



Pengembangan dan Validasi Sistem Pemantauan Mikroklimat Real-Time Berbasis IoT sebagai Pendukung Evaluasi Kondisi Pengeringan Pascapanen pada Solar Dome Dryer

Joko Riyanto¹, Anton Yudhana^{2,*}, Abdul Fadlil²

¹ Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Informatika, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia

² Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia

Email: ¹2536083057@webmail.uad.ac.id, ^{2*}eyudhana@ee.uad.ac.id, ³fadlil@mti.uad.ac.id

Email Penulis Korespondensi: ²eyudhana@ee.uad.ac.id

Abstrak—Pemantauan suhu dan kelembapan secara berkelanjutan diperlukan untuk mengevaluasi kondisi mikroklimat yang memengaruhi kinerja pengeringan hasil pertanian pada Solar Dome Dryer. Namun, pemantauan manual belum mampu menyediakan data secara real-time, sedangkan penelitian terdahulu masih banyak berfokus pada implementasi perangkat tanpa disertai validasi pengukuran terhadap alat ukur standar dalam kondisi operasional pengering. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan mikroklimat real-time berbasis Internet of Things untuk mendukung evaluasi kinerja pengeringan pascapanen pada Solar Dome Dryer. Sistem dikembangkan menggunakan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, koneksi Wi-Fi, dan platform cloud untuk menampilkan data suhu serta kelembapan melalui dashboard berbasis web dan smartphone. Pengujian dilakukan terhadap fungsi akuisisi, transmisi, visualisasi data, dan akurasi sensor dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap alat ukur standar UNI-T UT333. Selama pengujian, sistem mampu merekam dan mengirimkan data mikroklimat secara stabil pada rentang suhu 29,1–65,6 °C dan kelembapan relatif 13,7–79,5% RH. Pada pengujian terbatas sebanyak 100 siklus transmisi dengan interval 10 menit, seluruh data berhasil diterima server dalam kondisi jaringan selama pengujian. Validasi menggunakan 50 pasangan data menghasilkan MAE sebesar 0,150 °C dan RMSE sebesar 0,159 °C untuk suhu, serta MAE sebesar 0,286% RH dan RMSE sebesar 0,293% RH untuk kelembapan. Nilai MAPE masing-masing sebesar 0,34% dan 0,92%. Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan kerangka pemantauan mikroklimat berbiaya rendah yang mengintegrasikan akuisisi, transmisi, penyimpanan, visualisasi real-time, serta validasi statistik sensor pada kondisi operasional Solar Dome Dryer. Sistem tersebut dapat digunakan sebagai sumber data pendukung evaluasi kondisi pengeringan, dengan batasan bahwa validasi akurasi di atas 60 °C belum dilakukan menggunakan instrumen referensi yang sesuai.

Kata Kunci: Solar Dome Dryer; Internet of Things; ESP32; Smart Agriculture; Monitoring Real-time

Abstract—Continuous monitoring of temperature and humidity is necessary to evaluate the microclimate conditions that affect the drying performance of agricultural products in the Solar Dome Dryer. However, manual monitoring has not been able to provide real-time data, while previous research has largely focused on the implementation of devices without validating the measurements against standard measuring instruments under operational drying conditions. This research aims to develop a real-time microclimate monitoring system based on the Internet of Things to support the evaluation of post-harvest drying performance on the Solar Dome Dryer. The system was developed using the DHT22 sensor, ESP32 microcontroller, Wi-Fi connection, and cloud platform to display temperature and humidity data through a web-based and smartphone dashboard. Testing was conducted on the functions of acquisition, transmission, data visualisation, and sensor accuracy by comparing the measurement results with the standard measuring instrument UNI-T UT333. During the testing, the system was able to record and transmit microclimate data stably within the temperature range of 29.1–65.6 °C and relative humidity of 13.7–79.5% RH. In a limited test of 100 transmission cycles with a 10-minute interval, all data were successfully received by the server under network conditions during the testing. Validation using 50 pairs of data resulted in an MAE of 0.150 °C and an RMSE of 0.159 °C for temperature, as well as an MAE of 0.286% RH and an RMSE of 0.293% RH for humidity. The MAPE values were 0.34% and 0.92%, respectively. The contribution of this research is the development of a low-cost microclimate monitoring framework that integrates acquisition, transmission, storage, real-time visualisation, and statistical sensor validation under the operational conditions of the Solar Dome Dryer. The system can be used as a data source to support drying condition evaluations, with the limitation that accuracy validation above 60 °C has not yet been conducted using appropriate reference instruments.

Keywords: Solar Dome Dryer; Internet of Things; ESP32; Smart Agriculture; Monitoring Real-time

1. PENDAHULUAN

Daya Tahap pascapanen, khususnya proses pengeringan, berperan penting dalam mempertahankan mutu, memperpanjang daya simpan, dan meningkatkan nilai ekonomi komoditas pertanian (Amuddin et al., 2025). Pengeringan bertujuan menurunkan kadar air bahan sampai batas yang aman sehingga aktivitas mikroorganisme, reaksi enzimatik, dan risiko kerusakan selama penyimpanan dapat dikurangi. Namun, pengeringan terbuka yang masih banyak digunakan memiliki ketergantungan tinggi terhadap kondisi cuaca serta rentan terhadap debu, serangga, hujan, dan ketidakseragaman paparan radiasi matahari. Kondisi tersebut dapat menyebabkan laju pengeringan tidak konsisten, distribusi kadar air tidak merata, dan peningkatan risiko pertumbuhan jamur pada produk yang belum mencapai kadar air aman (Hananda et al., 2023).

Solar Dome Dryer merupakan salah satu alternatif teknologi pengeringan yang memanfaatkan radiasi matahari dengan membentuk ruang pengering tertutup. Struktur berbentuk kubah membantu meningkatkan suhu ruang melalui efek rumah kaca sekaligus melindungi bahan dari kontaminasi lingkungan. Dibandingkan pengeringan terbuka, teknologi ini memberikan proses pengeringan yang lebih higienis dan terlindungi (Ma'arij & Yudhana, 2023). Meskipun demikian, keberadaan ruang tertutup tidak secara otomatis menjamin kondisi pengeringan selalu berada pada



rentang yang sesuai. Suhu dan kelembapan relatif di dalam Solar Dome Dryer dapat berubah secara dinamis mengikuti intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, kelembapan udara luar, sirkulasi udara, dan pelepasan uap air dari bahan yang dikeringkan.

Perubahan iklim mikro tersebut perlu diperhatikan karena suhu yang terlalu tinggi berpotensi mempercepat kerusakan sifat fisik, warna, aroma, atau kandungan nutrisi pada komoditas tertentu. Sebaliknya, kelembapan relatif yang tinggi dapat menurunkan kemampuan udara dalam menerima uap air sehingga memperlambat proses pengeringan. Pemantauan secara manual pada interval waktu tertentu belum mampu menggambarkan perubahan iklim mikro secara berkelanjutan. Data yang dihasilkan juga berpotensi kehilangan kejadian transien, seperti peningkatan suhu secara cepat pada siang hari atau peningkatan kelembapan ketika radiasi matahari menurun. Oleh karena itu, sistem pemantauan real-time diperlukan untuk menyediakan data suhu dan kelembapan secara kontinu sebagai dasar evaluasi kondisi operasional pengering.

Sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian berbasis *Internet of Things* pada teknologi pengering hasil pertanian. Ma'arij dan Yudhana (2023) mengembangkan sistem pemantauan Solar Dome Dryer menggunakan sensor DHT22 dan DHT11 serta aplikasi Blynk, tetapi evaluasi sensor masih berfokus pada persentase galat dan belum mencakup analisis kesepakatan pengukuran maupun reliabilitas transmisi data. Penelitian tersebut melaporkan galat suhu DHT22 sebesar 1,572% dan galat kelembapan sebesar 5,223%. Hidayat et al. (2024) mengembangkan pemantauan berbasis web untuk suhu, kelembapan, dan panel surya pada fasilitas pengeringan rami, tetapi fokus utamanya adalah integrasi pemantauan jarak jauh. Nebrida (2024) mengembangkan pengering gabah berbasis Arduino dengan rentang kendali suhu 50–60 °C dan pengukuran kadar air, tetapi sistem tersebut merupakan pengering aktif berbasis pemanas dan bukan Solar Dome Dryer berbasis energi surya. Amuddin et al. (2025) menggunakan komunikasi LoRa untuk pemantauan pengeringan kopi guna menjawab keterbatasan jangkauan jaringan. Sementara itu, Adham et al. (2026) mengintegrasikan ESP32, DHT22, ThingSpeak, dan kipas otomatis pada prototipe pengering gabah, tetapi penelitian tersebut lebih menekankan fungsi otomatisasi daripada validasi statistik sensor dan evaluasi komunikasi pada kondisi Solar Dome Dryer.

Kajian tersebut menunjukkan bahwa penelitian terdahulu telah membuktikan kelayakan IoT untuk pemantauan maupun otomatisasi pengering. Namun, masih terbatas penelitian yang secara bersamaan melakukan validasi sensor berbiaya rendah dalam kondisi operasional Solar Dome Dryer, mengevaluasi kesesuaian pembacaan menggunakan bias, MAE, RMSE, MAPE, standar deviasi galat, dan batas kesepakatan, serta mengukur kontinuitas transmisi berdasarkan jumlah paket yang dikirim dan diterima. Penelitian ini mengisi gap tersebut melalui pengembangan sistem DHT22–ESP32 berbasis MQTT dan *cloud database*, validasi terhadap UNI-T UT333 menggunakan 50 pasangan data, serta evaluasi akuisisi dan transmisi pada 100 siklus pengamatan.

Pemilihan sensor perlu didasarkan pada kesesuaian spesifikasi teknis dengan lingkungan pengukuran. Berdasarkan lembar data, DHT11 memiliki rentang pengukuran suhu sekitar 0–50 °C dengan akurasi ± 2 °C dan resolusi 1 °C, sedangkan rentang kelembapannya sekitar 20–90% RH dengan akurasi ± 5 % RH dan resolusi 1% RH. Rentang tersebut berpotensi menjadi kendala ketika suhu di dalam Solar Dome Dryer melebihi 50 °C atau kelembapan turun mendekati kondisi udara yang sangat kering. DHT22 memiliki rentang pengukuran yang lebih luas, yaitu –40–80 °C untuk suhu dan 0–100% RH untuk kelembapan, dengan resolusi 0,1 °C dan 0,1% RH. Akurasi yang tercantum pada lembar datanya adalah sekitar $\pm 0,5$ °C untuk suhu dan ± 2 % RH untuk kelembapan pada kondisi tertentu. Karakteristik tersebut menjadikan DHT22 lebih sesuai daripada DHT11 untuk merekam variasi iklim mikro Solar Dome Dryer. Meskipun demikian, spesifikasi pabrikan tidak dapat langsung dianggap mewakili kinerja sensor pada setiap lingkungan sehingga hasil pengukurannya tetap perlu divalidasi menggunakan alat ukur pembandingan.

Selain akurasi sensor, kontinuitas transmisi data juga perlu dievaluasi. ESP32 mendukung konektivitas Wi-Fi dalam mode station sehingga dapat mengirimkan data ke platform cloud melalui titik akses yang tersedia. Namun, penggunaan Wi-Fi menyebabkan sistem bergantung pada ketersediaan dan kestabilan jaringan di lokasi pengering. Oleh karena itu, penelitian ini tidak diarahkan untuk menyelesaikan masalah konektivitas pada wilayah yang tidak memiliki akses internet. Ruang lingkup sistem dibatasi pada Solar Dome Dryer yang berada dalam jangkauan jaringan Wi-Fi. Kinerja komunikasi dievaluasi berdasarkan kontinuitas penerimaan data selama periode pengujian, bukan melalui klaim keberhasilan absolut tanpa memperhitungkan durasi pengujian, interval pengiriman, dan kemungkinan kehilangan data.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini memberikan tiga kontribusi. Pertama, penelitian menghasilkan arsitektur pemantauan iklim mikro berbiaya rendah yang mengintegrasikan DHT22, ESP32, MQTT, jaringan Wi-Fi, basis data cloud, dan dashboard berbasis web. Kedua, penelitian mengevaluasi kesesuaian pembacaan sensor menggunakan 50 pasangan data melalui bias, MAE, RMSE, MAPE, standar deviasi galat, batas kesepakatan, dan uji *t* berpasangan. Ketiga, penelitian mengevaluasi kontinuitas akuisisi dan transmisi melalui 100 siklus pengamatan, jumlah paket diterima, Packet Delivery Ratio, dan kehilangan data.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan memvalidasi sistem pemantauan iklim mikro real-time berbasis IoT sebagai pendukung evaluasi kondisi pengeringan pascapanen pada Solar Dome Dryer. Sistem menggunakan sensor DHT22 sebagai perangkat pengukuran suhu dan kelembapan, ESP32 sebagai unit akuisisi dan komunikasi data, serta platform cloud untuk penyimpanan dan visualisasi data melalui dashboard. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan kesesuaian hasil pengukuran terhadap alat ukur pembandingan dan kontinuitas transmisi data selama pengujian. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menyediakan data iklim mikro yang lebih terukur dan berkelanjutan sebagai dasar evaluasi proses pengeringan dan pengembangan sistem pengering cerdas pada penelitian berikutnya.

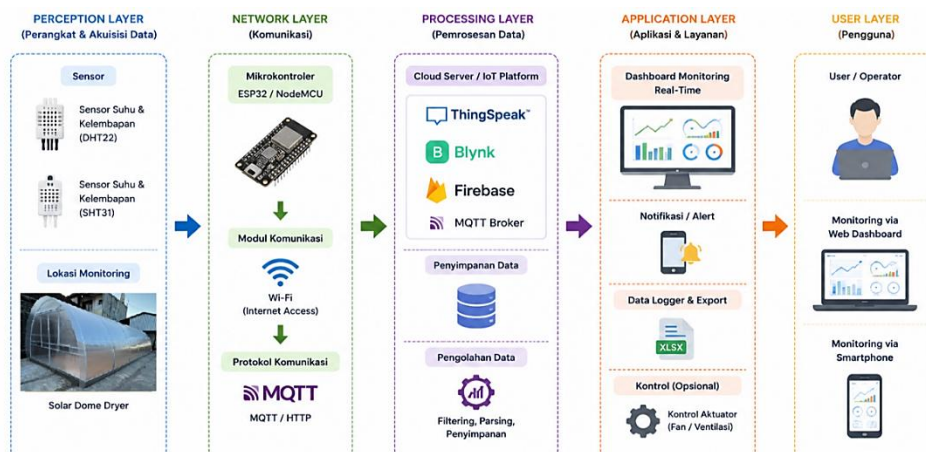
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem dengan validasi eksperimental untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem pemantauan mikroklimat real-time berbasis Internet of Things pada Solar Dome Dryer. Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengembangan prototipe, pengujian fungsi perangkat, verifikasi hasil pengukuran, dan evaluasi komunikasi data, bukan eksperimen murni yang melibatkan kelompok perlakuan dan kelompok kontrol. Tahapan penelitian meliputi identifikasi kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, verifikasi sensor, implementasi pada Solar Dome Dryer, pengujian sistem, serta analisis hasil. Proses perancangan dilakukan secara iteratif untuk memperbaiki kesalahan pembacaan sensor dan gangguan komunikasi sebelum pengujian lapangan dilakukan (Ma'arij & Yudhana, 2023).

2.1 Perancangan dan Arsitektur Sistem

Objek penelitian adalah Solar Dome Dryer dengan dimensi panjang 12 m, lebar 8 m, dan tinggi 3 m. Struktur pengering berbentuk kubah dan menggunakan lembaran polikarbonat transparan untuk meningkatkan suhu ruang melalui efek rumah kaca. Energi panas yang terakumulasi di dalam ruang pengering berpindah ke permukaan bahan melalui proses konveksi sehingga mendukung pelepasan kandungan air dari bahan yang dikeringkan (Ma'arij & Yudhana, 2023; Tiwari & Mishra, 2026). Sistem pemantauan dirancang menggunakan arsitektur IoT yang terdiri atas lapisan penginderaan, pemrosesan, komunikasi, penyimpanan, dan aplikasi. Arsitektur berlapis tersebut sejalan dengan Morchid et al. (2024), yang mengintegrasikan perangkat sensor, sistem tertanam, komunikasi telemetri, dan cloud computing untuk melakukan akuisisi, penyimpanan, serta pemantauan data lingkungan pertanian secara real-time. Lapisan penginderaan menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu udara dan kelembapan relatif di dalam Solar Dome Dryer. DHT22 dipilih karena mempunyai rentang pengukuran yang lebih luas dan resolusi yang lebih tinggi dibandingkan DHT11 yang digunakan pada penelitian sebelumnya (Ma'arij & Yudhana, 2023; Setyawan & Setyawan, 2025).

Penggunaan DHT22 dalam penelitian ini diarahkan pada pengembangan sistem pemantauan berbiaya rendah dan bukan sebagai instrumen pengukuran kelas industri. Sensor tersebut memiliki keterbatasan berupa potensi drift dan penurunan kestabilan pada suhu serta kelembapan ekstrem. Oleh karena itu, hasil pengukurannya tidak hanya didasarkan pada spesifikasi nominal sensor, tetapi diverifikasi menggunakan thermo-hygrometer UNI-T UT333 sebagai alat pembanding. Pemilihan DHT22 didasarkan pada ketersediaan perangkat, kemudahan integrasi, biaya implementasi, dan tujuan penelitian untuk menghasilkan sistem pemantauan yang terjangkau. Sensor kelas industri tidak digunakan karena fokus penelitian bukan mengembangkan instrumen metrologi presisi tinggi, tetapi mengevaluasi kelayakan sistem monitoring IoT berbiaya rendah. Lapisan pemrosesan menggunakan ESP32 untuk membaca data DHT22, memeriksa validitas nilai, memberikan nomor urut dan penanda waktu, serta mengirimkan data ke server. ESP32 dipilih karena mempunyai konektivitas Wi-Fi terintegrasi, konsumsi daya relatif rendah, dan kemampuan pemrosesan yang memadai untuk aplikasi pemantauan lingkungan (Setyawan & Setyawan, 2025; Kirdak, 2025). Lapisan komunikasi menggunakan jaringan Wi-Fi. Data dikirimkan dari ESP32 menuju server menggunakan protokol MQTT. Teknologi LoRa tidak digunakan dalam implementasi penelitian ini, tetapi dapat dipertimbangkan untuk pengembangan pada lokasi yang tidak memiliki jaringan Wi-Fi stabil sebagaimana diterapkan oleh Amuddin et al. (2025) dan Hidayat et al. (2024). Data yang diterima server disimpan pada basis data dan ditampilkan melalui dashboard berbasis web dan smartphone. Dashboard menyajikan nilai suhu, kelembapan relatif, grafik perubahan berdasarkan waktu, status perangkat, waktu pembaruan terakhir, dan data historis. Penggunaan dashboard memungkinkan kondisi Solar Dome Dryer dipantau dari jarak jauh dan secara real-time (Damayanti et al., 2024; Welankiwar et al., 2025). Arsitektur sistem yang menghubungkan lapisan penginderaan, pemrosesan, komunikasi, penyimpanan, dan aplikasi ditunjukkan pada Gambar 1. Data suhu dan kelembapan dari DHT22 diproses oleh ESP32, dikirimkan melalui MQTT, disimpan pada basis data, dan ditampilkan pada dashboard pengguna.

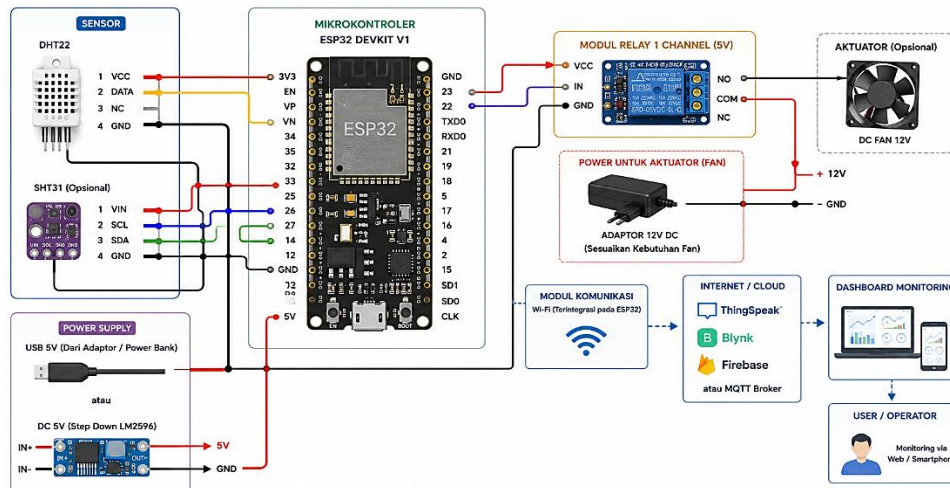


Gambar 1. Arsitektur Monitoring suhu dan kelembapan pada Solar Dome Dryer

2.2 Implementasi dan Penempatan Sensor

Sensor DHT22 ditempatkan pada area yang merepresentasikan kondisi udara di sekitar bahan yang dikeringkan. Sensor tidak ditempelkan langsung pada atap, dinding polikarbonat, lantai, atau rak karena temperatur permukaan dapat berbeda dengan temperatur udara. Untuk mengurangi pengaruh radiasi matahari langsung, debu, dan kondensasi, sensor ditempatkan dalam pelindung berventilasi. ESP32 dan catu daya ditempatkan dalam kotak pelindung yang terpisah dari sensor agar tidak terpapar suhu tinggi secara langsung.

DHT22 dihubungkan dengan ESP32 melalui pin daya, ground, dan jalur data digital. Jalur data dilengkapi resistor *pull-up* untuk menjaga kestabilan sinyal. Wiring diagram menampilkan nomor pin ESP32, tegangan kerja, jalur ground, resistor *pull-up*, sambungan DHT22, sumber daya, dan jalur komunikasi menuju server. Hubungan antara DHT22, ESP32, catu daya, dan perangkat komunikasi diperlihatkan pada Gambar 2. DHT22 terhubung melalui pin data digital yang dilengkapi resistor *pull-up*, sedangkan ESP32 berfungsi sebagai unit akuisisi dan komunikasi.



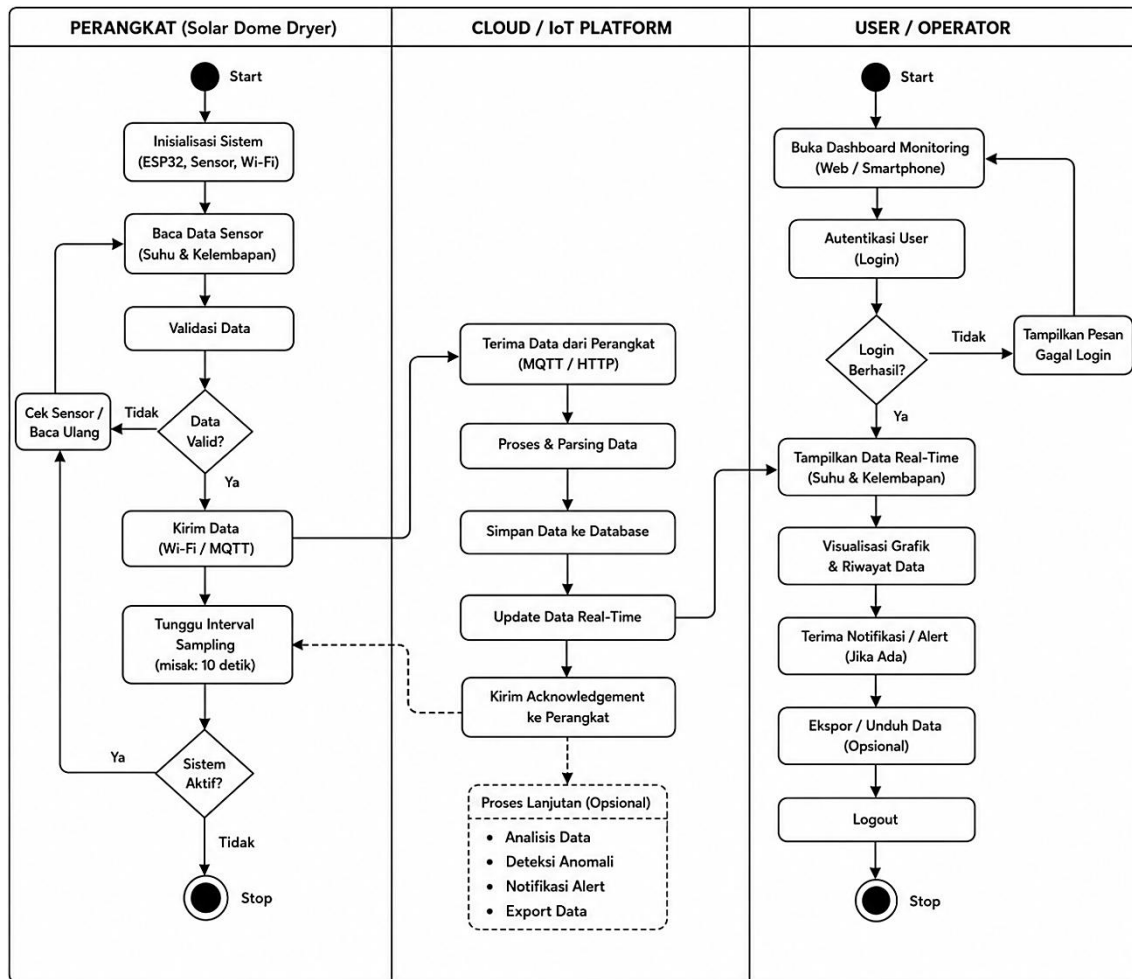
Gambar 2. Wiring Diagram

Sebelum pengujian lapangan, DHT22 diperiksa secara fungsional dan diverifikasi melalui perbandingan dengan thermo-hygrometer UNI-T UT333. Istilah verifikasi digunakan karena pengujian dilakukan dengan alat ukur komersial dan bukan melalui laboratorium kalibrasi yang memiliki ketertelusuran metrologis. Oleh karena itu, UNI-T UT333 disebut sebagai alat pembanding, bukan alat ukur standar terkalibrasi, kecuali tersedia sertifikat kalibrasi yang masih berlaku.

DHT22 dan UNI-T UT333 ditempatkan berdampingan pada posisi, ketinggian, dan kondisi paparan udara yang sama. Kedua perangkat dibiarkan mencapai kestabilan sebelum data dicatat. Perbandingan dilakukan menggunakan 50 pasangan data dengan interval pengukuran yang sama. Karena rentang temperatur UNI-T UT333 terbatas sampai sekitar 60 °C, data DHT22 di atas 60 °C tidak digunakan untuk menyimpulkan akurasi sensor. Data pada rentang tersebut hanya dilaporkan sebagai hasil pembacaan operasional dan sebagai indikasi perubahan termal di dalam Solar Dome Dryer. Dengan demikian, nilai maksimum 65,6 °C tidak dimasukkan dalam klaim validitas pengukuran terhadap UNI-T UT333. Pembatasan tersebut diperlukan untuk mengantisipasi ketidakstabilan DHT22 pada suhu tinggi dan keterbatasan rentang alat pembanding. Verifikasi sensor berbiaya rendah perlu dilakukan melalui pengukuran simultan terhadap alat pembanding dan dianalisis menggunakan metrik galat yang memiliki satuan sama dengan parameter yang diukur. Pendekatan tersebut sejalan dengan Suresha et al. (2022), yang memvalidasi DHT22 terhadap sensor komersial melalui pengukuran kontinu dan menggunakan RMSE untuk mengevaluasi perbedaan suhu serta kelembapan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan MAE, RMSE, standar deviasi galat, dan MAPE untuk memberikan penilaian yang lebih komprehensif daripada hanya menggunakan rata-rata persentase galat.

2.3 Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem dimulai dengan proses inisialisasi DHT22, ESP32, dan jaringan Wi-Fi. Setelah inisialisasi berhasil, ESP32 membaca data suhu dan kelembapan secara periodik. Data diperiksa untuk mendeteksi nilai kosong, not a number, nilai di luar rentang, atau kegagalan komunikasi dengan sensor. Data yang valid diberi nomor urut dan timestamp, kemudian disimpan sementara dalam buffer sebelum dikirim melalui MQTT. Apabila koneksi Wi-Fi tersedia, data dikirim menuju server dan disimpan pada basis data. Apabila koneksi terputus, ESP32 melakukan penyambungan ulang. Kegagalan pembacaan sensor dan gangguan komunikasi dicatat agar dapat dibedakan antara kehilangan data akibat sensor dan kehilangan data akibat jaringan. Data yang berhasil diterima server ditampilkan pada dashboard dalam bentuk nilai aktual, tabel historis, dan grafik deret waktu. Proses tersebut diulang setiap 10 menit selama perangkat aktif. Sistem juga dapat memberikan notifikasi apabila suhu atau kelembapan melewati ambang batas yang telah ditentukan. Alur akuisisi, validasi, transmisi, penyimpanan, dan visualisasi data ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem memeriksa validitas pembacaan sensor dan status koneksi sebelum mengirimkan data menuju server.



Gambar 3. Flowchart Sistem Monitoring pada Solar Dome Dryer

Gambar 3 juga menunjukkan mekanisme penanganan kegagalan, yaitu pembacaan ulang ketika data sensor tidak valid, proses penyambungan kembali ketika Wi-Fi terputus, serta pengiriman ulang data setelah koneksi tersedia.

2.4 Protokol Pengujian dan Analisis Data

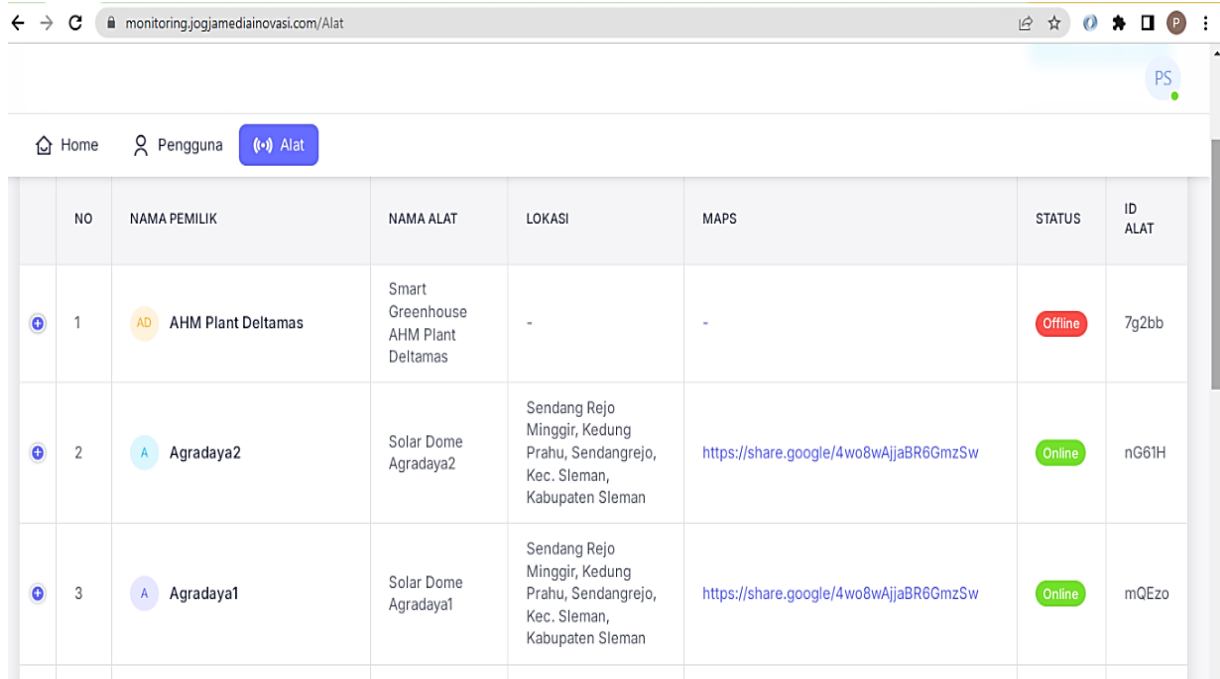
Pengujian sistem meliputi pengujian fungsional, kesesuaian hasil pengukuran, kontinuitas akuisisi data, reliabilitas transmisi, dan operasi sistem pada kondisi Solar Dome Dryer. Pengujian lapangan dilakukan dengan interval akuisisi dan pengiriman data setiap 10 menit. Setiap rekaman memuat nomor urut, waktu pengukuran, suhu, kelembapan relatif, dan status penerimaan data. Kesesuaian pembacaan DHT22 terhadap UNI-T UT333 dianalisis menggunakan selisih pengukuran, Mean Absolute Error dan Root Mean Square Error.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem Monitoring Berbasis IoT

Implementasi sistem monitoring suhu dan kelembapan pada Solar Dome Dryer dilakukan menggunakan arsitektur Internet of Things (IoT) berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DHT22/SHT31, platform cloud, dan dashboard monitoring real-time. Sistem dirancang untuk melakukan akuisisi data suhu dan kelembapan secara periodik, kemudian mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi menuju server IoT menggunakan protokol MQTT/HTTP. Implementasi ini memungkinkan proses monitoring dilakukan secara jarak jauh (remote monitoring) melalui perangkat web maupun smartphone.

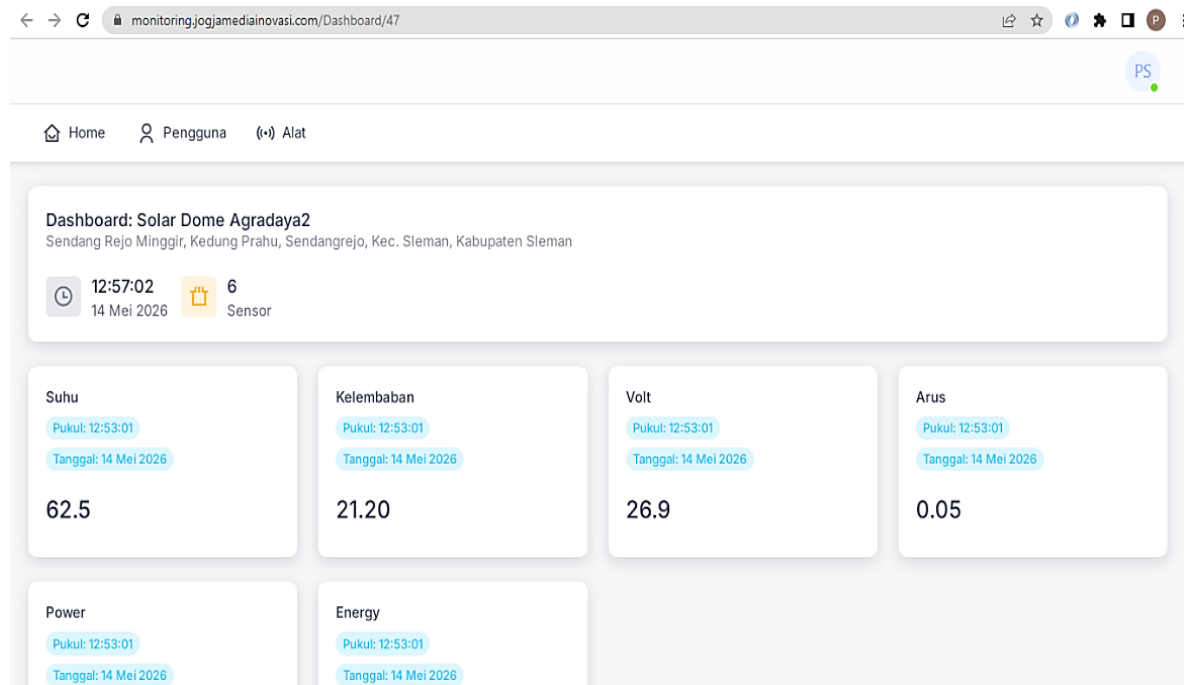
Berdasarkan hasil implementasi, sistem berhasil melakukan pembacaan data suhu dan kelembapan secara kontinu dengan interval pengiriman data di set dalam 10 menit 1 kali. Data sensor yang diperoleh ditampilkan dalam bentuk grafik real-time pada dashboard monitoring sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi internal Solar Dome Dryer. Selain itu, sistem mampu menyimpan histori data pada cloud database sehingga dapat digunakan untuk analisis performa pengeringan maupun pengembangan sistem kontrol cerdas berbasis predictive analytics. Status perangkat yang terdaftar pada sistem ditampilkan pada Gambar 4. Halaman ini memuat identitas alat, pemilik, lokasi, status daring atau luring, serta tautan lokasi pemasangan.



	NO	NAMA PEMILIK	NAMA ALAT	LOKASI	MAPS	STATUS	ID ALAT
	1	AD AHM Plant Deltamas	Smart Greenhouse AHM Plant Deltamas	-	-	Offline	7g2bb
	2	A Agradaya2	Solar Dome Agradaya2	Sendang Rejo Minggir, Kedung Prah, Sendangrejo, Kec. Sleman, Kabupaten Sleman	https://share.google/4wo8wAijaBR6GmzSw	Online	nG61H
	3	A Agradaya1	Solar Dome Agradaya1	Sendang Rejo Minggir, Kedung Prah, Sendangrejo, Kec. Sleman, Kabupaten Sleman	https://share.google/4wo8wAijaBR6GmzSw	Online	mQEzo

Gambar 4. Tampilan List alat yang aktif dan tidak aktif

Halaman alat menampilkan daftar perangkat yang terhubung ke sistem pemantauan dan informasi tentangnya. Nama pemilik, nama alat, lokasi pemasangan, tautan peta lokasi, status perangkat, dan ID alat. Halaman ini memungkinkan pengguna memantau kondisi perangkat secara langsung, baik secara online maupun offline. Ini memudahkan proses pengelolaan sistem dan pemantauan. Gambar 5 memperlihatkan dashboard setiap perangkat yang menyajikan nilai suhu, kelembapan, waktu pembaruan terakhir, dan status perangkat.



Gambar 5. Tampilan Dashbord setiap alat.

Dashboard tersebut menampilkan sistem monitoring real-time Solar Dome Dryer berbasis IoT pada setiap alat dan lokasi dengan parameter utama seperti suhu, kelembapan, tegangan dan arus. Data menunjukkan kondisi pengeringan yang optimal, ditandai dengan suhu tinggi dan kelembapan rendah sehingga mendukung efisiensi proses pengeringan. Selain itu, sistem juga memantau performa energi untuk memastikan operasional alat berjalan stabil dan efisien. Data historis yang tersimpan pada basis data disajikan pada Gambar 6. Fitur pencarian dan ekspor memungkinkan data dipilih berdasarkan waktu dan digunakan untuk analisis lebih lanjut.

← → ↻ monitoring.jogjamediainovasi.com/Report/46

PS

Home Pengguna Alat

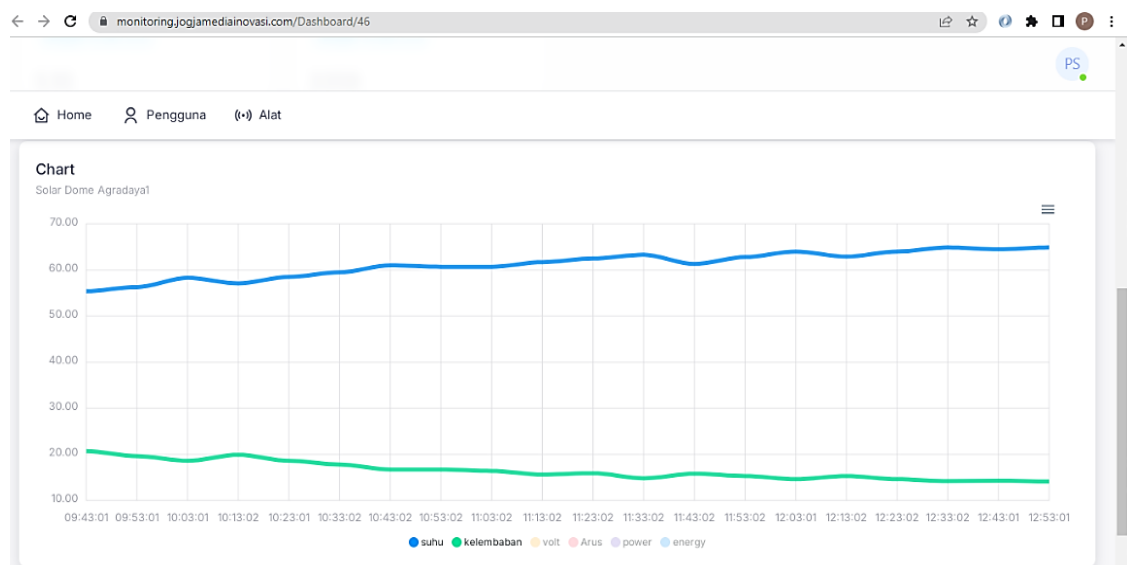
Data Alat: Solar Dome Agradaya1

Search 10 Export

NO	WAKTU	TANGGAL	SUHU	KELEMBABAN	VOLT	ARUS	POWER	ENERGY
21	17:43:01	2026-04-20	33.8	59.10	24.9	1.06	26.30	204
22	17:53:02	2026-04-20	33.4	61.50	25.5	0.20	5.10	205
23	18:03:02	2026-04-20	33.1	61.60	25.5	0.20	5.10	207
24	18:13:02	2026-04-20	32.8	62.80	25.5	0.20	5.00	208
25	18:23:02	2026-04-20	32.5	63.80	25.4	0.20	5.00	210
26	19:43:03	2026-04-20	31.9	66.60	25.4	0.20	5.00	217

Gambar 6. Tampilan akuisisi data time-series

Tampilan diatas menunjukkan halaman laporan data historis dari alat Solar Dome Dryer dalam bentuk tabel yang berisi parameter seperti waktu, suhu, kelembaban, tegangan, arus, daya, dan energi. Data yang ditampilkan merekam kondisi sistem secara berkala, sehingga dapat digunakan untuk analisis performa pengeringan dan konsumsi energi dari waktu ke waktu. Dengan adanya fitur pencarian dan ekspor, pengguna dapat dengan mudah mengelola serta mengolah data untuk kebutuhan evaluasi atau pelaporan. Perubahan suhu dan kelembaban terhadap waktu divisualisasikan pada Gambar 7. Grafik memperlihatkan kecenderungan peningkatan suhu yang diikuti penurunan kelembapan relatif selama periode pemanasan Solar Dome Dryer. pola tersebut menunjukkan perubahan kondisi mikroklimat yang mendukung proses pelepasan uap air, tetapi belum membuktikan efisiensi pengeringan produk secara langsung.



Gambar 7. Tampilan data chart monitoring suhu dan kelembapan

Tampilan tersebut menunjukkan grafik (chart) monitoring parameter Solar Dome Dryer yang menampilkan perubahan suhu dan kelembaban terhadap waktu. Terlihat bahwa suhu cenderung meningkat secara stabil, sementara kelembaban mengalami penurunan, yang mengindikasikan proses pengeringan berlangsung dengan baik. Grafik ini memudahkan pengguna dalam menganalisis tren kondisi lingkungan secara visual dan real-time.

3.2 Analisis Performa Sistem Monitoring

Pengujian lapangan menghasilkan 100 rekaman mikroklimat dengan interval pencatatan 10 menit. Suhu yang tercatat berada pada rentang 29,1–65,6 °C, sedangkan kelembapan relatif berada pada rentang 13,7–79,5% RH. Pola data menunjukkan peningkatan suhu yang diikuti penurunan kelembapan relatif, terutama pada periode meningkatnya pemanasan di dalam Solar Dome Dryer. Hubungan berlawanan tersebut memperlihatkan bahwa sistem mampu merekam perubahan kondisi mikroklimat secara temporal. Namun, pola tersebut belum dapat digunakan untuk menyimpulkan peningkatan laju atau efisiensi pengeringan karena penelitian tidak mengukur perubahan kadar air, massa bahan, dan durasi untuk mencapai kadar air target.



Sistem mencatat 100 data tanpa ditemukannya nilai kosong pada kumpulan data yang dianalisis. Hasil ini menunjukkan bahwa seluruh siklus akuisisi yang diamati berhasil direkam dalam kondisi jaringan selama pengujian. Pernyataan tersebut dibatasi pada 100 siklus pengamatan dan tidak diinterpretasikan sebagai keberhasilan absolut sistem pada semua kondisi operasional. Untuk menyatakan reliabilitas komunikasi, jumlah paket yang direncanakan, dikirimkan, diterima, hilang, dan dikirim ulang perlu dicatat menggunakan nomor urut paket. Sebanyak 100 rekaman suhu dan kelembapan yang diperoleh pada interval 10 menit disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Monitoring Suhu dan Kelembapan

No	Waktu	Tanggal	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	No	Waktu	Tanggal	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
1	00:13:02	5/14/2026	30.7	74.40	51	8:33:02	5/14/2026	49.1	30
2	00:23:01	5/14/2026	30.8	74.30	52	8:43:02	5/14/2026	50.3	28.2
3	00:33:01	5/14/2026	30.9	74.40	53	8:53:02	5/14/2026	51.5	26.4
4	00:43:02	5/14/2026	30.9	74.40	54	9:03:01	5/14/2026	52.5	25.5
5	00:53:02	5/14/2026	30.9	74.40	55	9:13:01	5/14/2026	53.7	23.2
6	01:03:02	5/14/2026	30.8	74.30	56	9:23:02	5/14/2026	54.7	21.9
7	01:13:02	5/14/2026	30.6	74.90	57	9:33:01	5/14/2026	55.4	20.8
8	01:23:02	5/14/2026	30.3	75.80	58	9:43:01	5/14/2026	55.4	20.7
9	01:33:02	5/14/2026	30.2	76.20	59	9:53:01	5/14/2026	56.3	19.6
10	01:43:02	5/14/2026	30.1	76.90	60	10:03:01	5/14/2026	58.3	18.6
11	01:53:02	5/14/2026	30	77.10	61	10:13:02	5/14/2026	57.1	19.9
12	02:03:02	5/14/2026	29.9	77.10	62	10:23:01	5/14/2026	58.5	18.6
13	02:13:01	5/14/2026	29.8	77.50	63	10:33:02	5/14/2026	59.5	17.8
14	02:23:01	5/14/2026	29.7	77.70	64	10:43:02	5/14/2026	61	16.7
15	02:33:01	5/14/2026	29.7	77.80	65	10:53:02	5/14/2026	60.7	16.7
16	02:43:02	5/14/2026	29.6	78.20	66	11:03:02	5/14/2026	60.7	16.4
17	02:53:02	5/14/2026	29.6	78.30	67	11:13:02	5/14/2026	61.7	15.6
18	03:03:02	5/14/2026	29.6	78.30	68	11:23:02	5/14/2026	62.5	15.9
19	03:13:02	5/14/2026	29.6	78.50	69	11:33:02	5/14/2026	63.3	14.8
20	03:23:02	5/14/2026	29.8	77.90	70	11:43:02	5/14/2026	61.3	15.8
21	03:33:02	5/14/2026	29.9	77.00	71	11:53:02	5/14/2026	62.8	15.3
22	03:43:02	5/14/2026	30	76.40	72	12:03:01	5/14/2026	64	14.6
23	03:53:02	5/14/2026	30.1	76.30	73	12:13:02	5/14/2026	62.9	15.3
24	04:03:02	5/14/2026	30.1	76.40	74	12:23:02	5/14/2026	64	14.6
25	04:13:02	5/14/2026	30	76.80	75	12:33:02	5/14/2026	64.9	14.2
26	04:23:02	5/14/2026	29.8	77.50	76	12:43:01	5/14/2026	64.5	14.30
27	04:33:02	5/14/2026	29.6	78.10	77	12:53:01	5/14/2026	64.9	14.10
28	04:43:01	5/14/2026	29.7	78.10	78	13:03:01	5/14/2026	65.6	13.70
29	04:53:01	5/14/2026	29.8	77.30	79	13:13:01	5/14/2026	65.6	13.70
30	05:03:01	5/14/2026	29.8	77.20	80	13:23:01	5/14/2026	56	20.00
31	05:13:01	5/14/2026	29.8	77.30	81	13:33:01	5/14/2026	58.4	18.70
32	05:23:01	5/14/2026	29.8	77.70	82	06:13:01	5/13/2026	29.1	77.60
33	05:33:01	5/14/2026	29.6	78.50	83	22:23:02	5/13/2026	31.2	73.90
34	05:43:02	5/14/2026	29.5	79.10	84	22:33:02	5/13/2026	31.1	74.40
35	05:53:02	5/14/2026	29.4	79.50	85	22:43:02	5/13/2026	31	74.50
36	06:03:02	5/14/2026	29.5	79.00	86	06:23:01	5/13/2026	29.5	75.70
37	06:13:02	5/14/2026	29.8	78.10	87	22:53:02	5/13/2026	30.9	74.40
38	06:23:01	5/14/2026	30.2	76.50	88	06:33:01	5/13/2026	30.1	73.80
39	06:33:02	5/14/2026	30.6	74.30	89	23:03:02	5/13/2026	30.8	74.30
40	06:43:02	5/14/2026	31.2	72.90	90	06:43:01	5/13/2026	30.6	72.20
41	06:53:01	5/14/2026	32.5	68.40	91	06:53:02	5/13/2026	32.3	66.70
42	07:03:01	5/14/2026	32.1	69.50	92	07:03:02	5/13/2026	34.3	60.60
43	07:13:01	5/14/2026	32.3	68.90	93	07:13:02	5/13/2026	35.7	55.60
44	07:23:02	5/14/2026	33.5	65.40	94	07:23:02	5/13/2026	37.6	50.70
45	07:33:02	5/14/2026	34.8	61.50	95	07:33:02	5/13/2026	39.4	46.60
46	07:43:02	5/14/2026	37.3	54.40	96	07:43:02	5/13/2026	41.4	42.20
47	07:53:02	5/14/2026	40.5	46.20	97	07:53:02	5/13/2026	43	38.60
48	08:03:03	5/14/2026	44	38.30	98	08:03:02	5/13/2026	44.9	35.50
49	08:13:02	5/14/2026	45.2	36.30	99	08:13:02	5/13/2026	46.4	32.80
50	08:23:02	5/14/2026	47.2	32.80	100	08:23:02	5/13/2026	48	31.00



Berdasarkan Tabel 1, suhu berada pada rentang 29,1–65,6 °C, sedangkan kelembapan relatif berada pada rentang 13,7–79,5% RH. Kenaikan suhu pada pagi hingga siang hari diikuti penurunan kelembapan relatif. Selama proses pengujian, seluruh data sensor berhasil terbaca dan tersimpan tanpa adanya data kosong (missing data). Apabila 100 data tersebut benar-benar mewakili 100 paket yang seharusnya dikirim dan seluruhnya diterima server, hasil komunikasi dapat dilaporkan sebagai:

$$\text{Packet Delivery Ratio} = \frac{\text{total data diterima server}}{\text{total data yang seharusnya dikirimkan}} \times 100\% = \frac{100}{100} \times 100\% = 100\% \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Data Loss} &= \frac{\text{Jumlah data yang seharusnya dikirimkan} - \text{jumlah data diterima server}}{\text{jumlah data yang seharusnya dikirimkan}} \times 100\% \\ &= \frac{100 - 100}{100} \times 100\% = 0\% \end{aligned}$$

Pada pengujian terbatas sebanyak 100 siklus transmisi dengan interval 10 menit, seluruh data berhasil diterima dan disimpan pada server sehingga diperoleh Packet Delivery Ratio sebesar 100% dan kehilangan data sebesar 0%. Hasil tersebut berlaku pada kondisi jaringan selama periode pengujian dan belum merepresentasikan ketahanan sistem terhadap gangguan koneksi.

3.2.1 Analisis Kesesuaian Pengukuran

Kesesuaian hasil pengukuran dianalisis menggunakan 50 pasangan data DHT22 dan thermo-hygrometer UNI-T UT333 yang dicatat secara bersamaan. Perbandingan simultan antara DHT22 dan UNI-T UT333 menggunakan 50 pasangan data ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil data suhu dan kelembapan antara Sistem Monitoring dengan Termometer Higrometer Uni-T UT333

No	Waktu	Suhu Sistem Monitoring (°C)	Suhu UNI-T UT333 (°C)	Error Suhu	% Error Suhu	RH Sistem Monitoring (%)	RH UNI-T UT333 (%)	Error RH	% Error RH
1	24/05/2026 08:00	31.5	31.3	0.2	0.64	60.5	60.8	-0.3	0.49
2	24/05/2026 08:10	31.4	31.2	0.2	0.64	60.4	60.7	-0.3	0.49
3	24/05/2026 08:20	32.3	32.1	0.2	0.62	58.3	58.6	-0.3	0.51
4	24/05/2026 08:30	33.5	33.3	0.2	0.60	56.5	56.8	-0.3	0.53
5	24/05/2026 08:40	34.4	34.2	0.2	0.58	56.4	56.6	-0.2	0.35
6	24/05/2026 08:50	34.2	34.1	0.1	0.29	54.2	54.4	-0.2	0.37
7	24/05/2026 09:00	36.6	36.5	0.1	0.27	53.6	53.9	-0.3	0.56
8	24/05/2026 09:10	36.2	36.1	0.1	0.28	53.2	53.6	-0.4	0.75
9	24/05/2026 09:20	38.3	38.2	0.1	0.26	53.3	53.6	-0.3	0.56
10	24/05/2026 09:30	39.2	39.1	0.1	0.26	51.2	51.4	-0.2	0.39
11	24/05/2026 09:40	39.4	39.3	0.1	0.25	49.4	49.6	-0.2	0.40
12	24/05/2026 09:50	42.3	42.2	0.1	0.24	48.3	48.5	-0.2	0.41
13	24/05/2026 10:00	45.5	45.4	0.1	0.22	46.5	46.8	-0.3	0.64
14	24/05/2026 10:10	46.5	46.4	0.1	0.22	44.5	44.8	-0.3	0.67
15	24/05/2026 10:20	46.4	46.3	0.1	0.22	44.4	44.8	-0.4	0.89
16	24/05/2026 10:30	47.3	47.1	0.2	0.42	44.3	44.6	-0.3	0.67
17	24/05/2026 10:40	47.5	47.3	0.2	0.42	43.5	43.8	-0.3	0.68
18	24/05/2026 10:50	48.4	48.2	0.2	0.41	40.4	40.7	-0.3	0.74
19	24/05/2026 11:00	48.2	48	0.2	0.42	39.2	39.5	-0.3	0.76
20	24/05/2026 11:10	48.6	48.4	0.2	0.41	37.6	38	-0.4	1.05
21	24/05/2026 11:20	49.2	49	0.2	0.41	36.2	36.6	-0.4	1.09
22	24/05/2026 11:30	49.3	49.1	0.2	0.41	36.3	36.6	-0.3	0.82
23	24/05/2026 11:40	50.2	49.9	0.3	0.60	34.2	34.5	-0.3	0.87
24	24/05/2026 11:50	52.4	52.2	0.2	0.38	31.4	31.7	-0.3	0.95
25	24/05/2026 12:00	53.3	53.2	0.1	0.19	29.3	29.7	-0.4	1.35
26	24/05/2026 12:10	54.5	54.4	0.1	0.18	28.5	28.8	-0.3	1.04
27	24/05/2026 12:20	54.2	54.1	0.1	0.18	24.2	24.5	-0.3	1.22
28	24/05/2026 12:30	55.4	55.3	0.1	0.18	24.4	24.8	-0.4	1.61
29	24/05/2026 12:40	55.3	55.2	0.1	0.18	23.3	23.7	-0.4	1.69
30	24/05/2026 12:50	56.5	56.4	0.1	0.18	23.5	23.8	-0.3	1.26
31	24/05/2026 13:00	57.5	57.4	0.1	0.17	21.5	21.8	-0.3	1.38
32	24/05/2026 13:10	57.4	57.3	0.1	0.17	18.4	18.6	-0.2	1.08
33	24/05/2026 13:20	59.3	59.2	0.1	0.17	18.3	18.5	-0.2	1.08
34	24/05/2026 13:30	60.5	60.4	0.1	0.17	18.5	18.7	-0.2	1.07

No	Waktu	Suhu Sistem Monitoring (°C)	Suhu UNI-T UT333 (°C)	Error Suhu	% Error Suhu	RH Sistem Monitoring (%)	RH UNI-T UT333 (%)	Error RH	% Error RH
35	24/05/2026 13:40	60.4	60.2	0.2	0.33	16.4	16.7	-0.3	1.80
36	24/05/2026 13:50	50.2	50	0.2	0.40	18.2	18.5	-0.3	1.62
37	24/05/2026 14:00	50.3	50.1	0.2	0.40	18.3	18.6	-0.3	1.61
38	24/05/2026 14:10	50.2	50.1	0.1	0.20	21.2	21.5	-0.3	1.40
39	24/05/2026 14:20	49.4	49.2	0.2	0.41	21.4	21.7	-0.3	1.38
40	24/05/2026 14:30	48.3	48.1	0.2	0.42	21.3	21.6	-0.3	1.39
41	24/05/2026 14:40	48.5	48.3	0.2	0.41	22.5	22.8	-0.3	1.32
42	24/05/2026 14:50	48.2	48	0.2	0.42	22.2	22.4	-0.2	0.89
43	24/05/2026 15:00	48.4	48.3	0.1	0.21	23.4	23.6	-0.2	0.85
44	24/05/2026 15:10	48.3	48.2	0.1	0.21	25.3	25.6	-0.3	1.17
45	24/05/2026 15:20	48.5	48.4	0.1	0.21	26.5	26.7	-0.2	0.75
46	24/05/2026 15:30	42.5	42.4	0.1	0.24	30.5	30.7	-0.2	0.65
47	24/05/2026 15:40	42.4	42.3	0.1	0.24	38.4	38.6	-0.2	0.52
48	24/05/2026 15:50	41.3	41.1	0.2	0.49	38.3	38.6	-0.3	0.78
49	24/05/2026 16:00	41.3	41.1	0.2	0.49	40.3	40.5	-0.2	0.49
50	24/05/2026 16:10	42.1	41.9	0.2	0.48	40.7	41	-0.3	0.73

Berdasarkan perhitungan, rata-rata suhu yang dihasilkan DHT22 adalah 46,660 °C, sedangkan rata-rata alat pembanding adalah 46,510 °C. Perbedaan tersebut menghasilkan bias sebesar +0,150 °C, yang menunjukkan bahwa DHT22 cenderung memberikan pembacaan suhu sedikit lebih tinggi daripada alat pembanding. Nilai MAE suhu adalah 0,150 °C, RMSE sebesar 0,159 °C, dan standar deviasi galat sebesar 0,054 °C. Nilai MAPE Suhu sebesar 0,34% MAPE Kelembapan 0,92%. Pada pengukuran kelembapan, rata-rata pembacaan DHT22 adalah 35,772% RH, sedangkan rata-rata pembacaan UNI-T UT333 adalah 36,058% RH. Bias sebesar -0,286% RH menunjukkan bahwa DHT22 cenderung memberikan pembacaan kelembapan lebih rendah daripada alat pembanding. Nilai MAE kelembapan adalah 0,286% RH, RMSE sebesar 0,293% RH, standar deviasi galat sebesar 0,064% RH, dan MAPE sebesar 0,916%. Ringkasan hasil evaluasi statistik kedua parameter disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil evaluasi statistik pembacaan DHT22

Parameter statistik	Suhu	Kelembapan
Jumlah pasangan data	50	50
Rata-rata DHT22	46,660 °C	35,772% RH
Rata-rata UNI-T UT333	46,510 °C	36,058% RH
Bias	+0,150 °C	-0,286% RH
MAE	0,150 °C	0,286% RH
RMSE	0,159 °C	0,293% RH
Standar deviasi galat	0,054 °C	0,064% RH
MAPE	0,34%	0,92%
Batas kesepakatan 95%	0,043–0,257 °C	-0,411–0,161% RH
Uji <i>t</i> berpasangan	$t(49)=19,498$	$t(49)=-31,639$
Nilai signifikansi	$p<0,001$	$p<0,001$

Berdasarkan Tabel 3, RMSE suhu sebesar 0,159 °C dan RMSE kelembapan sebesar 0,293% RH. Selisih kecil antara MAE dan RMSE menunjukkan bahwa tidak ditemukan galat ekstrem pada 50 pasangan data, meskipun uji *t* menunjukkan adanya bias sistematis antara kedua perangkat. RMSE suhu yang sedikit lebih tinggi daripada MAE menunjukkan bahwa terdapat variasi galat, tetapi tidak ditemukan deviasi ekstrem pada 50 pasangan data. Kondisi yang sama terlihat pada kelembapan, dengan selisih RMSE dan MAE yang relatif kecil. Standar deviasi galat yang rendah menunjukkan bahwa selisih pembacaan relatif konsisten selama periode perbandingan. Analisis kesepakatan menghasilkan batas kesepakatan 95% sebesar 0,043–0,257 °C untuk suhu. Artinya, DHT22 cenderung memberikan hasil antara 0,043 °C dan 0,257 °C lebih tinggi daripada UNI-T UT333. Pada kelembapan, batas kesepakatan 95% berada pada -0,411 sampai -0,161% RH sehingga DHT22 secara konsisten memberikan nilai yang lebih rendah daripada alat pembanding.

Uji *t* berpasangan menghasilkan $t(49)=19,498$ dengan $p<0,001$ untuk suhu dan $t(49)=-31,639$ dengan $p<0,001$ untuk kelembapan. Hasil tersebut menunjukkan adanya bias sistematis antara kedua perangkat. Meskipun besar perbedaannya relatif kecil secara numerik, hasil pengujian tidak boleh disimpulkan sebagai kesamaan sempurna. Oleh karena itu, hasil penelitian menunjukkan kesesuaian pembacaan pada kondisi pengujian, bukan membuktikan akurasi absolut DHT22. Selain itu, perbandingan dengan UNI-T UT333 hanya dilakukan sampai kisaran 60,5 °C pada Tabel 2. Nilai operasional maksimum 65,6 °C tidak termasuk dalam data perbandingan sehingga tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa DHT22 telah tervalidasi sampai suhu tersebut.



3.2.2 Analisis Awal Pengaruh Pemanasan dan Pendinginan

Data perbandingan menunjukkan adanya fase peningkatan suhu sampai sekitar 60 °C dan fase penurunan suhu setelah periode maksimum. Pada fase pemanasan, bias suhu rata-rata sebesar +0,146 °C dengan RMSE 0,156 °C. Pada fase penurunan suhu, bias meningkat menjadi +0,160 °C dengan RMSE 0,167 °C. Untuk kelembapan, bias pada fase pemanasan sebesar -0,297% RH dan pada fase penurunan sebesar -0,260% RH.

Perbedaan performa antara kedua fase relatif kecil. Namun, hasil tersebut belum cukup untuk menyatakan bahwa DHT22 tidak mengalami histeresis karena pengujian tidak menggunakan siklus pemanasan dan pendinginan berulang pada titik suhu yang sama. Pengaruh histeresis dan drift memerlukan pengujian terkontrol dengan beberapa siklus naik-turun suhu, waktu penahanan pada setiap titik, dan verifikasi ulang setelah sensor terpapar suhu tinggi dalam durasi panjang.

3.3 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi DHT22, ESP32, MQTT, dan cloud database mampu menyediakan data iklimat Solar Dome Dryer secara periodik. Fungsi tersebut sejalan dengan Ma'arij dan Yudhana (2023), yang menggunakan sensor DHT22 dan DHT11 serta aplikasi Blynk untuk memantau suhu dan kelembapan Solar Dome Dryer. Namun, penelitian tersebut melaporkan galat DHT22 sebesar 1,572% untuk suhu dan 5,223% untuk kelembapan, sedangkan penelitian ini menghasilkan MAPE sebesar 0,34% dan 0,92%. Perbedaan nilai tersebut tidak dapat langsung diartikan sebagai keunggulan absolut karena alat pembanding, rentang pengukuran, penempatan sensor, durasi pengujian, dan kondisi lingkungan yang digunakan berbeda.

Dari aspek evaluasi sensor, penelitian ini menggunakan bias, MAE, RMSE, MAPE, standar deviasi galat, batas kesepakatan, dan uji t berpasangan. Pendekatan ini melengkapi penelitian IoT yang umumnya hanya melaporkan persentase galat atau kesesuaian fungsi perangkat. Hasil RMSE sebesar 0,159 °C untuk suhu dan 0,293% RH untuk kelembapan menunjukkan bahwa selisih pembacaan relatif kecil pada rentang validasi. Hasil tersebut juga sejalan dengan pendekatan Suresha et al. (2022), yang menggunakan RMSE untuk mengevaluasi DHT22 terhadap perangkat pembanding.

Berbeda dengan Nebrida (2024) dan Adham et al. (2026), penelitian ini tidak melakukan pengendalian suhu maupun kelembapan secara otomatis. Nebrida mengembangkan pengering gabah aktif yang mempertahankan suhu 50–60 °C dan mengevaluasi penurunan kadar air, sedangkan Adham et al. mengintegrasikan DHT22, ESP32, ThingSpeak, dan kipas sebagai aktuatur. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini bukan terletak pada otomatisasi proses, tetapi pada pengembangan dan validasi sistem pemantauan iklimat berbiaya rendah pada kondisi operasional Solar Dome Dryer.

Dari aspek komunikasi, seluruh 100 siklus transmisi berhasil diterima selama kondisi jaringan pengujian. Hasil ini menunjukkan fungsi komunikasi berjalan baik pada skenario terbatas, tetapi belum dapat dibandingkan sebagai reliabilitas jangka panjang karena belum dilakukan stress-test berupa pelemahan sinyal, pemutusan Wi-Fi, kegagalan server, dan pengiriman ulang data. Penggunaan LoRa sebagaimana diterapkan oleh Amuddin et al. (2025) dapat dipertimbangkan untuk lokasi pengering yang berada di luar jangkauan Wi-Fi.

Temuan penelitian memperlihatkan bahwa sistem dapat digunakan sebagai sumber data iklimat dan pendukung pengambilan keputusan operasional. Namun, data suhu dan kelembapan belum cukup untuk menyatakan peningkatan efisiensi pengeringan. Validasi kinerja pengeringan memerlukan integrasi kadar air awal dan akhir, perubahan massa, lama pengeringan, konsumsi energi, dan mutu produk. Selain itu, pengujian lanjutan perlu menggunakan instrumen referensi terkalibrasi dengan rentang di atas 60 °C serta melakukan siklus pemanasan dan pendinginan berulang untuk mengevaluasi drift dan histeresis DHT22.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan sistem pemantauan iklimat real-time berbasis Internet of Things pada Solar Dome Dryer menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32. Sistem mampu merekam perubahan suhu 29,1–65,6 °C dan kelembapan relatif 13,7–79,5% RH serta menyimpan data secara periodik pada dashboard berbasis web. Pada pengujian terbatas sebanyak 100 siklus akuisisi dengan interval 10 menit, seluruh data berhasil tersimpan tanpa ditemukan data kosong. Hasil tersebut hanya menggambarkan performa sistem pada kondisi jaringan selama pengujian dan tidak menunjukkan keberhasilan absolut pada seluruh kondisi operasional. Perbandingan 50 pasangan data terhadap UNI-T UT333 menghasilkan MAE sebesar 0,150 °C untuk suhu dan 0,286% RH untuk kelembapan, sedangkan RMSE masing-masing sebesar 0,159 °C dan 0,293% RH. Nilai MAPE sebesar 0,336% untuk suhu dan 0,916% untuk kelembapan menunjukkan bahwa DHT22 mempunyai kesesuaian pembacaan yang relatif konsisten terhadap alat pembanding pada rentang pengujian. Namun, pembacaan di atas 60 °C tidak digunakan sebagai dasar klaim akurasi karena berada di luar rentang validasi alat pembanding dan berpotensi dipengaruhi oleh drift sensor pada kondisi ekstrem. Kontribusi utama penelitian ini adalah tersedianya kerangka pengembangan dan validasi sistem pemantauan iklimat berbiaya rendah yang tidak hanya menampilkan data sensor, tetapi juga mengevaluasi kesesuaian pengukuran dan kontinuitas komunikasi pada kondisi operasional Solar Dome Dryer. Temuan ini memberikan dasar teknis bagi pengelola unit pengering, kelompok tani, dan pengembang teknologi pascapanen untuk menerapkan pemantauan berbasis data dengan mempertimbangkan keterbatasan sensor dan jaringan komunikasi. Meskipun



demikian, sistem masih bergantung pada kestabilan jaringan Wi-Fi. Pada lokasi dengan konektivitas terbatas, implementasi perlu dilengkapi penyimpanan lokal, mekanisme buffer dan pengiriman ulang, serta alternatif komunikasi jarak jauh seperti LoRa. Pengembangan berikutnya juga perlu mencakup stress-test jaringan, pengujian histeresis dan drift sensor dalam durasi panjang, penggunaan instrumen referensi terkalibrasi, serta integrasi data kadar air dan massa bahan agar pengaruh mikroklimat terhadap kinerja pengeringan dapat dianalisis secara langsung.

REFERENCES

- Amuddin, A., Sumarsono, J., & Salman, S. (2025). Internet of Things and LoRa-based monitoring system on solar dryer dome for coffee drying. *Jurnal Agrotek UMMat*, 12(1), 22–22. <https://doi.org/10.31764/jau.v12i1.28751>
- Damayanti, S. E., Fatah, A., Pratiwi, D. S., Hadi, R. M. E., Aridwan, & Syukrillah. (2024). Implementasi Iot Pada Solar Dryer Dome Dwi Energi Untuk Monitoring Suhu Dan Kelembapan Di Bumdes Ciputri Gemilang. *Naratif Jurnal Nasional Riset Aplikasi Dan Teknik Informatika*, 6(2), 158–164. <https://doi.org/10.53580/naratif.v6i2.297>
- Ma'arij, D. T., & Yudhana, A. (2023). Temperature and Humidity Monitoring System in Internet of Things-based Solar Dryer Dome. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 5(3), 323–335. <https://doi.org/10.12928/biste.v5i3.8633>
- Setyawan, G. C., & Setyawan, L. J. (2025). Model Sistem Pengereng Tenaga Surya Berbasis IoT dengan ESP32 dan DHT-11. *Progresif Jurnal Ilmiah Komputer*, 21(1), 1–1. <https://doi.org/10.35889/progresif.v21i1.2398>
- Welankiwar, A. S., Ninawe, A. S., Dukare, D., Bahadure, U. D., Kale, S. P., Tighare, M., & Shende, A. (2025). IOT Based Solar Dryer for Agriculture Products. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, 2475–2475. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/25nov1349>
- Hidayat, S. S., Shabiya, K. I., Kadiran, S. A., Mujahidin, I., Prabowo, M. C. A., Nursyahid, A., Wasito, E., & Helmy, H. (2024). Real-Time Web-Based Monitoring System for Temperature, Humidity, and Solar Panels in Ramie Drying Facilities. *Scientific Journal of Informatics*, 11(1), 69–80. <https://doi.org/10.15294/sji.v11i1.47234>
- Hasan, M., Sarkar, F. R., Aktar, S., & Islam, K. (2025). Modification and performance evaluation of IoT-enabled solar dryer for fish drying. *GSC Advanced Research and Reviews*, 22(1), 1–13. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2025.22.1.0519>
- Nkolokosa, D., Loganathan, M., Waita, S., & Moses, J. A. (2026). Progress in Smart Solar Drying Technologies and the Sustainability of Drying Systems: Systematic Review. *Journal of Food Process Engineering*, 49(3). <https://doi.org/10.1111/jfpe.70439>
- Tiwari, S., & Mishra, S. (2026). IoT-integrated Intelligent and Quality-aware Solar Drying Systems: A Comprehensive Review of Technologies and Control Strategies. *Asian Food Science Journal*, 25(3), 78–104. <https://doi.org/10.9734/afsj/2026/v25i3863>
- Syahputra, R., & Andriani, D. (2025). Development of a Smart Farming Monitoring System Using IoT and Android Technology to Support Precision Farming in the Western Part of Aceh. *Applied Mechanics and Materials*, 927, 67–79. <https://doi.org/10.4028/p-bw93wr>
- Sharma, B. B., Vaidya, P., Kumar, N., Tiwari, A., Bansal, S., Faruque, M. R. I., & Almugren, K. S. (2025). Enhancing post-harvest sustainability in temperate crops through smart IoT-integrated indirect solar dryer. *Scientific Reports*, 15(1), 28608–28608. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13499-x>
- Hananda, N., Kamul, A., Harito, C., Djuana, E., Elwirehardja, G. N., Pardamean, B., Gunawan, F. E., Budiman, A. S., Asrol, M., & Pasang, T. (2023). Solar drying in Indonesia and its development: a review and implementation. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1169(1), 12084–12084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1169/1/012084>
- Pramono, E. K., Karim, M. A., Fudholi, A., Bulan, R., Lapcharoensuk, R., & Sitorus, A. (2022). Low cost telemonitoring technology of semispherical solar dryer for drying Arabica coffee beans. *INMATEH Agricultural Engineering*, 66(1), 340–350. doi:10.35633/inmateh-66-34
- Abouelmehdi, K., Elhattab, K., & MOUTAOUAKKIL, A. E. (2022). Smart Agriculture Monitoring System using Clean Energy. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(5). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2022.0130544>
- Adham, D. F., Pradana, B. A., Septananda, R. D., & Susilawati. (2026). Rancang bangun prototipe sistem pengereng gabah otomatis dengan pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 14(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v14i1.8499>
- Saputra, A. A., Irawan, B., Akbar, H., & Arfian, M. H. (2025). Rancang Bangun Prototype Dryer House Berbasis Internet Of Things. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(6), 10144–10151. <https://doi.org/10.36040/jati.v9i6.16403>
- Amin, M. N., & Arrahimi, A. R. (2025). Rancang Bangun Pengereng Gabah Berbasis IoT dengan Model Rotary Dryer. *Journal Information Technology Trends*, 2(2). <https://doi.org/10.51817/jitrends.v2i2.37>
- Morchid, A., Jebabra, R., Khalid, H. M., El Alami, R., Qjidaa, H., & Ouazzani Jamil, M. (2024). IoT-based smart irrigation management system to enhance agricultural water security using embedded systems, telemetry data, and cloud computing. *Results in Engineering*, 23, 102829. doi: 10.1016/j.rineng.2024.102829.
- Kirdak, S. (2025). Smart Agriculture Monitoring System Using IoT. *Interantional Journal Of Scientific Research In Engineering And Management*, 9(4), 1–9. <https://doi.org/10.55041/ijrsrem45744>



- Nebrida, A. P. (2024). Smart integration in agriculture: An Arduino-driven rice grain dryer for optimal post-harvest management. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 11, Article 46. doi: 10.1186/s43067-024-00170-0.
- Suresha, P. B., Hegde, C., Jiang, Z., & Clifford, G. D. (2022). An edge computing and ambient data capture system for clinical and home environments. *Sensors*, 22(7), 2511. doi: 10.3390/s22072511.