja alat pengering biji kopi yang sudah dikembangkan.

Desain penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman yang jelas tentang seberapa efektif sistem pengeringan biji kopi berbasis IoT dalam konteks pertanian di Indonesia. Dengan menggunakan metode penelitian yang benar, hasil yang didapatkan diharapkan bisa berkontribusi nyata dalam memajukan teknologi pertanian yang lebih efisien, mampu menyesuaikan diri dengan kondisi cuaca, serta ramah lingkungan.

Diagram Blok

Dibawah ini adalah diagram blok sistem untuk pengeringan biji kopi berbasis Iot :



Gambar 2 Sistem Diagram Blok

Diagram blok sistem di atas menunjukkan susunan komponen yang saling terkait dalam sistem pengeringan biji kopi yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini menggunakan dua jenis energi, yaitu listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan panel surya sebagai sumber energi yang dapat diperbarui. Kedua sumber energi tersebut digabungkan melalui *power supply* yang bertugas mengatur tegangan sebelum didistribusikan ke seluruh bagian rangkaian.

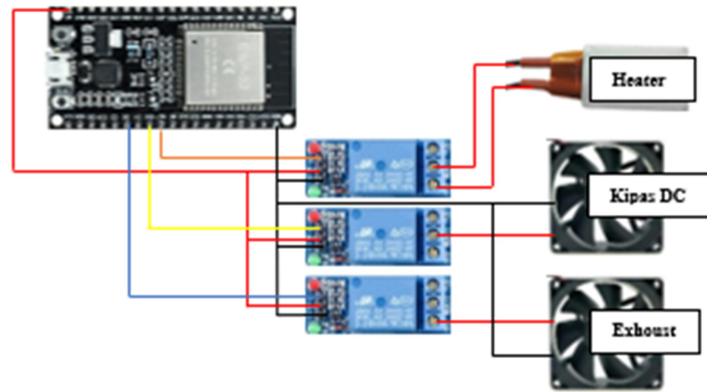
Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem yang bertugas menerima, memproses, serta mengirimkan data. ESP32 menerima input dari beberapa sensor, yaitu DHT22 yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, sensor kapasitif untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah, serta sensor HX711 yang terhubung ke *load cell* untuk mengukur berat atau perubahan massa biji kopi selama proses pengeringan.

Data dari semua sensor diproses dengan algoritma kontrol berbasis batas ambang. Berdasarkan hasil pemrosesan tersebut, ESP32 mengatur modul relay sebagai saklar elektronik. Relay pertama digunakan untuk menghidupkan atau mematikan heater ketika suhu terlalu rendah atau terlalu tinggi dibandingkan dengan nilai yang telah ditentukan. Relay kedua mengatur kipas dan exhaust agar udara bisa mengalir dengan baik, sehingga distribusi panas merata dan proses pengeringan berjalan menyeluruh. Selain itu, ESP32 mengirimkan data parameter lingkungan dan kondisi sistem ke ponsel pengguna melalui internet, sehingga pengguna dapat memantau proses secara langsung dan dari jarak jauh.

Wiring Diagram

Diagram kabel disusun sebagai pedoman teknis dalam proses menghubungkan serta menempatkan komponen sesuai dengan susunan yang telah direncanakan dalam sistem. Diagram ini menunjukkan cara hubungan antar perangkat secara rapi dan teratur, sehingga setiap bagian bisa terhubung tepat sesuai dengan bentuk rangkaian yang direncanakan.

Fungsi utama dari diagram kabel adalah membantu mempermudah cara merakit, merawat, dan memperbaiki sistem listrik. Dengan memiliki dokumentasi yang jelas dan terorganisir, risiko terjadinya kesalahan saat instalasi bisa dikurangi, serta proses mengenali dan menangani masalah bisa dilakukan dengan lebih cepat dan teratur.



Gambar 3 Wiring Diagram

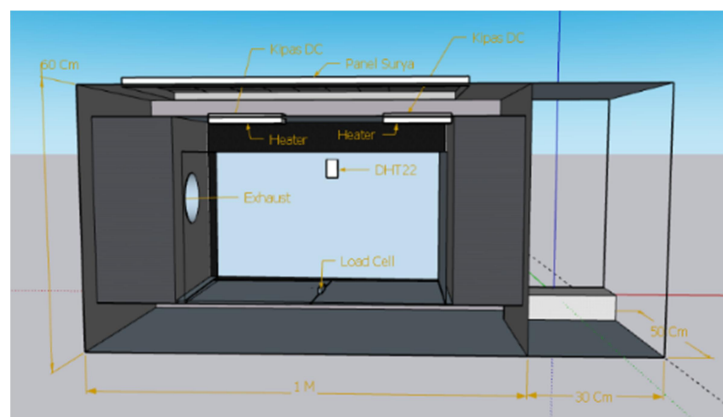
Tabel 1 Daftar Komponen

No.	Nama Komponen	Tipe / Jenis
1.	ESP	32
2.	Relay	1 Channel
3.	Heater	PTC
8.	Kipas	DC 12V

Sistem dirancang secara preventif agar dapat mengenali berbagai kemungkinan kesalahan atau masalah yang bisa terjadi pada tahap pemasangan atau saat produk hasil penelitian digunakan di lapangan. Proses ini menggunakan teori dan referensi ilmiah yang sudah dikumpulkan sebelumnya, sehingga setiap keputusan dalam desain didasarkan pada konsep yang jelas.

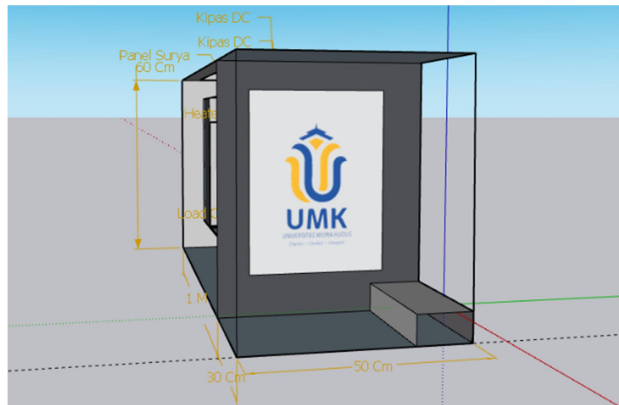
Tujuan utama membuat alat ini adalah mewujudkan sistem pengering biji kopi yang terhubung dengan fitur pemantauan dan pengendalian melalui website. Sistem yang dibuat tidak hanya fokus pada penggunaan teknologi inovatif, tetapi juga memperhatikan efisiensi dalam beroperasi, kesederhanaan dalam penggunaan, serta kemampuan bekerja dengan baik di berbagai kondisi nyata di lapangan. Dengan cara merancang yang rapi dan terorganisir, diharapkan alat yang dibuat bisa memberikan jawaban yang mudah digunakan dan cocok untuk diterapkan oleh pengguna.

Tampak Depan



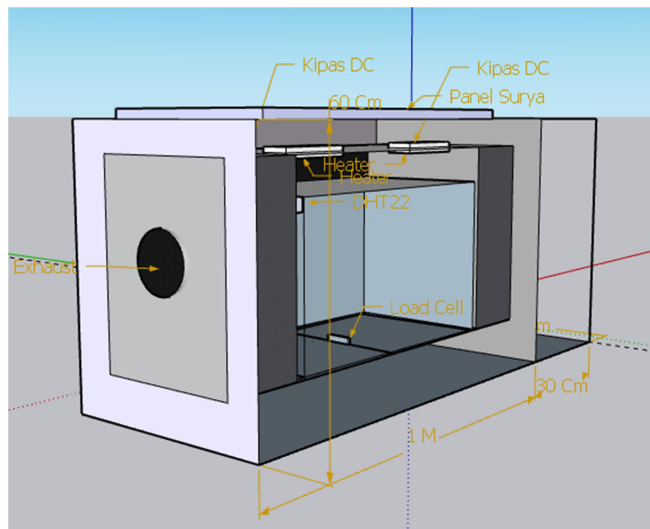
Gambar 4 Tampak Depan

Tampak Samping Kanan



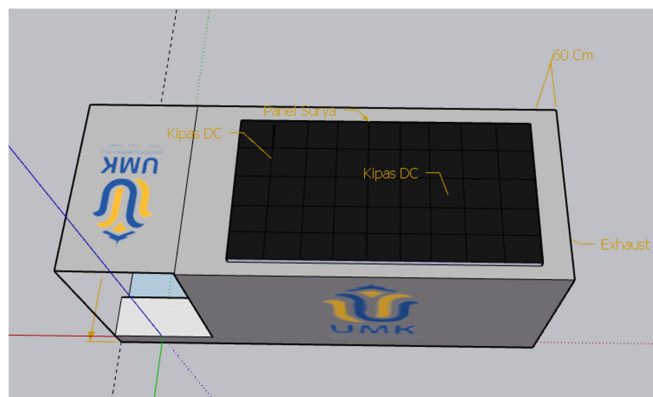
Gambar 5 Tampak Samping Kanan

Tampak Samping Kiri



Gambar 6 Tampak Samping Kiri

Tampak Atas



Gambar 7 Tampak Atas

Hasil Pengujian

Diagram alur ini menunjukkan cara sistem otomatis bekerja untuk mengatur suhu, kelembapan, dan kadar air pada mesin pengering biji kopi yang menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem tersebut dirancang dengan cara mengontrol berdasarkan batas tertentu agar parameter pengeringan tetap dalam kondisi terbaik.

Proses dimulai dengan menghidupkan sistem dan mengaktifkan semua sensor. Sensor suhu dan kelembapan, seperti DHT22, serta sensor kadar air dan berat (*load cell*) mulai membaca data lingkungan dan kondisi biji kopi. Data yang didapat kemudian diirim ke mikrokontroler untuk diproses.

Langkah berikutnya adalah proses membuat keputusan berdasarkan nilai parameter yang telah diukur.

1. Kontrol Suhu

- ✓ Jika suhu kurang dari 40 derajat Celsius, sistem akan menghidupkan heater agar suhu meningkat.
- ✓ Jika suhu lebih dari 60 derajat Celsius, heater akan dimatikan agar tidak terjadi kepanasan berlebih dan suhu tetap stabil.

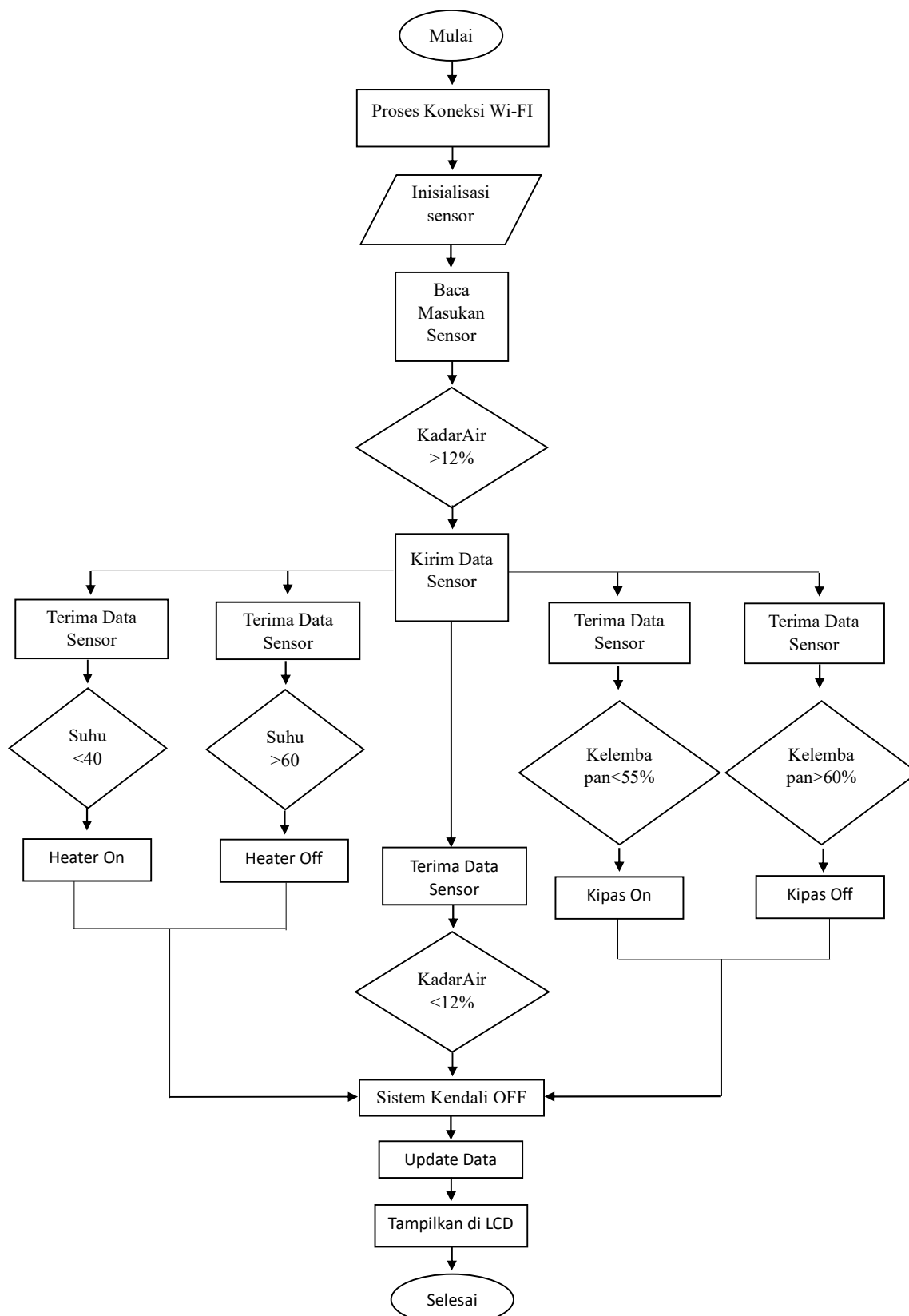
2. Kontrol Kelembapan

- ✓ Jika kelembapan kurang dari 55%, kipas akan dinyalakan untuk membantu mengalirkan udara dan menjaga kondisi ruangan pengering tetap seimbang.
- ✓ Jika tingkat kelembapan di atas 60 persen, kipas akan dimatikan agar kondisi tidak berubah secara tidak diinginkan.

3. Kontrol Kadar Air Biji Kopi

- ✓ Sistem terus-menerus mengawasi tingkat air pada biji kopi. Saat kadar air mencapai 12%, sistem akan berhenti secara otomatis, yang menunjukkan bahwa standar kualitas telah terpenuhi. Setelah seluruh parameter dikendalikan sesuai kondisi aktual, data terbaru diperbarui dan ditampilkan pada layar LCD sebagai media pemantauan langsung. Selain itu, sistem juga dapat mengirimkan data ke perangkat pengguna melalui jaringan internet untuk monitoring jarak jauh. (Sitepu and Adisetnya, 2024)

Sistem ini beroperasi secara berulang (*looping system*) sehingga proses pengawasan dan pengendalian berlangsung secara kontinu. Dengan mekanisme tersebut, kestabilan suhu, kelembapan, dan kadar air dapat dipertahankan dalam batas yang diinginkan guna menjamin kualitas hasil pengeringan biji kopi.



Gambar 8 Flowchart Sistem Pengering Kopi

Hasil Dan Pembahasan

Hasil alat yang di buat

Hasil dari merancang dan membuat alat tersebut sudah berhasil dikerjakan dan digunakan langsung di lapangan. Sistem pengering biji kopi yang dikembangkan sudah menjalani uji coba di bulan Februari untuk mengetahui sejauh mana kinerjanya, apakah stabil, dan seberapa baik operasionalnya bekerja.

Pengujian dilakukan dengan mencatat semua bagian alat, mulai dari tampilan keseluruhan sistem, susunan komponen, hingga kondisi penerapan di tempat digunakan. Foto-foto yang diambil tersebut bertujuan untuk menunjukkan secara visual bagaimana alat tersebut diimplementasikan secara menyeluruh, sehingga dapat memperkuat kebenaran hasil penelitian dan menampilkan sejauh mana desain yang dibuat sesuai dengan bentuk nyata produk di lapangan.

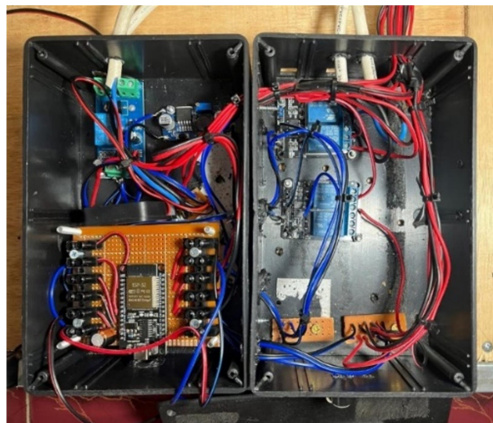
Berikut Sistem koponen yang ada pada alat pengering biji kopi terdiri dari

1. Panel Surya 50 Wp
2. Baterai aki 12V 60Ah
3. Sensor DHT22
4. Sensor *Capasitive Soil Moisture*
5. Sensor *Load Cell*
6. *Heater* 220VAC
7. *Fan Speed* kipas DC 12V

Hasil Penerapan Komponen :



Gambar 9 Penerapan hasil alat

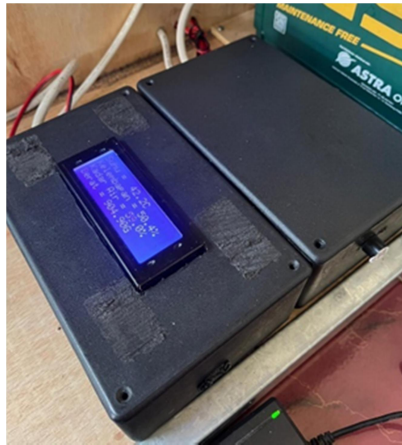


Gambar 10 Penerapan Server

Instalasi Pemasangan

Pada bagian ini dijelaskan langkah-langkah instalasi dan pemasangan alat pengering kopi yang sudah dikembangkan berdasarkan desain yang sebelumnya sudah mengalami beberapa perubahan. Proses pemasangan dilakukan dengan hati-hati dan teratur agar semua bagian terinstal sesuai dengan desain teknis, sehingga bisa mendukung kelancaran penggunaan perangkat di lapangan.

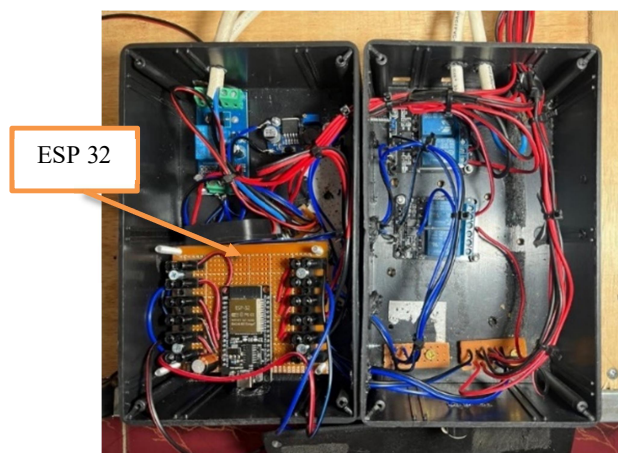
Tahap pemasangan mencakup pengaturan bagian server yang bertugas sebagai pusat pengendalian sistem pengeringan. Server ini bertugas mengelola data yang masuk dari sensor, memproses informasi mengenai suhu, kelembapan, dan kadar air, serta mengirimkan instruksi ke aktuator berdasarkan logika sistem yang sudah diatur. Dengan mengintegrasikan server sebagai pusat pengendalian, proses pengeringan bisa diawasi dan diatur dengan lebih rapi, tepat, serta secara langsung dalam waktu nyata. Berikut ada box server



Gambar 11 Box Server

Server dalam sistem ini bertindak sebagai pusat penyimpanan data dan juga sebagai pengendali utama yang mengatur serta mengirimkan instruksi kerja berdasarkan informasi yang diterimanya. Server menerima data tentang kondisi lingkungan dan keadaan sistem, lalu memproses data tersebut berdasarkan algoritma pengendalian yang sudah ditentukan. Selanjutnya, perintah yang telah dibuat akan dikirim ke mikrokontroler utama, yaitu ESP32-WROOM-32U, untuk dijalankan langsung. Modul itu berfungsi sebagai unit pengolah yang mengatur sensor dan aktuator, sehingga sistem pengeringan bisa berjalan secara otomatis dan terpadu sesuai dengan perintah yang diberikan oleh server. Berikut gambaran dan penempatan pengkabelan di dalam box:

1. Esp32



Gambar 12 Esp32

Komponen ESP32-WROOM-32U berfungsi sebagai mikrokontroler utama dalam sistem pengeringan kopi yang terpasang di dalam kotak kontrol. Modul ini berfungsi sebagai pusat yang memproses data, menerima masukan dari berbagai sensor, lalu mengolahnya berdasarkan algoritma kontrol yang sudah diatur. Selain itu, ESP32 juga digunakan untuk mengatur perangkat eksternal seperti pemanas, kipas, dan relay, agar proses pengeringan bisa diatur sesuai dengan parameter suhu, kelembapan, dan durasi waktu yang sudah ditentukan. Dengan kemampuan berkomunikasi secara nirkabel, mikrokontroler ini memungkinkan sistem beroperasi secara otomatis, terjadwal, dan terhubung dengan sistem pemantauan yang menggunakan jaringan.

2. Panel Surya



Gambar 13 Panel Surya

Panel surya ditempatkan dengan cara menggabungkannya ke dalam struktur utama sistem sebagai bagian dari rangkaian sumber tenaga. Panel surya dengan kapasitas 50 WP digunakan untuk memberikan energi kepada sistem pengendali, sehingga alat bisa beroperasi sendiri tanpa ketergantungan pada listrik biasa, terutama di lokasi yang sulit dijangkau listrik konvensional. Panel surya dipasang dan ditempatkan di bagian atas alat agar bisa mendapatkan

paparan sinar matahari dengan seoptimal mungkin. Posisi tersebut juga diatur sesuai dengan desain mekanik sistem agar struktur tetap stabil, instalasi tetap aman, dan energi bisa diserap dengan efisien selama proses pengeringan berlangsung. (Rifaldi *et al.*, 2023)

3. Aki 12V



Gambar 14 Pemaangan Aki

Aki ditempatkan di dalam rangkaian utama sistem dan diletakkan di bagian bawah panel surya agar proses pemasangan tetap efisien serta memudahkan koneksi langsung ke *Solar Charge Controller* (SCC) yang berada di dekat kotak kontrol. Konfigurasi ini dibuat agar mengurangi panjang kabel, meminimalkan risiko kerugian energi, dan meningkatkan kinerja distribusi listrik pada sistem. Selain itu, aki juga dilengkapi dengan tutup berbahan seng yang berfungsi untuk melindungi dari paparan air hujan serta kondisi lingkungan di luar. Perlindungan ini bertujuan mencegah terjadinya korsleting atau gangguan pada aliran listrik, sehingga sistem kelistrikan tetap aman dan bisa diandalkan selama proses kerja berlangsung. (Wijayanto *et al.*, 2022)

Pengujian Alat

Pada tahap ini, sistem diuji berdasarkan konsep sistem hybrid, yaitu gabungan antara energi dari panel surya, penyimpanan dalam aki DC, dan suplai daya AC. Pengujian ini dilakukan untuk melihat bagaimana sistem berjalan dalam berbagai situasi kerja, serta mengukur sejauh mana daya didistribusikan secara stabil dan efektif pada alat pengering kopi yang sudah dibuat.

Setiap jenis uji dilakukan secara terpisah agar mendapatkan informasi yang lengkap. Data hasil pengujian dikumpulkan lalu disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar memudahkan analisis mengenai performa sistem, termasuk konsumsi daya, kestabilan tegangan, serta efektivitas proses pengeringan. Pengujian dilakukan sebagai contoh awal untuk menilai sejauh mana alat tersebut berhasil diimplementasikan. Rentang waktu tersebut dipilih agar bisa melihat performa sistem secara wajar dalam kondisi kerja sehari-hari. Hasil pengujian tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengetahui sejauh mana keberhasilan serta kualitas alat pengering kopi yang telah dibuat dan diterapkan.

Perhitungan rumus untuk mendapatkan hasil pengujian :

Hubungan tegangan (V), Arus (I), dan Daya (P)

$$P = V \times I$$

Keterangan

P = Daya Listrik (*Watt*)

V = Tegangan Listrik (*Volt*)

I = Arus Listrik (*Ampere*)

(Chandra, 2022)

Berikut hasil pengujian penggunaan listrik 220VAC ke DC 12V dengan beroperasi selama 1 jam,10 menit :

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Penggunaan Listrik 220VAC ke DC 12V

Komponen	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Operasi Waktu	Energi (Wh)
ESP32 WROOM 32U	3.3V	0.64A	2.11W	1 jam 10 menit	23.210 Wh
LCD i2c 4x20	5V	0.05A	0,25 W	1 jam 10 menit	27,5 Wh
<i>Capacitive Soil Sensor</i>	5V	0,2A	1 W	1 jam 10 menit	110 Wh
Sensor Dht22	5V	0.0015A	0,0075W	1 jam 10 menit	0.825 Wh
Sensor <i>Load Cell</i>	5V	0,01A	0,05 W	1 jam 10 menit	5.5 Wh
<i>Heater 220V</i>	219 V	1 A	40 W	1 jam 10 menit	4.400 Wh
<i>High Speed DC</i>	12 V	0.17 A	2.04 W	1 jam 10 menit	224.4 Wh
Total konsumsi per hari	-	-	-	-	415.835 Wh

Pada pengujian penggunaan panel surya dengan aki ini dilakukan dengan kesesuaian data hari jam dengan nilai rata-rata 1 detik

Perhitungam ketahanan sistem dengan listrik 220VAC ke *Power Supply* 12V

a. Data konsumsi dan kapasitas

- Total konsumsi daya sistem perhari = 415.835 Wh
- Aki 12V 3A memiliki kapasitas total $12V \times 3A = 36 \text{ Wh}$
- Power Supplay 36W menghasilkan energi per hari
- Energi yang tetap di ambil dari power supplay $415.835\text{Wh} - 36 \text{ Wh} = 379.835 \text{ Wh/hari}$

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Penggunaan Panel Surya Dengan Aki (DC)

Komponen	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Operasi Waktu	Energi (Wh)
ESP32 WROOM 32U	3.3 V	0.64 A	2.11W	1 jam 10 menit	23.210 Wh
LCD i2c 4x20	5 V	0.05V	0,025	1 jam 10 menit	27,5 Wh
<i>Capacitive Soil Sensor</i>	5 V	0.2A	1W	1 jam 10 menit	110 Wh

Sensor Dht22	5 V	0.0015A	0.0075	1 jam 10 menit	0.825 Wh
Sensor <i>Load Cell</i>	5 V	0,01 V	0.05	1 jam 10 menit	5.5 Wh
<i>Heater 220V</i>	218 V	1 A	40 W	1 jam 10 menit	4.400 Wh
<i>High Speed DC</i>	12V	0.17 A	2.04 W	1 jam 10 menit	22.44 W
Total konsumsi per hari	-	-	-	-	415.835 Wh

Pada pengujian penggunaan panel surya dengan aki ini dilakukan dengan kesesuaian data hari jam dengan nilai rata-rata 1 detik

Perhitungan ketahanan sistem dengan panel surya 50W dan Aki kering 12V 60Ah

- a. Data konsumsi dan kapasitas
 - Total konsumsi daya sistem perhari = 415.835 Wh
 - Aki 12V 60Ah memiliki kapasitas total $12V \times 60Ah = 720 \text{ Wh}$
 - Panel surya 50W menghasilkan energi per hari (dengan asumsi 7 jam sinar matahari efektif): $50W \times 7 \text{ jam} = 350Wh/hari$
- b. Perhitungan Lama Bertahan Aki dengan Panel Surya

Energi yang tetap di ambil dari aki setelah dibantu panel surya $415.835 - 720Wh = 304.165 \text{ Wh/hari}$.

Tabel 4. 2 Ketahanan Aki Berdasarkan *Depth Of Discharge (DoD)*

Kapasitas Aki	Tanpa Panel Surya	Dengan Panel Surya 50W
100% DoD (720Wh)	5 Hari	10 Hari
50% DoD (360Wh)	2.5 Hari	5 Hari

Tanpa panel surya, aki 12V 60Ah bertahan 2.5 hari (50% DoD) atau 5 hari (100% DoD). Dengan panel surya 50Wp, aki bertahan lebih lama 10 hari (~5 hari 120 jam) dengan 50% Dod 10 hari dengan 100% DoD (menggunakan seluruh kapasitas aki, tapi bisa memperpendek umur aki).

Kesimpulan Perhitungan Daya dan Konsumsi Energi

1. Total Konsumsi energi Per Hari
 - Sistem mengonsumsi 415.835 Wh per hari
 - Jika menggunakan aki 12V 60Ah (720Wh) tanpa panel surya : 100%

Dod : 5 hari, 50% DoD (Agar aki lebih awet) 2.5 hari

Jika ditambahkan panel surya 50W, yang menyuplai 350Wh/hari :

Beban aki berkurang menjadi 304.165 Wh/hari, 50% DoD 5 hari 100% DoD 10 hari

2. Kesimpulan Pemakaian Aki
 - Tanpa panel surya, aki bertahan lebih singkat
 - Dengan panel surya 50 w, sistem lebih efisien dan aki bisa bertahan lebih lama.
 - Penggunaan aki di bawah 50% DoD di sarankan untuk memperpanjang umur aki

Dengan panel surya 50Wp, aki 12V 60Ah akan enuh dalam sekitar 72 jam cuaca cerah penuh. Jika matahari hanya bersinar efektif 5 jam per hari, maka butuh sekitar 3-4 hari untuk pengisian penuh, jika ada konsumsi listrik saat pengisian waktu akan lebih lama. (Asnawi and Gunawan, 2025)

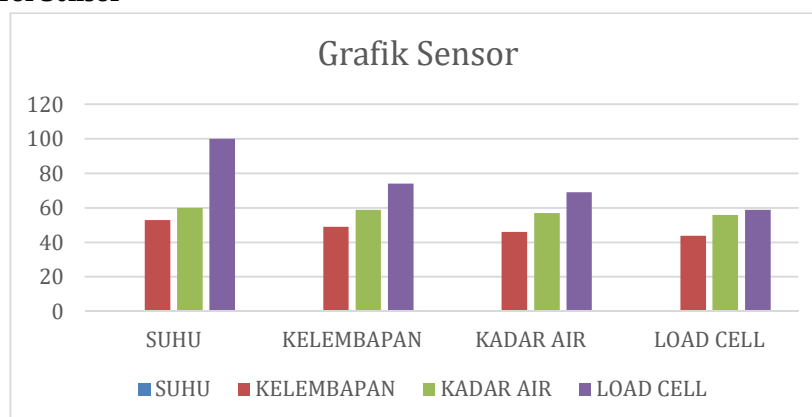
Tabel 4. 4 Pengujian Kontrol Sensor

No	Waktu (Menit)	Suhu (°C)	Kelembapan (Ruang)	Kadar Air (%)	Load Cell (Gram)
1	14.00	41.50	53	60	923.87
2	14.10	42.40	50	60	884.21
3	14.20	42.10	49	61	753.42
4	14.30	42.80	49	59	742.42
5	14.40	43.70	47	59	737.08
6	14.50	43.80	47	58	728.72
7	15.00	44.10	46	57	699.42
8	15.10	44.30	45	57	660.55
9	15.20	44.30	45	57	624.61
10	15.30	44.40	44	56	597.25
11	15.40	44.30	43	54	575.82
12	15.50	44.30	43	53	551.30
13	16.00	44.50	43	52	537.07
14	16.10	44.50	42	51	526.44
15	16.20	43.60	43	51	499.63

(Abdul, Erlangga and Hariyanto, 2022)

Note : di ambil dari data real time pengujian

Grafik Kontrol Sensor



(Fatkhurrozi and Setiawan, 2024)

Implementasi di lapangan

Pengujian alat di lapangan di lakukan untuk mengetahui kinerja tiap komponen pada alat pengering kopi ini agar sesuai yang di harapkan dalam penelitian ini.

Pegujian pengeringan monitoring dan kontrol

Pada bagian meliputi pengujian pengeringan dengan Esp32, pengeringan di lakukan selama 150 Menit, 2 jam lebih 20 menit, pengeringan yang di uji adalah biji kopi, data pengujian

di dapat dari pengujian keberhasilan pemupukan diantara lain yaitu LCD akan menampilkan bagian pemupukan selama proses pengeringan selesai dan di akhiri dengan alarm.

Tujuan pengujian alat ini adalah untuk memastikan bahwa sistem dapat beroperasi secara *real-time* dengan akurat dan responsif keakuratan data sehingga pengeringan dapat berhasil. Pengujian juga mengevaluasi kinerja relay dalam mengontrol kipas dan *heater* untuk pengeringan Berdasarkan pembacaan senso serta memverifikasi keandalan tampilan data pada LCD I2C.

Tabel 4. 6 Pengujian pengeringan monitoring dan kontrol biji kopi

No	Kontrol			Keterangan
	LCD	Uji	Kondisi	
1.	Hidup	Sensor <i>Load Cell</i>	ON	Berhasil
		Sensor DHT22	ON	
		Sensor Soil	ON	
		Relay <i>Heater</i>	ON	
		Relay kipas 1	ON	
		Relay kipas 2	ON	
		Relay <i>Exhaust</i>	ON	

Pada pengujian diatas, pengujian biji kopi ini di lakukan di dalam alat dengan mengevaluasi pengeringan kopi. Keberhasilan proses pengeringan ini dapat di lihat dari LCD.

Menggabungkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dengan sumber energi surya dalam sistem pengeringan biji kopi memberikan beberapa manfaat besar dari segi ilmu pengetahuan dan teknologi

Meningkatkan Efisiensi Energi

Menggunakan energi matahari sebagai sumber tenaga utama memungkinkan sistem bekerja sendiri tanpa harus bergantung sepenuhnya pada listrik yang berasal dari jaringan PLN. Dengan menggabungkan IoT, penggunaan daya bisa diatur dengan baik, seperti mematikan heater atau kipas ketika tidak dibutuhkan, sehingga penggunaan energi bisa ditekan.

Menjaga Kestabilan Suhu

Sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 itu memantau suhu dan kelembapan secara langsung, lalu mematikan atau menghidupkan alat pemanas atau kipas sesuai dengan batas yang sudah ditentukan. Dengan fitur kontrol otomatis ini, suhu dan kelembapan di dalam ruang pengering selalu dijaga agar tetap dalam batas yang tepat, sehingga kualitas biji kopi tetap seragam.

Memungkinkan Monitoring *Real-Time*

Integrasi IoT memungkinkan data tentang suhu, kelembapan, dan kadar air biji kopi langsung dikirim ke perangkat digital seperti smartphone atau komputer. Petani atau operator bisa mengawasi proses pengeringan dari jauh, mengambil tindakan jika ada masalah, dan menerima informasi tentang kondisi sistem secara langsung. Hal ini membuat operasi lebih efektif dan mengurangi risiko pengeringan gagal karena kesalahan tangan atau cuaca yang tidak menentu.

Secara umum, menggabungkan IoT dengan energi surya dalam sistem pengeringan kopi tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan energi, tetapi juga memudahkan pengawasan kualitas serta pengelolaan operasional di lapangan. (Asyiva Nurbaeti and Mila Kusumawardani, 2021)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem pengering biji kopi berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan sumber energi *hybrid* berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Integrasi panel surya dan listrik PLN mampu mengurangi penggunaan energi dari sumber utama serta meningkatkan durasi operasional sistem. Selain itu, sistem mampu menjaga kestabilan suhu pengeringan dan menunjukkan penurunan massa biji kopi secara bertahap hingga mencapai kondisi kering, sehingga proses pengeringan dapat berjalan secara efektif. Dengan demikian, sistem ini berpotensi untuk diterapkan secara luas oleh petani dalam meningkatkan efisiensi energi dan kualitas hasil pascapanen. Namun, untuk pengembangan lebih lanjut, diperlukan beberapa penyempurnaan, antara lain penambahan sensor kadar air khusus agar hasil pengeringan lebih akurat, peningkatan kapasitas alat untuk skala produksi yang lebih besar, optimalisasi kapasitas panel surya dan baterai guna memperpanjang waktu operasional, serta penambahan fitur notifikasi otomatis sebagai sistem peringatan dini apabila terjadi gangguan pada sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, F., Erlangga, G. and Hariyanto, N. (2022) 'PLTS Untuk Pengering Biji Kopi Berkapasitas 1 kg', X(X), pp. 1–11.
- Asnawi, I.M. and Gunawan, B. (2025) 'IMPLEMENTASI SISTEM PEMUPUKAN OTOMATIS BERDASARKAN TIMER BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN SUPPLY DAYA PANEL SURYA 20WP', 5(1), pp. 158–177.
- Asyiva Nurbaeti, Mila Kusumawardani, H.D. (2021) 'Rancang Bangun Alat Pengering Biji Kopi Berbasis Internet Of Things', 11(2), pp. 74–80.
- Chandra, Y. (2022) 'Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk Akuaponik', 1(1), pp. 19–24. Available at: <https://doi.org/10.58466/entries>.
- Duwi Nofriyanti¹, Ade Silvia Handayani^{2*}, Suroso³, Leni Novianti⁴, M AriefRakhman⁵, A. (2025) 'Web-Based Monitoring System for Automatic Coffee Drying in a Smart Dryer Dome', 6(2), pp. 422–433. Available at: <https://doi.org/10.59395/ijadis.v6i2.1416>.
- Fatkhurrozi, B. and Setiawan, H.T. (2024) 'Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Udara untuk Ruangan Pengering Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler Implementation of Fuzzy Logic in a Microcontroller-Based Air Temperature and Humidity Control System for Coffee Bean Drying Room', 8275, pp. 50–59.
- Foedinatha, B. and Hartanto, D.D. (2022) 'Perancangan Aplikasi sebagai Wadah Penggemar Kopi di Indonesia', 5(2), pp. 38–51.
- Husain, N.P. and Soasiu, M. (2023) 'Rancang Bangun Alat Pengering Dan Pengupas Kulit Kacang Hijau Menggunakan Arduino Uno Dan Sensor Termocouple', 4(2), pp. 154–163.
- Nihayatun Nafisah, Ika Noer Syamsiana, , Wijaya Kusuma, Ratna Ika Putri¹, A.D.W.S. (2023) 'Analisa Perbandingan Pengaturan Suhu Berbasis Logika Fuzzy Interferensi Sugeno dan Mamdani pada Alat Pengering Biji Kopi Comparative', 6(November), pp. 272–288.
- Putra, F.R., Elvanny, D. and Islami, S. (2023) 'Rancang Bangun Sistem Pengontrol Alat Pengering Kopi Berbasis Internet Of Things (IoT)', 4(1), pp. 190–201.
- Rifaldi, M. *et al.* (2023) 'Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan', 1(1), pp. 16–24.
- Sitepu, Y.G. and Adisetya, E. (2024) 'Analisis Mutu Kopi Arabika (Coffea arabika L .) dengan Metode Honey Process', 2, pp. 830–836.
- Soolany, C. *et al.* (2022) 'Disain pengering biji kopi berenergi limbah biomassa pertanian untuk

- meningkatkan kualitas biji kopi 1', M(September 2021), pp. 29–34.
- Suherman, S. *et al.* (2020) 'Analisis Energi Pengering Surya Hibrida untuk Pengeringan Kopi Kacang', 9(1), pp. 131–139.
- Wijayanto, D. *et al.* (2022) 'Rancang Bangun Monitoring Arus dan Tegangan Pada PLTS Sistem On Grid Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram Rancang Bangun Monitoring Arus dan Tegangan Pada PLTS Sistem On Grid Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Api', pp. 447–453.
- Wildan, A. *et al.* (2024) 'Keunggulan Komparatif Ekspor Kopi di Indonesia', 2(1), pp. 110–123.