



## Perancangan Sistem Pengering Biji Kopi Hybrid Berbasis IoT Dengan Sistem Monitoring Web Real - Time

Sayid Maulana<sup>1</sup>, Budi Gunawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Electrical Engineering Department, Universitas Muria Kudus, Kudus, Indonesia

\* Corresponding author email: [202252010@std.umk.ac.id](mailto:202252010@std.umk.ac.id)

### Article Info

#### Article history:

Received February 15, 2026  
Approved March 12, 2026

#### Keywords:

Coffee Bean Dryer, Hybrid System, IoT, ESP32, Real-Time Monitoring.

#### ABSTRACT

*This study aims to design and implement a hybrid coffee bean drying system based on the Internet of Things (IoT) with real-time web monitoring to improve the efficiency and stability of post-harvest drying. The system utilizes an ESP32 integrated with a DHT22 sensor, a moisture sensor, and a load cell to monitor environmental conditions and mass changes during drying, with data transmitted via Wi-Fi to a web dashboard with a delay of 5 seconds. The novelty of this study lies in the integration of a hybrid drying system with multi-parameter monitoring based on IoT within a single integrated platform. Experimental results show that the temperature can be maintained at 43–50 °C with a deviation of  $\pm 1.5$  °C, sensor accuracy of  $\pm 0.5$  °C for temperature and  $\pm 2\%$  RH for humidity, and a load cell error of  $\pm 1$ – $2\%$ , with a system response time of less than 5 seconds. The drying process reduces moisture content from 55% to 12% within 18–24 hours, demonstrating that the system operates effectively, stably, and responsively in improving coffee post-harvest quality.*

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pengering biji kopi hybrid berbasis Internet of Things (IoT) dengan monitoring web real-time untuk meningkatkan efisiensi dan kestabilan proses pengeringan pascapanen. Sistem menggunakan ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DHT22, sensor kadar air, dan load cell untuk memantau kondisi dan perubahan massa selama pengeringan, dengan data dikirim melalui Wi-Fi ke dashboard web dengan delay 5 detik. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pengering hybrid dengan pemantauan multi-parameter berbasis IoT dalam satu sistem terintegrasi. Hasil pengujian menunjukkan suhu dapat dijaga pada 43–50 °C dengan deviasi  $\pm 1,5$  °C, akurasi sensor suhu  $\pm 0,5$  °C dan kelembapan  $\pm 2\%$  RH, serta error load cell  $\pm 1$ – $2\%$ , dengan waktu respon sistem kurang dari 5 detik. Proses pengeringan mampu menurunkan kadar air dari 55% menjadi 12% dalam 18–24 jam, yang menunjukkan bahwa sistem bekerja secara efektif, stabil, dan responsif dalam mendukung peningkatan kualitas pascapanen kopi.

Copyright © 2026, The Author(s).

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



**How to cite:** Maulana, S., & Gunawan, B. (2026). Perancangan Sistem Pengering Biji Kopi Hybrid Berbasis IoT Dengan Sistem Monitoring Web Real - Time . *Jurnal Ilmiah Global Education*, 7(2), 1161–1179. <https://doi.org/10.55681/jige.v7i2.5906>

## PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan tahap kritis dalam penanganan pascapanen kopi yang menentukan kadar air akhir, stabilitas mutu, serta kualitas sensori produk. Metode tradisional yang mengandalkan sinar matahari masih memiliki berbagai keterbatasan, antara lain ketergantungan terhadap kondisi cuaca, waktu pengeringan yang tidak menentu, serta kurangnya pengendalian terhadap suhu dan kelembapan, sehingga menghasilkan kualitas pengeringan yang kurang konsisten. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk melakukan pemantauan dan pengendalian proses pengeringan secara real-time melalui jaringan internet. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pengering kopi berbasis mikrokontroler dengan fitur pemantauan jarak jauh, namun umumnya masih terbatas pada sistem non-hybrid dan belum mengintegrasikan pemantauan multi-parameter berbasis web secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pengering biji kopi hybrid berbasis IoT dengan monitoring web real-time, serta mengevaluasi kinerjanya berdasarkan parameter kestabilan suhu, penurunan kadar air, dan perubahan massa selama proses pengeringan. Pengembangan sistem ini diharapkan mampu menghasilkan proses pengeringan yang lebih terkontrol, konsisten, dan efisien, sehingga dapat meningkatkan kualitas biji kopi serta nilai ekonominya. (Nofriyanti *et al.*, 2025)

Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi untuk memantau parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan secara real-time. Ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian proses pengeringan dari jarak jauh melalui antarmuka daring yang dikenal sebagai web monitoring. (Noer *et al.*, 2024)

Selain itu, dikembangkan mesin pengering kopi otomatis berbasis Arduino Uno yang dapat memantau suhu dan kelembapan dari jarak jauh, yang merupakan faktor penting dalam proses pengeringan kopi. Upaya lain terhadap sistem kontrol IoT pada mesin pengering kopi menunjukkan penggunaan monitoring real-time untuk kondisi mesin, yang membantu petani dan operator mengetahui status proses pengeringan kapan saja melalui koneksi internet, sehingga risiko kerusakan produk berkurang. (Pambudi *et al.*, no date)

Berdasarkan standar SNI 01-2907-2008, setelah biji kopi dipanen, mereka harus diproses secara pascapanen. Pengeringan adalah metode pascapanen. Metode tradisional, yang dilakukan secara manual atau tradisional, memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah waktu pengeringan yang lama dan ketergantungan pada cuaca. Dengan mempertimbangkan beberapa kekurangan pengeringan biji kopi secara tradisional, perlu dilakukan upaya untuk mengatasi masalah ini dengan menggunakan mesin pengering sebagai metode pengeringan biji kopi. Pengeringan mekanis dengan udara yang dipanaskan hingga 50°C menghasilkan kopi yang lebih baik daripada pengeringan menggunakan sinar matahari langsung, dengan karakter kimia dan fisik kopi yang lebih terjaga. Pengeringan mekanis juga menghasilkan biji kopi dengan kualitas yang lebih baik daripada pengeringan menggunakan sinar matahari langsung. (Nihayatun Nafisah *et al.*, 2023)

Dalam bidang pertanian, istilah "pasca panen" mengacu pada berbagai tindakan atau perlakuan yang dilakukan terhadap hasil pertanian setelah panen sampai di tangan konsumen. Pasca produksi (postproduction) dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu pasca panen dan pengolahan. Penanganan pascapanen, yang juga disebut sebagai pengolahan primer (*primary processing*), mencakup semua perlakuan mulai panen hingga komoditas dapat dikonsumsi "segar" atau disiapkan untuk pengolahan berikutnya. Pengolahan kedua (*secondary processing*) mencakup tindakan pada komoditas sampai tujuan akhir. Pengolahan industri dan pangan termasuk dalamnya. (Emmia Tambarta Kembaren, 2021)

Proses pascapanen kopi sangat berpengaruh pada kualitas dan nilai kopi yang diproduksi. Proses ini harus diutamakan selama proses produksi karena menentukan kualitas kopi yang diproduksi, karena pelanggan akan memilih kopi berkualitas tinggi. Hanya buah yang telah masak melalui pengolahan yang tepat yang dapat menghasilkan kopi berkualitas tinggi. Buah kopi harus diolah secepat mungkin. Kopi mudah rusak, mengubah rasanya. Setelah buah kopi dilumas dengan pulper, lapisan kulit terluar dikeluarkan. Setelah itu, biji kopi difermentasikan dengan air selama satu atau dua hari dengan lendir yang disebut mucilage. Setelah itu, lendir dicuci dari biji dan dikeringkan. Diolah secara basah biasanya menghasilkan seduhan yang bersih, rasa yang lebih jernih, dan aroma yang lebih kuat..(Tri Budiarto, Leo Ayun, 2023)

Hasil observasi langsung yang dilakukan sebelum penelitian di kebun kopi menunjukkan bahwa tidak semua kopi yang dihasilkan petani memiliki kualitas yang baik. Ini disebabkan oleh fakta bahwa sebagian petani memetik buah yang masih berwarna hijau selama proses panen, yang menunjukkan bahwa buah itu belum matang dan siap dipetik. Petani melakukan ini untuk menambah berat kopi yang mereka jual, tanpa memperhatikan apakah kopi itu matang atau tidak. Banyak biji kopi yang dihasilkan setelah panen mengalami cacat, yang memerlukan pemilihan ulang antara biji berkualitas tinggi dan yang buruk. Namun, kebanyakan petani tidak memperhatikan hal ini dan terus menggunakan biji yang cacat untuk diolah dan dibakar.(Maleachi and Christianus, 2024)

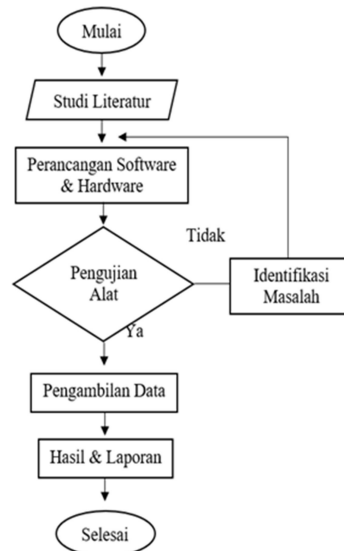
Untuk mempermudah proses pengeringan biji kopi sekaligus meningkatkan kualitas hasil akhirnya, penulis merancang alat pengering yang mengintegrasikan mikrokontroler dan teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan konektivitas Wi-Fi yang berfungsi sebagai pusat kendali sekaligus memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui aplikasi web. Pemanfaatan mikrokontroler memungkinkan proses pengeringan berlangsung secara otomatis dengan pengaturan suhu dan kelembapan yang lebih akurat. Integrasi teknologi IoT mendukung konektivitas antarperangkat, sehingga data suhu dan kelembapan dapat dipantau secara real-time melalui perangkat seluler. Data ini juga dapat dianalisis untuk memastikan kondisi pengeringan tetap berada dalam batas optimal. Dengan rancangan ini, proses pengeringan diharapkan menjadi lebih efisien dalam hal waktu dan hasil, serta menghasilkan biji kopi dengan kualitas yang lebih konsisten. Oleh karena itu, tujuan dari proyek akhir ini adalah menghasilkan alat pengering biji kopi berbasis mikrokontroler dan IoT yang mampu memantau serta mengatur kondisi suhu dan kelembapan secara otomatis dan *real-time* guna mendukung mutu hasil pengeringan yang optimal. Di antara polifenol yang ditemukan dalam biji kopi adalah asam kafeat, asam klorogenat, asam feurat, asam sinapat, dan asam koumarat. Asam klorogenat adalah senyawa kimia dengan tingkat antioksidan tertinggi dalam biji kopi, yang dianggap dapat mengobati masalah tidur, epilepsi, dan hiperaktivitas. Dua jenis kopi umum di Indonesia adalah Arabika dan Robusta. Kedua jenis ini mengandung senyawa aktif tinggi seperti asam quinolinat, asam pirogalat, asam tanat, trigonelin, asam nikotinat, dan terutama kafein.(Novianti, Rahayuniati and Suroto, 2023)

## **METODE**

Metode penelitian yang digunakan adalah model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). Model ini merupakan pendekatan sistematis dan terstruktur dalam pengembangan suatu produk, termasuk sistem pengering biji kopi berbasis mikrokontroler. Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem dan permasalahan dalam proses pengeringan biji kopi. Tahap Design meliputi perancangan sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, termasuk arsitektur IoT yang digunakan. Tahap Development merupakan proses pembuatan dan integrasi komponen sistem seperti ESP32,

sensor DHT22, sensor kadar air, dan load cell. Selanjutnya, tahap Implementation dilakukan dengan mengoperasikan sistem secara langsung untuk proses pengeringan dan pengambilan data secara real-time. Tahap terakhir, yaitu Evaluation, dilakukan untuk menguji kinerja sistem berdasarkan parameter seperti kestabilan suhu, akurasi sensor, dan efektivitas proses pengeringan.

Dengan menggunakan metode ADDIE, diharapkan sistem yang dikembangkan tidak hanya inovatif, tetapi juga memiliki kinerja yang optimal, sesuai kebutuhan pengguna, serta mampu menghasilkan proses pengeringan biji kopi yang efisien, efektif, dan berkelanjutan. Proses penelitian yang dilakukan peneliti disajikan dalam diagram alur berikut.



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Pada Gambar 1 dapat dijelaskan bahwa penelitian dimulai dari studi literatur, kemudian melakukan perancangan software dan hardware., Setelah itu, kita melakukan pengujian alat untuk mengetahui apakah alat tersebut sudah sesuai atau belum. Jika belum sesuai, kita perlu mengidentifikasi masalah yang ada pada alat tersebut. Jika tidak ada masalah, kita lanjut melakukan pengambilan data pada alat tersebut dan hasil data dibuat laporan.

### Analisis Sistem

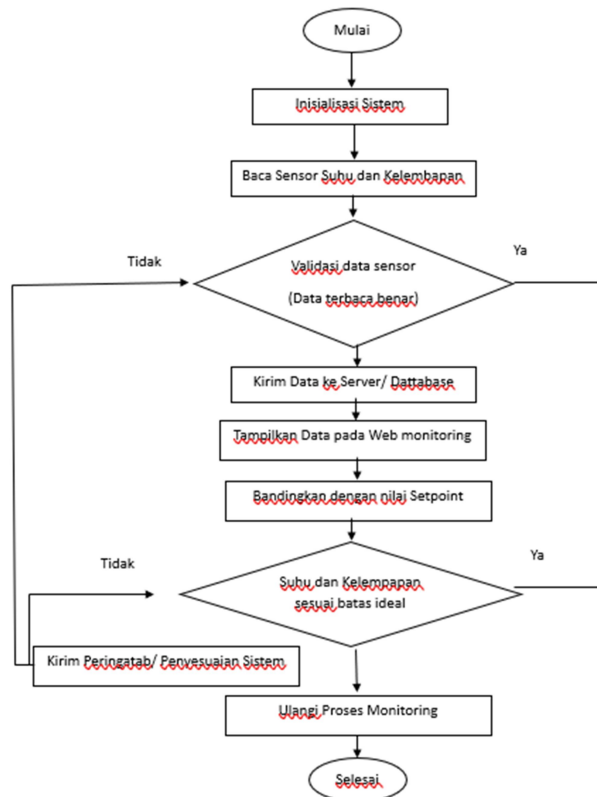
- Proses pengeringan biji kopi secara konvensional masih bergantung pada sinar matahari sehingga waktu pengeringan tidak menentu dan kadar air sulit dikontrol secara presisi. Ketidakstabilan ini dapat menurunkan kualitas hasil panen. Berdasarkan standar mutu dari International Coffee Organization, kadar air biji kopi kering yang baik berada pada kisaran 11–12%. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengeringan otomatis yang mampu menjaga suhu dan kelembapan secara stabil serta memantau kondisi biji kopi secara real-time.
- Sistem yang diusulkan merupakan sistem pengeringan berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan monitoring web real-time. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan sensor suhu dan kelembapan (DHT22) serta sensor kadar air. Data dari sensor diproses untuk mengontrol elemen pemanas dan kipas secara otomatis sesuai nilai setpoint yang telah ditentukan.
- Dalam proses kerjanya, sensor membaca suhu dan kelembapan ruang pengering kemudian mengirimkan data ke ESP32 untuk dianalisis. Jika suhu berada di bawah batas

yang ditentukan, sistem akan mengaktifkan heater, sedangkan kipas berfungsi menjaga sirkulasi udara agar proses pengeringan merata. Data yang diperoleh dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke server dan ditampilkan pada dashboard web dalam bentuk monitoring real-time. Sistem juga memberikan notifikasi ketika kadar air biji kopi telah mencapai  $\leq 12\%$  sebagai indikator bahwa proses pengeringan selesai.

- d. Dengan adanya sistem ini, proses pengeringan menjadi lebih cepat, stabil, dan tidak bergantung pada kondisi cuaca. Selain itu, data pengeringan dapat disimpan dan dianalisis untuk meningkatkan kualitas produksi. Implementasi sistem pengeringan biji kopi berbasis IoT ini mendukung modernisasi proses pascapanen dan meningkatkan efisiensi serta mutu hasil akhir.

### Perancangan Sistem Software

Pada aspek perencanaan ini, penulis berencana merancang sistem informasi monitoring suhu dan kelembapan pada biji kopi berbasis IoT. Keluaran dari perencanaan ini adalah sebuah aplikasi yang dapat memberikan informasi besaran suhu dan kelembapan pengeringan biji kopi. Tujuan adalah untuk mempermudah petani kopi dalam memantau pengeringan biji kopi.



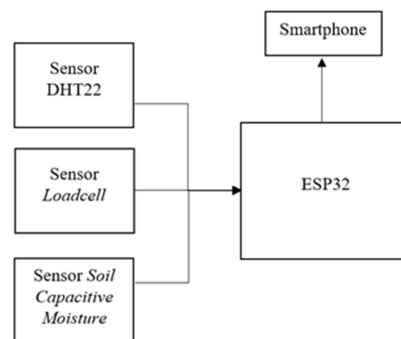
Gambar 1. Flowchart Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan

Pada flowchart, sistem monitoring suhu dan kelembapan diawali dengan proses inisialisasi sistem, yang meliputi pengaktifan mikrokontroler, sensor suhu dan kelembapan, serta koneksi jaringan Wi-Fi sebagai media komunikasi data. Setelah sistem siap, sensor membaca nilai suhu dan kelembapan pada ruang pengering biji kopi. Data hasil pembacaan sensor kemudian divalidasi untuk memastikan bahwa nilai yang diperoleh terbaca dengan benar dan

berada dalam kondisi normal. Apabila data tidak valid, sistem akan mengulangi proses pembacaan sensor hingga data yang benar diperoleh.

Selanjutnya, data suhu dan kelembapan yang valid dikirimkan ke server atau basis data dan ditampilkan pada halaman web monitoring secara real-time sehingga dapat diakses oleh pengguna dari jarak jauh. Data yang ditampilkan kemudian dibandingkan dengan nilai setpoint atau batas ideal pengeringan biji kopi. Jika nilai suhu dan kelembapan berada di luar batas yang ditentukan, sistem akan memberikan peringatan atau melakukan penyesuaian terhadap sistem pengering. Proses monitoring ini berjalan secara berulang (looping) selama sistem aktif, sehingga kondisi suhu dan kelembapan dapat terus dipantau secara kontinu.

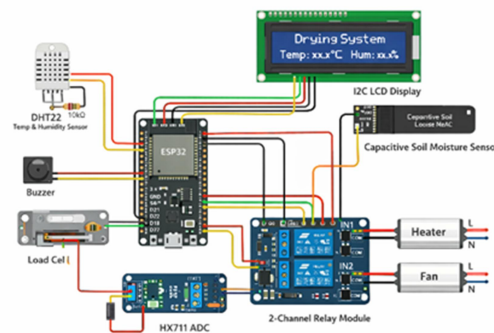
### Diagram Blok



Gambar 3. Diagram Blok

Pada Gambar 3, diagram blok perancangan *hardware* menjelaskan sistem pengeringan biji kopi di mana ESP32 berperan sebagai otak utamanya dalam pemrosesan data dengan input dari sensor suhu dan kelembapan (DHT22), sensor *loadcell*, dan sensor *soil capacitive moisture*. Kemudian diproses data dari sensor-sensor tersebut, dan sebagai pengontrol beban pada alat meliputi *smartphone* sebagai perangkat yang dikendalikan.

### Diagram Wiring



Gambar 4. Skema Wiring

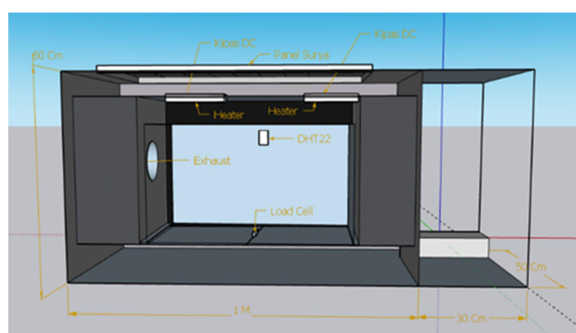
1. Program sistem pengeringan biji kopi berbasis IoT dimulai saat ESP32 melakukan inisialisasi sensor, relay, LCD, dan koneksi WiFi. Load cell dikalibrasi (tare) dan sistem menyiapkan pin input-output untuk membaca sensor serta mengontrol heater dan kipas.
2. Pada proses utama (loop), ESP32 secara berkala membaca suhu dan kelembapan dari DHT22, berat biji kopi dari modul HX711, serta kadar air menggunakan sensor kapasitif

tanah. Data tersebut diproses dan dibandingkan dengan nilai setpoint yang telah ditentukan.

3. Jika suhu berada di bawah batas yang ditetapkan, heater akan aktif, sedangkan kipas bekerja untuk menjaga sirkulasi dan menurunkan kelembapan ruang. Ketika kadar air biji kopi telah mencapai  $\leq 12\%$ , sistem mematikan heater dan mengaktifkan buzzer sebagai tanda proses pengeringan selesai.
4. Seluruh data sensor dan status aktuator kemudian dikirim melalui WiFi ke server untuk ditampilkan pada dashboard web secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau proses pengeringan baik secara lokal melalui LCD maupun jarak jauh melalui web monitoring.

Pada tahap ini dijelaskan mengenai perancangan alat pengeringan biji kopi, hal ini dilakukan agar memudahkan penulis dalam membuat alat kedepannya, dan pembaca dapat memahami mengenai bentuk alat

Gambar 5. Perencanaan Alat



Tata letak sensor-sensor dapat dilihat pada Gambar 5. Panel surya berada di luar ruangan atau di atas atap agar mendapat cahaya matahari secara penuh. Alat ini memiliki dimensi ukuran luar, yaitu panjang 130 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 60 cm.

Untuk bahan yang dipakai dalam pembuatan alat ini, yaitu triplek yang dilapisi dengan aluminium foil sebagai kerangka alat ini, triplek berlapis aluminium foil kami pilih karena memiliki fungsi agar lebih kuat terhadap panas dalam pengeringan kopi tersebut, dan dinding pada alat ini memiliki 2 lapisan, yaitu rangka dalam dan rangka luar. Rangka dalam digunakan untuk menaruh kopi yang akan di keringkan yang dimana pada rangka dalam ini terdapat sensor *loadcell* menentukan berat biji kopi.

### Mikrokontroler ESP 32

Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat dari sistem embedded yang bertugas untuk mengolah data dari sensor, mengontrol aktuator, dan melakukan pengiriman informasi. Dalam sistem pengering biji kopi hybrid yang berbasis IoT, modul ESP32 dipilih sebagai mikrokontroler utama karena fitur-fitur yang memungkinkan koneksi nirkabel, pengolahan data yang efisien, serta penggunaan energi yang ekonomis. ESP32 merupakan mikrokontroler 32-bit yang dirancang oleh Espressif Systems sebagai generasi terbaru dari ESP8266. Modul ini sudah terintegrasi dengan Wi-Fi serta Bluetooth, yang memudahkan interaksi perangkat dengan jaringan internet dan sistem pemantauan secara langsung. Karena fitur-fitur tersebut, ESP32 sangat ideal untuk

digunakan dalam aplikasi IoT seperti pemantauan suhu, kelembapan, dan pengendalian perangkat dari jarak jauh.(Fajardiansyah *et al.*, 2025)



Gambar 6. Flowchart Tahapan Penelitian

### Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT22)

Sensor untuk mengukur suhu dan kelembapan adalah elemen krusial dalam sistem pengering biji kopi hybrid berbasis IoT, karena parameter suhu dan kelembapan sangat menentukan kecepatan pengeringan serta kualitas biji kopi yang dihasilkan. Sensor ini berfungsi untuk menilai kondisi lingkungan secara langsung, sehingga data bisa diproses oleh mikrokontroler untuk mengatur sistem dan ditampilkan di sistem pemantauan web. Salah satu tipe sensor yang sering diterapkan dalam aplikasi IoT adalah DHT11 dan DHT22, yang merupakan sensor digital yang dapat mengukur suhu dan kelembapan secara bersamaan serta serasi dengan berbagai jenis mikrokontroler seperti ESP32. Meskipun memiliki akurasi yang lebih rendah dibandingkan dengan sensor industri, kedua sensor ini banyak digunakan dalam pembuatan prototipe sistem pemantauan karena harganya yang terjangkau, ukuran yang kompak, dan kemudahan dalam integrasi dengan platform IoT.(Tiyas *et al.*, 2025)



Gambar 7. Perencanaan Alat

### Load cell

Load cell adalah jenis transduser (sensor) yang mengubah gaya mekanis atau beban menjadi sinyal listrik yang terukur. Sederhananya, alat inilah yang menjadi "otak" di balik timbangan digital, alat uji tarik, hingga sistem pemantau beban jembatan.Prinsip kerjanya paling umum didasarkan pada teknologi strain gauge. Ketika beban diberikan pada badan *load cell*, terjadi deformasi elastis (perubahan bentuk yang sangat kecil). Perubahan ini menyebabkan

hambatan listrik pada *strain gauge* yang tertempel di dalamnya ikut berubah. Perubahan hambatan tersebut kemudian dikonversi menjadi tegangan listrik (biasanya dalam skala milivolt) melalui rangkaian jembatan Wheatstone. (Haqiqi, Patma and Fathoni, 2022)



Gambar 8. Load cell

### Capacitive soil Moisture

Sensor kelembapan kapasitif tanah bekerja dengan prinsip kapasitansi listrik. Berbeda dengan sensor resistif murah yang sering berkarat (korosi), sensor kapasitif tidak memiliki bagian logam yang bersentuhan langsung dengan tanah, yang membuatnya jauh lebih awet dan tahan lama. Sensor ini sering dipasang dengan sel beban dalam sistem pengeringan biji kopi atau pertanian cerdas untuk memberikan validasi ganda terhadap kadar air. (Sihombing *et al.*, 2022)



Gambar 9. Load cell

### Internet of Things (IoT)



Gambar 10 *Internet of Thing*

*Internet of Things* (IoT) merupakan inovasi terkini yang dibuat untuk mengoptimalkan pemanfaatan koneksi internet yang selalu tersedia. Teknologi ini memungkinkan berbagai perangkat terhubung untuk menyederhanakan kegiatan sehari-hari, menjadikannya semakin efisien dan praktis, sehingga beragam tugas manusia dapat dilakukan dengan lebih simpel. Saat ini, IoT semakin banyak diterapkan dalam berbagai aspek kehidupan. Dalam konteks komunikasi, IoT dihadirkan lewat metode identifikasi RFID (Radio Frekuensi Identifikasi). Selain itu, teknologi ini juga melibatkan penggunaan sensor, jaringan nirkabel, serta kode QR (*Quick Response*). Konsep "*Internet of Things*" terdiri dari dua komponen utama: "Internet", yang merujuk pada jaringan dan manajemennya, serta "Things", yang mengacu pada objek yang berinteraksi antara manusia dan komputer. (Syahfitri, 2025)

### **Tanaman Biji Kopi**



Gambar 11 Tanaman Biji Kopi

Tanaman kopi adalah tanaman tropis dari genus *Coffea* yang menjadi sumber utama biji kopi, salah satu komoditas paling bernilai di dunia. Tumbuhan kopi tumbuh optimal di daerah dengan ketinggian 600–2.000 meter di atas permukaan laut, suhu 18–30°C, dan curah hujan 1.500-2.500 mm per tahun. (Ayu and Waruwu, 2025)

### **Proses Pengeringan Biji Kopi Manual**



Gambar 12 Proses Pengeringan Biji Kopi Manual

Pengeringan kopi secara optimal dapat dilakukan dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, terutama energi matahari, yang menjadi semakin penting di Indonesia mengingat melimpahnya paparan sinar matahari. Pengeringan kopi menggunakan sumber energi terbarukan, seperti energi matahari, menjadi salah satu solusi unggulan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan efisiensi produksi. Pemanfaatan energi matahari dalam proses pengeringan tidak hanya menurunkan biaya operasional, tetapi juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Penerapan energi surya dalam pengeringan kopi di

Desa Karang Sidemen dapat menjadi contoh baik dari penggunaan energi terbarukan yang efisien. Pengerinan biji kopi adalah tahap penting dalam proses pascapanen, dan hal ini memengaruhi kualitas akhir produk. Metode konvensional yang umum digunakan, seperti penjemuran di bawah sinar matahari, memiliki kelemahan, terutama terkait ketidakpastian cuaca. Maka dari itu, penggunaan teknologi pengeringan berbasis mikrokontroler bisa menjadi pilihan yang efektif. Alat ini mampu mengatur suhu dan kelembapan dengan akurat, sehingga proses pengeringan dapat dipercepat dan kualitas biji kopi tetap terjaga. (Tengah *et al.*, 2026)

### Analisis Laju Pengeringan (*Drying Rate*)

Laju pengeringan dihitung untuk mengetahui seberapa cepat massa air hilang dari biji kopi per satuan waktu. Dalam penelitian, parameter ini penting untuk menentukan efisiensi alat pengering.

Rumus Laju Pengeringan :

$$DR = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t}$$

- $M_t$ : Massa biji kopi pada waktu  $t$  (gram/kg).
- $M_{t+\Delta t}$ : Massa biji kopi setelah selang waktu tertentu (gram/kg).
- $\Delta t$ : Selang waktu pengamatan (menit/jam).

Gambar 10. Rumus Laju Pengeringan

Analisis:

- **Awal Pengeringan:** Laju biasanya tinggi karena penguapan air di permukaan biji (*free moisture*).
- **Akhir Pengeringan:** Laju melambat karena air harus berpindah dari inti biji ke permukaan (*bound moisture*). *Load cell* harus memiliki sensitivitas tinggi untuk menangkap perubahan kecil di fase ini.

Analisis Error Sensor (Accuracy & Precision)

Analisis error dilakukan untuk memvalidasi seberapa akurat pembacaan sensor (load cell dan kapasitif) dibandingkan dengan alat ukur standar laboratorium (seperti timbangan analitik atau oven pengering).

Root Mean Square Error (RMSE):

Digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan rata-rata antara nilai sensor dan nilai aktual.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

## Gambar 11. Root Mean Square Error

Persentase Error (MAPE):

$$Error(\%) = \left| \frac{\text{Nilai Aktual} - \text{Nilai Sensor}}{\text{Nilai Aktual}} \right| \times 100\%$$

Gambar 12. Presentase Error

- Analisis Load Cell: *Error* biasanya muncul akibat getaran mekanis atau perubahan suhu pada rangka pengering.
- Analisis Capacitive Sensor: *Error* sering dipengaruhi oleh kerapatan tumpukan biji kopi (*bulk density*) yang berubah saat biji menyusut.

## Prosedur Pengujian Sistem Pengering Kopi

## 1. Persiapan Sampel dan Alat

- Preparasi Biji: Gunakan biji kopi *green bean* dengan berat awal yang ditentukan (misalnya: 1 kg atau 5 kg).
- Inisialisasi Sensor: Lakukan *Power-On Self-Test* (POST) pada mikrokontroler. Pastikan *load cell* menunjukkan angka 0 (*Taring*) dan sensor kapasitif terendam sempurna dalam tumpukan biji.
- Kalibrasi Titik Nol: Pastikan suhu ruang dan RH (Kelembapan relatif) awal tercatat sebagai data *baseline*.

## 2. Pengamatan Real-Time (Suhu, RH, Berat, Kadar Air)

- Aktivasi Pemanas: Hidupkan elemen pemanas dan kipas sirkulasi.
- Interval Data: Atur *datalogger* untuk mengambil sampel data setiap 5 atau 10 menit sekali.
- Variabel Terukur: Suhu & RH: Memantau kondisi lingkungan mikro di dalam ruang pengering.
  - Berat (*Load Cell*): Mencatat penurunan massa akibat penguapan air.
  - Kadar Air (*Capacitive*): Memantau perubahan nilai dielektrik biji secara langsung.

## 3. Analisis Tren Penurunan Kadar Air

- Sinkronisasi Data: Bandingkan penurunan berat dari *load cell* dengan perubahan tegangan dari sensor kapasitif.
- Kurva Pengeringan: Plot data dalam grafik Waktu (x) vs Kadar Air (y).

- Titik Henti (*Cut-off Point*): Pantau hingga kadar air mencapai target 12%. Gunakan rumus korelasi massa untuk memvalidasi pembacaan sensor kapasitif.

#### 4. Evaluasi Kestabilan Suhu Pengereng

- Analisis Fluktuasi: Mengamati apakah suhu tetap stabil pada rentang yang diinginkan (
- Respons Sensor: Evaluasi apakah suhu tinggi menyebabkan *drift* (pergeseran nilai) pada *load cell*. Jika terjadi fluktuasi berat yang tidak wajar saat suhu naik, diperlukan prosedur kompensasi suhu pada kode program.

### Pembuatan Program

Pembuatan program dilakukan menggunakan Arduino Ide dengan langkah awal yaitu menghubungkan board mikrokontroler ESP32 di komputer dengan menggunakan USB. Setelah board terhubung, langkah selanjutnya yaitu memilih port yang disesuaikan dengan board. Kemudian yang terakhir yaitu menulis kode program

#### Pembuatan Sistem Monitoring Web

1. Sistem monitoring web dirancang untuk menampilkan data suhu, kelembapan, berat biji kopi, dan kadar air secara real-time. Web berfungsi sebagai antarmuka antara pengguna dan sistem pengereng berbasis IoT. Data yang dikirim dari ESP32 melalui jaringan WiFi diterima oleh server menggunakan metode HTTP (POST) atau protokol MQTT, kemudian disimpan ke dalam database untuk ditampilkan dalam dashboard.
2. Perancangan web terdiri dari tiga bagian utama, yaitu front-end, back-end, dan database. Bagian front-end dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript untuk menampilkan data dalam bentuk angka dan grafik real-time. Grafik perubahan suhu, kelembapan, berat, dan kadar air ditampilkan menggunakan library chart seperti Chart.js agar memudahkan analisis proses pengeringan. Pada bagian back-end, digunakan bahasa pemrograman seperti PHP atau Node.js untuk menerima data dari ESP32 dan mengelolanya ke dalam database MySQL.
3. Database dirancang dengan tabel utama yang menyimpan parameter waktu (timestamp), suhu, kelembapan, berat, kadar air, serta status heater dan kipas. Setiap data yang dikirim oleh ESP32 akan otomatis tersimpan sehingga riwayat proses pengeringan dapat dianalisis kembali. Sistem juga dilengkapi fitur login untuk menjaga keamanan akses monitoring.
4. Dashboard web menampilkan informasi dalam dua bentuk, yaitu monitoring numerik dan grafik historis. Monitoring numerik menunjukkan kondisi terkini sistem, sedangkan grafik historis memperlihatkan tren perubahan selama proses pengeringan berlangsung. Dengan adanya sistem monitoring web ini, pengguna dapat mengontrol dan mengevaluasi proses pengeringan secara jarak jauh, sehingga meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil pengeringan biji kopi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Stabilitas Suhu Pengering

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja termal, sistem mampu mempertahankan stabilitas suhu pada rentang operasional 43–50 °C. Konsistensi suhu tersebut menunjukkan bahwa mekanisme kontrol umpan balik (*feedback control*) antara elemen pemanas (*heater*) dan kipas sirkulasi bekerja secara efektif dalam mendistribusikan panas secara merata. Stabilitas suhu dalam rentang tersebut sangat penting, mengingat suhu di bawah 40 °C dapat memperlambat laju penguapan air, sedangkan suhu di atas 50 °C berpotensi merusak senyawa aromatik dan menurunkan kualitas sensori (profil *cupping*) biji kopi. Selain itu, pengendalian suhu yang baik turut mendukung konsistensi dan akurasi data penurunan massa selama proses pengeringan, karena fluktuasi termal yang signifikan dapat memengaruhi kestabilan pembacaan pada sensor beban (*load cell*)

### Hasil Perancangan Elektronika

Hasil perancangan sistem elektronika menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis ESP32 mampu mengintegrasikan seluruh sensor dan aktuator secara efektif. Sensor DHT22 dapat mengukur suhu dan kelembapan ruang pengering secara stabil, sedangkan *load cell* yang dihubungkan melalui modul HX711 mampu mendeteksi perubahan massa biji kopi selama proses pengeringan dengan baik. Selain itu, sensor kapasitif *soil moisture* digunakan untuk memperkirakan kadar air biji kopi dan memberikan indikator tingkat kekeringan secara bertahap selama proses berlangsung.

Sistem kontrol relay 2 channel berfungsi untuk mengaktifkan dan menonaktifkan heater serta kipas sesuai logika kontrol yang telah diprogram. LCD I2C menampilkan data secara lokal, sementara modul WiFi pada ESP32 mengirimkan data ke server untuk monitoring web real-time. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu bekerja otomatis sesuai setpoint suhu dan batas kadar air yang ditentukan.

### Hasil Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik dilakukan dengan membuat ruang pengering tertutup berbentuk box yang dilengkapi elemen pemanas dan kipas sirkulasi udara. Tata letak komponen dirancang agar distribusi panas merata di dalam ruang pengering. Heater ditempatkan pada bagian bawah atau samping ruang, sedangkan kipas diposisikan untuk mengalirkan udara panas secara konveksi ke seluruh bagian biji kopi.

Wadah biji kopi dibuat menggunakan rak berlubang atau tray mesh agar aliran udara dapat melewati seluruh permukaan biji. *Load cell* ditempatkan pada bagian bawah wadah untuk mengukur berat secara akurat selama proses berlangsung. Desain mekanik juga memperhatikan aspek keamanan dengan memisahkan ruang rangkaian elektronika dari ruang pemanas guna menghindari kerusakan akibat suhu tinggi.

Secara keseluruhan, hasil perancangan elektronika dan mekanik menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara terintegrasi, stabil, dan mendukung proses pengeringan biji kopi secara otomatis serta termonitor secara real-time.

### Hasil pengujian alat sensor

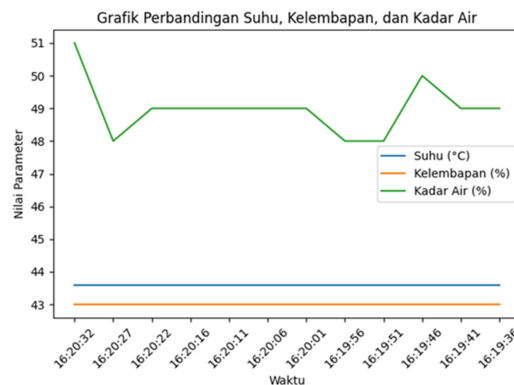
Untuk memastikan alat pengering biji kopi berfungsi secara efektif, dilakukan serangkaian pengujian yang mencakup pengujian sensor DHT22, pengujian sensor *Capacitive soil* dan kipas dan pemanas, pengujian software web, serta pengujian berat biji kopi. Setiap pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa masing-masing komponen sekaligus menilai kinerja sistem secara keseluruhan.

#### Data Monitoring Pengering Kopi

Data Monitoring Pengering Kopi					
No	Tanggal & Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Kadar Air (%)	Berat (Gram)
1	2026-02-12 16:20:32	43,60	43	51	499,63
2	2026-02-12 16:20:27	43,60	43	48	499,24
3	2026-02-12 16:20:22	43,60	43	49	499,62
4	2026-02-12 16:20:16	43,60	43	49	499,21
5	2026-02-12 16:20:11	43,60	43	49	499,20
6	2026-02-12 16:20:06	43,60	43	49	499,02
7	2026-02-12 16:20:01	43,60	43	49	498,91
8	2026-02-12 16:19:56	43,60	43	48	498,29
9	2026-02-12 16:19:51	43,60	43	48	497,90
10	2026-02-12 16:19:46	43,60	43	50	498,68
11	2026-02-12 16:19:41	43,60	43	49	498,43
12	2026-02-12 16:19:36	43,60	43	49	498,27

Gambar 13. Data Monitoring Pengering Kopi

Data diambil pada tanggal 12 Februari 2026 sekitar pukul 16:19–16:20 dengan interval waktu beberapa detik. Hal ini menunjukkan sistem melakukan pencatatan otomatis secara periodik (real-time logging). Nilai suhu tercatat stabil pada 43,60°C dan kelembapan ruang sebesar 43%. Kondisi ini menunjukkan sistem kontrol heater dan kipas bekerja dengan baik dalam menjaga suhu dan kelembapan tetap konstan sesuai setpoint pengeringan. Kadar air biji kopi berada pada rentang 48–51%. Angka ini menunjukkan bahwa proses pengeringan masih berlangsung dan biji kopi belum mencapai standar kadar air akhir (sekitar 11–12%). Penurunan kadar air terlihat mulai stabil di sekitar 48–49%, menandakan proses evaporasi air sedang terjadi secara bertahap. Berat biji kopi berkisar antara 497–499 gram dan menunjukkan kecenderungan menurun secara perlahan. Penurunan berat ini terjadi karena air di dalam biji kopi menguap selama proses pemanasan. Korelasi antara penurunan berat dan kadar air mengindikasikan sistem sensor load cell dan sensor kelembapan bekerja sesuai fungsi. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa sistem pengering bekerja stabil, suhu terkontrol, dan terjadi proses pengurangan kadar air serta massa biji kopi secara bertahap. Untuk analisis lebih lanjut, diperlukan data dalam durasi yang lebih panjang hingga kadar air mencapai  $\leq 12\%$  agar dapat dihitung efisiensi waktu pengeringan dan laju penurunan kadar air.



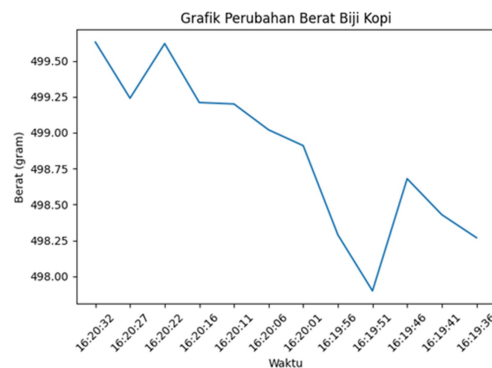
Gambar 14. Tabel Grafik Perbandingan

Pertama, suhu terlihat stabil di sekitar  $43,6^{\circ}\text{C}$  sepanjang pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pemanas dan kontrol suhu bekerja dengan baik tanpa fluktuasi yang signifikan. Kedua, kelembapan udara juga stabil di angka 43%, menandakan kondisi ruang pengering relatif konstan. Stabilitasnya suhu dan kelembapan menunjukkan sistem kontrol IoT mampu menjaga lingkungan pengeringan sesuai setpoint. Ketiga, kadar air biji kopi mengalami fluktuasi kecil antara 48–51%. Secara umum, terlihat kecenderungan penurunan dibandingkan dengan nilai awal (51% menjadi sekitar 48–49%), yang menandakan proses penguapan air sedang berlangsung. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa sistem berhasil menjaga kondisi lingkungan pengeringan tetap stabil, sementara kadar air biji kopi mulai berkurang sebagai indikasi proses pengeringan berjalan efektif.

### Analisis Penurunan Kadar Air dan Berat

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ada korelasi positif antara penurunan kadar air yang diamati oleh sensor kapasitif dan penurunan massa yang diamati oleh sel pengisi. Salah satu tanda jelas dari proses evaporasi (penguapan) adalah penurunan kadar air secara bertahap. Dalam proses ini, energi termal yang stabil memindahkan kandungan air dari kelembapan dalam biji ke permukaan biji sehingga menguap ke udara. Selain itu, penurunan berat yang perlahan dan berkelanjutan menunjukkan korelasi dengan teori pengeringan material granular, di mana kehilangan massa pada fase awal (penguapan air permukaan) lebih cepat dan melambat saat memasuki fase yang terikat dengan air. Koneksi data antara kedua sensor ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan dapat secara akurat menunjukkan perubahan fisik biji kopi selama proses termal.

### Grafik Perubahan Berat



Gambar 15. Grafik Perubahan Berat

Dari grafik terlihat bahwa berat awal berada di sekitar 499,6 gram, kemudian secara bertahap mengalami penurunan hingga mendekati 497,9 gram sebelum sedikit naik dan kembali turun di akhir pengamatan. Secara umum, tren grafik menunjukkan penurunan berat secara perlahan. Penurunan berat ini terjadi karena penguapan kadar air dari dalam biji kopi akibat pemanasan selama proses pengeringan. Ketika air menguap, massa biji kopi berkurang sehingga nilai berat yang terukur oleh load cell menurun. Fluktuasi kecil yang terlihat pada grafik kemungkinan disebabkan oleh: respons sensor load cell, getaran mekanik pada ruang pengering, pergerakan udara dari kipas, atau pembacaan data secara real-time. Secara keseluruhan, grafik ini membuktikan bahwa sistem pengering berbasis IoT mampu memonitor perubahan

massa biji kopi secara real-time dan menunjukkan bahwa proses pengeringan sedang berlangsung dengan baik.

### Pengujian Software



Gambar 16. Dashboard *Monitoring System*

Gambar tersebut menunjukkan tampilan dashboard web sistem monitoring dan kendali alat pengering kopi berbasis IoT yang digunakan untuk memantau proses pengeringan secara real-time. Pada halaman utama ditampilkan empat parameter utama, yaitu suhu sebesar 44,10°C, kelembapan 43%, kadar air 49%, dan berat 490,20 gram. Data tersebut diperoleh dari sensor yang terhubung ke mikrokontroler dan dikirim ke server sehingga dapat diakses melalui web. Selain fitur monitoring, sistem juga dilengkapi dengan tombol *Emergency Control* yang berfungsi untuk mematikan alat dalam kondisi darurat guna menjaga keamanan proses pengeringan. Dengan adanya dashboard ini, pengguna dapat melakukan pemantauan dan pengendalian alat secara jarak jauh dengan lebih efektif, efisien, dan terkontrol.

### **Analisis Efektivitas Monitoring melalui Dashboard Real-Time**

Dashboard berbasis web sebagai antarmuka pemantauan meningkatkan kontrol operasional sistem pengeringan. Operator dapat mengambil keputusan berbasis data secara instan tanpa harus berada di lokasi alat dengan melihat data yang diperbarui secara real-time. Pengawasan jarak jauh—juga dikenal sebagai pengawasan jarak jauh—adalah nilai inovasi utama dalam penelitian ini karena mengubah metode pengeringan konvensional yang dilakukan secara manual menjadi sistem cerdas berbasis Internet of Things (IoT). Kesalahan manusia (human error) dalam pembacaan sensor dikurangi dan waktu pengeringan dikontrol dengan lebih akurat, yang meningkatkan produktivitas dan menjaga kualitas hasil biji kopi sesuai dengan standar industri.

### **KESIMPULAN**

Sistem pengering kopi hybrid berbasis IoT dengan monitoring web real-time berhasil dirancang dan diuji. Sistem mampu menjaga kestabilan suhu pengering serta memantau penurunan kadar air dan massa biji kopi secara real-time. Implementasi monitoring web meningkatkan efisiensi pengawasan dan keamanan proses pengeringan. Sistem ini berpotensi

diterapkan sebagai solusi modern pengolahan pascapanen kopi berbasis otomasi dan energi hybrid. Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem pengering biji kopi hybrid berbasis IoT dengan monitoring web real-time berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Sistem mampu mengintegrasikan sumber pemanas hybrid, sensor suhu dan kelembapan, sensor kadar air, serta load cell untuk memantau perubahan berat biji kopi selama proses pengeringan. Data dari seluruh sensor dapat dikirim dan ditampilkan secara *real-time* melalui dashboard web, sehingga pengguna dapat memantau kondisi pengeringan kapan saja dan dari mana saja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga suhu dan kelembapan ruang pengering secara stabil sesuai dengan setpoint yang ditentukan. Penurunan berat dan kadar air biji kopi yang terpantau secara bertahap menunjukkan bahwa proses pengeringan berlangsung efektif. Fitur monitoring berbasis web serta kontrol darurat (emergency control) juga meningkatkan aspek keamanan dan kemudahan operasional alat. Dengan demikian, sistem yang dirancang tidak hanya meningkatkan efisiensi dan akurasi proses pengeringan, tetapi juga memberikan solusi modern berbasis Internet of Things (IoT) yang mendukung otomasi, transparansi data, dan kemudahan pengawasan dalam pengolahan pascapanen biji kopi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ayu, A. and Waruwu, S. (2025) 'Observasi Penyakit pada Tanaman Kopi Arabika ( *Coffea arabika* L. ) di Perkebunan Kopi Solok Radjo', 7(02), pp. 699–707.
- Emmia Tambarta Kembaren, M. (2021) 'Pengelolaan Pasca Panen Kopi Arabika Gayo Aceh', 10, pp. 29–36.
- Fajardiansyah, I. *et al.* (2025) 'No Title', pp. 38–47.
- Haqiqi, A.A., Patma, T.S. and Fathoni, F. (2022) 'Perancangan Sistem Hybrid Solar Cell dan PLN Menggunakan Solar Charger Controller dan Voltage Sensor', *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 9(3), p. 256. Available at: <https://doi.org/10.33795/elk.v9i3.422>.
- Maleachi, S. and Christianus, F. (2024) 'Analisis Pengelolaan Panen dan Pasca Panen Kopi Sebagai Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Biji Kopi Robusta di Kota Pagar Alam', 1(7), pp. 482–488.
- Nihayatun Nafisah<sup>1</sup>, Ika Noer Syamsiana<sup>\*</sup>, 1, Wijaya Kusuma<sup>1</sup>, Ratna Ika Putri<sup>1</sup>, 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.
- Noer, I. *et al.* (2024) 'Implementasi Sistem Monitoring Alat Pengering Biji Kopi Berbasis IoT ( Internet of Things )', 11(1).
- Nofriyanti, D. *et al.* (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>.
- Novianti, R., Rahayuniati, R.F. and Suroto, A. (2023) 'PENANGANAN PASCAPANEN KOPI ROBUSTA BASEH TERHADAP ORGANISME PENGGANGGU TANAMAN: TINJAUAN ( Post-Harvest Management of Robusta Baseh Coffee Against Plant Pests : Review )', 16(2), pp. 75–84.
- Pambudi, A.D. *et al.* (no date) 'Monitoring Sistem Kontrol Mesin Drying Kopi Secara Real Time Berbasis IoT'.
- Sihombing, B.S. *et al.* (2022) 'Rancang Bangun Alat Pengering Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler

- Arduino Uno', *STORAGE: Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, 1(1), pp. 8–15.  
Available at: <https://doi.org/10.55123/storage.v1i1.155>.
- Syahfitri, A. (2025) 'Internet of Things ( IoT ), Sejarah , Teknologi , dan Penerapannya'.
- Tengah, D. *et al.* (2026) 'Sosialisasi kelas kilat pascapanen petani kopi di Desa Rekimai , Semende', 7, pp. 31–37.
- Tiyas, A.W. *et al.* (2025) 'Peningkatan Akurasi Sensor Suhu dan Kelembaban DHT11 dengan Kalibrasi Suhu Berbasis IoT pada Platform Thingspeak Improved Accuracy of DHT11 Temperature and Humidity Sensor with IoT-Based Temperature Calibration on the Thingspeak Platform', 5(3), pp. 625–633.
- Tri Budiarto, Leo Ayun, M.I.N. (2023) 'PEMBERDAYAAN PETANI PADA PENGOLAHAN PASCAPANEN KOPI Metode', 8(1), pp. 11–20.