

Rancang Bangun Alat Pengering Produk Pertanian Berbasis Tenaga Surya dengan Kontrol Suhu Otomatis dan Suplai Udara Panas Berbasis *Internet of Things*

Erdo Adriosia¹, I Putu Hikariantara², Adiman³, Ulpen Hiermy⁴, Hendriyanto⁵

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Bina Tunggal

⁵ Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Pranata Indonesia

^{1,2,3,4} Jl. Wahab Affan No.1, Medan Satria, Kota Bekasi, Jawa Barat, Indonesia 17132

⁵ Jl. Pengasinan Tengah No.100, Pengasinan, Kec. Rawalumbu, Kota Bekasi, Jawa Barat, Indonesia 17115

¹ edroadriosia.studentsttbt@gmail.com

² iputu.hikariantara@stt-binatunggal.ac.id

³ adiman@stt-binatunggal.ac.id

⁴ ulpen.hiermy@stt-binatunggal.ac.id

⁵ hendriyanto@pranataindonesia.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 23-11-2025
revisi : 01-12-2025
diterima : 25-12-2025
dipublish : 31-12-2025

ABSTRAK

Proses pengeringan konvensional yang mengandalkan sinar matahari memiliki keterbatasan pada ketergantungan cuaca dan risiko kontaminasi, yang merugikan kualitas pascapanen petani. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan sistem pengering hasil pertanian otomatis berbasis tenaga surya (*smart solar dryer*) berkapasitas 50–60 kg yang terintegrasi dengan pemanas resistif cadangan. Metode penelitian melibatkan implementasi mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali utama, sensor DHT11 untuk pemantauan suhu dan kelembaban, serta sistem *forced-convection* berbasis blower untuk distribusi panas yang merata. Sistem ini juga mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) melalui platform Blynk untuk pemantauan dan kendali jarak jauh secara *real-time*. Pengujian dilakukan pada komoditas sayuran kangkung, bayam, dan sawi untuk mengukur tingkat penyusutan bobot dan performa termal ruang pengering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan suhu otomatis pada rentang 50–60°C dengan akurasi yang konsisten meskipun kondisi cuaca berfluktuasi. Pemanas resistif terbukti efektif mempertahankan suhu saat radiasi matahari menurun, sementara sistem *forced-convection* mempercepat evaporasi dan memastikan keseragaman hasil pengeringan. Integrasi IoT melalui Blynk menunjukkan performa jaringan yang andal dalam transmisi data sensor. Disimpulkan bahwa prototipe ini memberikan solusi teknologi tepat guna yang efisien bagi UMKM pertanian untuk meningkatkan kualitas produk dan kemandirian energi di wilayah tropis.

Kata kunci : Smart Solar Dryer, ESP32, IoT Blynk, Pengeringan Sayuran, Pemanas Resistif.

PENDAHULUAN

Proses pengeringan pascapanen berperan penting dalam menjaga mutu dan memperpanjang masa simpan produk pertanian. Metode konvensional berupa penjemuran terbuka masih banyak digunakan, namun sangat bergantung pada cuaca, membutuhkan waktu lama, berisiko kontaminasi, serta menghasilkan mutu yang tidak seragam (Saini et al., 2023). Kondisi tersebut menyebabkan kerugian ekonomi terutama pada petani skala kecil.

Solar dryer menjadi alternatif karena memanfaatkan energi terbarukan dan mampu meningkatkan efisiensi pengeringan. Sistem pengering modern telah dikembangkan dengan sensor suhu dan kelembaban, mikrokontroler, serta koneksi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan real-time (Nkolokosa et al., 2023; Islam et al., 2021). Selain itu, konsep hybrid dengan pemanas tambahan dapat menjaga kestabilan suhu ketika radiasi matahari rendah (Hossain & Rahman, 2021). Distribusi panas yang merata melalui forced-convection juga terbukti meningkatkan keseragaman hasil pengeringan (Babatunde et al., 2022).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih terbatas pada kapasitas kecil dan belum mengintegrasikan kontrol suhu otomatis, sirkulasi udara aktif, serta monitoring jarak jauh dalam satu sistem kompak. Ketidakstabilan suhu dan

kurangnya pemantauan menyebabkan kualitas produk tidak konsisten serta konsumsi energi kurang efisien (El Azab, 2023; Bennamoun et al., 2024). Oleh karena itu diperlukan pengembangan sistem pengering tenaga surya yang stabil, otomatis, dan mudah diterapkan pada skala petani atau UMKM.

TEORI

Pengeringan Pascapanen Hasil Pertanian

Pengeringan merupakan proses penurunan kadar air bahan pertanian untuk memperpanjang masa simpan dan mencegah kerusakan mikrobiologis. Kadar air tinggi memicu respirasi, fermentasi, serta pertumbuhan jamur dan bakteri sehingga menurunkan mutu produk (Saini et al., 2023; Babatunde et al., 2022). Standar penyimpanan menetapkan batas kadar air tertentu, misalnya beras $\pm 14\%$ dan jagung $\pm 13\%$ agar aktivitas mikroba terhambat (BSN, 2021).

Metode penjemuran tradisional masih banyak digunakan namun memiliki kelemahan berupa ketergantungan cuaca, kontaminasi, serta distribusi panas tidak merata yang menyebabkan penurunan kualitas dan kerugian pascapanen (Elwakeel et al., 2025). Oleh karena itu dikembangkan sistem pengering buatan, khususnya pengering tenaga surya yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Islam et al., 2021).

Parameter teknis sistem pengering dirancang untuk mendukung kinerja optimal pada skala aplikatif. Kolektor surya memiliki luas sekitar 1,5 m² dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 600–800 W/m². Sistem beroperasi pada suhu 45–50°C yang sesuai untuk menjaga kualitas produk, dengan kapasitas pengeringan 10–15 kg per siklus. Untuk menjaga kestabilan suhu saat radiasi menurun, digunakan pemanas resistif tambahan berdaya 200–300 W. Dengan parameter teknis tersebut diberikan estimasi energi masuk harian melalui persamaan (1).

$$Q_{in} = I \cdot A \cdot t \quad (1)$$

Estimasi energi masuk dihitung berdasarkan intensitas radiasi, luas kolektor, dan waktu penyinaran efektif sekitar 5 jam per hari. Berdasarkan perhitungan tersebut, energi panas yang diterima sistem berkisar antara 16,2 hingga 21,6 MJ per hari, yang dinilai cukup untuk mendukung proses pengeringan secara efisien.

Sistem Pengering Tenaga Surya

Pengering tenaga surya memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber panas utama untuk menurunkan kadar air bahan. Sistem terdiri dari kolektor panas, ruang pengering, dan sirkulasi udara (Nkolokosa et al., 2023). Berdasarkan prinsip kerjanya terdapat tiga tipe utama yaitu direct, indirect, dan hybrid solar dryer.

Sistem hybrid banyak digunakan karena mampu menjaga suhu saat radiasi rendah dengan bantuan pemanas tambahan (Bennamoun et al., 2024). Efisiensi pengeringan dipengaruhi oleh intensitas matahari, kecepatan aliran udara, dan

desain kolektor. Integrasi kontrol otomatis meningkatkan kestabilan suhu dan kualitas produk (Amirulloh et al., 2022).

Mikrokontroler dan Kendali Suhu Otomatis

Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali yang memproses data sensor suhu dan kelembaban untuk mengatur pemanas dan ventilasi secara otomatis. ESP32 banyak digunakan karena memiliki Wi-Fi terintegrasi dan kemampuan pemrosesan real-time (Raza et al., 2021).

Pengendalian suhu umumnya menggunakan metode on-off atau PID. Kontrol PID lebih stabil karena mampu mempertahankan suhu dalam rentang kecil sehingga kualitas produk lebih terjaga (Alves et al., 2020). Sistem otomatis terbukti meningkatkan efisiensi energi dan mempercepat pengeringan dibanding kontrol manual (Huda et al., 2021).

Internet of Things (IoT) dan Platform Blynk

IoT memungkinkan perangkat saling terhubung dan bertukar data secara real-time. Dalam pengering pertanian, IoT digunakan untuk memantau suhu, kelembaban, dan status alat dari jarak jauh (Gubbi et al., 2013). Platform Blynk menyediakan antarmuka monitoring berbasis smartphone tanpa pengembangan aplikasi khusus. Pengguna dapat melihat data sensor, mengatur suhu, serta mengaktifkan pemanas atau blower secara langsung melalui internet (Wahyudi & Astuti, 2023). Integrasi ini meningkatkan efisiensi operasional dan mempermudah pengawasan.

Pemanas Elemen Resistif

Pemanas resistif bekerja berdasarkan hukum Joule, yaitu konversi energi listrik menjadi panas melalui hambatan listrik. Jenis yang umum digunakan adalah nichrome wire dan heater keramik karena stabil pada suhu tinggi dan mudah dikontrol (Elwakeel et al., 2025). Pemanas diaktifkan otomatis saat suhu di bawah ambang batas dan dimatikan ketika suhu tercapai. Kombinasi pemanas dan blower menghasilkan distribusi panas merata serta mempercepat proses pengeringan.

Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler dual-core dengan Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi sehingga cocok untuk sistem IoT. Perangkat ini mampu membaca sensor dan mengontrol aktuator secara simultan dengan konsumsi daya rendah (Murthy & Reddy, 2021). Fitur deep-sleep mendukung penggunaan energi surya karena menghemat daya saat sistem idle. Kemampuan komunikasi data menjadikannya efektif sebagai pengendali utama pengering otomatis.

Sensor Suhu dan Kelembaban DHT11

DHT11 adalah sensor digital yang mengukur suhu 0–50°C dan kelembaban 20–90% RH. Sensor ini mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler melalui satu jalur data (Rahman, 2020). Meskipun akurasinya lebih rendah dibanding sensor industri, DHT11 cukup untuk aplikasi pengering suhu menengah setelah dilakukan kalibrasi sederhana (Hidayat et al., 2021).

State of the Art

Penelitian sebelumnya menunjukkan pengembangan pengering terus mengarah pada sistem otomatis dan terintegrasi. Pengering hybrid dengan kontrol suhu meningkatkan kestabilan proses (Elwakeel et al., 2025). Penggunaan PID dan blower meningkatkan efisiensi energi (Chen et al., 2022). Integrasi ESP32 dan Blynk memungkinkan monitoring jarak jauh (Fauzi et al., 2021). Optimalisasi energi menggunakan mode hemat daya mendukung operasi berkelanjutan (Kusuma & Hartono, 2022), sedangkan validasi multi-sensor meningkatkan akurasi pengukuran (Hidayat et al., 2021). Penelitian ini menggabungkan teknologi pengering surya hybrid, kontrol otomatis, monitoring IoT, dan efisiensi energi dalam satu sistem terpadu sehingga lebih aplikatif untuk skala petani atau UMKM.

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa eksperimental yang bertujuan merancang dan mengevaluasi sistem pengering hasil pertanian otomatis berbasis tenaga surya dengan kontrol suhu serta monitoring Internet of Things (IoT). Pendekatan eksperimen digunakan karena penelitian tidak hanya menganalisis secara teoritis tetapi juga membangun dan menguji prototipe secara langsung. Perancangan dilakukan secara iteratif melalui tahap desain, implementasi, pengujian, dan penyempurnaan hingga sistem bekerja stabil.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro dan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang selama Februari–Juli 2025. Pengujian dilakukan

pada lingkungan semi-terkontrol dengan memanfaatkan sinar matahari langsung sebagai sumber energi utama.

Peralatan dan Bahan

Sistem pengering terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor suhu dan kelembaban DHT11 sebagai pembaca kondisi ruang, elemen pemanas resistif sebagai pemanas tambahan, blower DC sebagai sirkulasi udara, panel surya sebagai sumber energi utama, baterai sebagai penyimpan energi, modul relay sebagai pengendali beban, serta aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring dan kontrol jarak jauh. Bahan uji berupa komoditas pertanian yang dikeringkan untuk mengamati perubahan massa selama proses pengeringan.

Rancangan Sistem

Ruang pengering dibuat bertingkat dengan prinsip konveksi paksa. Udara dipanaskan oleh elemen pemanas dan didorong blower menuju ruang pengering. Sensor DHT11 membaca suhu dan kelembaban secara periodik kemudian diproses oleh ESP32. Sistem kendali bekerja otomatis: pemanas aktif saat suhu di bawah batas, dan berhenti saat suhu tercapai, sementara blower menjaga sirkulasi udara. Data dikirim secara real-time ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi.

Pengujian sistem pengering dilakukan pada kondisi operasi aktual dengan suhu pengeringan yang dijaga pada kisaran 45°C. Berdasarkan hasil pengukuran, suhu rata-rata yang terbaca oleh sensor DHT11 adalah sebesar 45,08°C dengan deviasi yang relatif kecil, sehingga menunjukkan

kestabilan sistem selama proses berlangsung. Waktu pengeringan ditetapkan selama ± 6 jam untuk setiap siklus, sesuai dengan hasil pengujian performa alat.

Bahan uji yang digunakan meliputi bayam, kangkung, dan cabai merah, dengan massa awal masing-masing sekitar 5 kg. Proses pengujian dilakukan untuk mengamati perubahan massa bahan setelah pengeringan, di mana diperoleh tingkat penyusutan sebesar 60% untuk kangkung, 64% untuk bayam, dan 70% untuk cabai merah.

Sistem dilengkapi dengan pemanas resistif sebagai sumber energi tambahan yang bekerja secara otomatis untuk menjaga suhu tetap stabil saat intensitas radiasi matahari menurun. Sirkulasi udara di dalam ruang pengering menggunakan blower untuk memastikan distribusi panas merata

Pengumpulan dan Analisis Data

Data yang dikumpulkan meliputi suhu, kelembaban, waktu pengeringan, penyusutan massa bahan, serta keandalan pengiriman data IoT. Analisis dilakukan menggunakan statistik deskriptif untuk melihat kestabilan suhu dan kelembaban, serta perhitungan persentase penyusutan massa untuk mengevaluasi efektivitas pengeringan. Kinerja sistem dibandingkan dengan metode pengeringan konvensional untuk melihat peningkatan efisiensi.

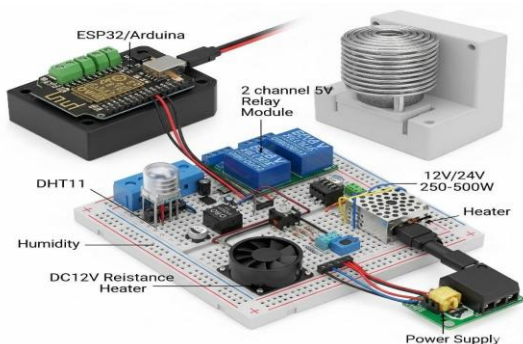
HASIL DAN PEMBAHASAN

Produk

Prototipe pengering hasil pertanian berbasis tenaga surya dirancang untuk

menggantikan metode penjemuran terbuka yang bergantung pada cuaca dan menghasilkan kualitas tidak seragam. Sistem bekerja menggunakan panel surya sebagai sumber energi utama dengan dukungan baterai sehingga proses pengeringan tetap berlangsung stabil saat radiasi menurun. Pengendalian dilakukan oleh mikrokontroler ESP32 yang membaca suhu dan kelembaban dari sensor DHT11. Pemanas resistif aktif saat suhu di bawah batas dan mati saat suhu tercapai sehingga suhu ruang pengering terjaga pada kisaran 45–50°C. Stabilitas ini penting untuk mencegah kerusakan bahan akibat panas berlebih.

Blower menghasilkan sirkulasi udara paksa sehingga panas merata dan mempercepat penguapan air. Data kondisi ruang dikirim ke aplikasi Blynk sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol alat secara jarak jauh tanpa pengawasan langsung. Dengan kapasitas sekitar 10–15 kg, alat mampu mengeringkan sayuran dalam waktu 4–6 jam, lebih cepat dibanding penjemuran tradisional. Hasil ini menunjukkan sistem mampu meningkatkan efisiensi waktu, kestabilan proses, dan kemudahan monitoring sehingga lebih aplikatif untuk skala petani atau UMKM.



Gambar 1. Rangkaian Sistem Kontrol



Gambar 2. Prototipe sistem pengering

Kestabilan parameter pengeringan yang terjaga secara kontinu memungkinkan proses berlangsung secara konsisten sehingga mutu produk, meliputi warna, tekstur, dan kadar air akhir, menjadi lebih seragam. Konsistensi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan daya simpan dan nilai ekonomi komoditas. Integrasi efisiensi energi, sistem kendali otomatis, dan monitoring real-time menunjukkan bahwa sistem pengering yang dikembangkan berpotensi diterapkan pada skala petani maupun UMKM sebagai teknologi pascapanen yang lebih efektif, andal, dan mudah dioperasikan.

Ketepatan Sensor Suhu dan Kelembaban

Kalibrasi sensor dilakukan sebelum pengujian untuk memastikan akurasi pembacaan. Sensor suhu dan kelembaban DHT11 dibandingkan dengan alat ukur referensi berupa termometer digital dan hygrometer standar laboratorium. Proses kalibrasi dilakukan dengan menempatkan sensor DHT11 dan alat referensi pada ruang yang sama dalam kondisi stabil, kemudian

dilakukan pencatatan data secara simultan sebanyak 40 kali pengukuran dengan interval waktu yang sama.

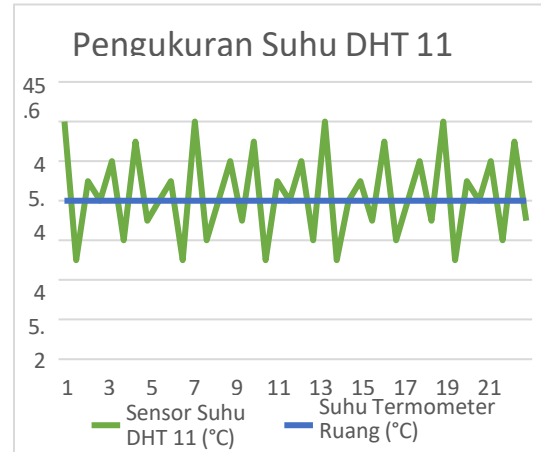
Gambar 3. Hasil Pengujian Sensor Suhu

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 40 data pembacaan, sensor DHT11 menunjukkan kinerja pengukuran yang stabil pada titik referensi 45°C dengan nilai rata-rata 45,08°C dan standar deviasi $\pm 0,21^\circ\text{C}$. Seluruh data berada dalam batas toleransi pabrik $\pm 2^\circ\text{C}$, sehingga sensor dinilai memenuhi spesifikasi teknisnya. Nilai deviasi yang kecil menunjukkan bahwa pembacaan sensor konsisten dan cukup presisi untuk digunakan sebagai parameter kendali suhu pada sistem pengering. Keakuratan ini memungkinkan sistem mengaktifkan dan menonaktifkan pemanas secara otomatis tanpa terjadi fluktuasi suhu yang signifikan. Dengan demikian, kestabilan proses pengeringan dapat dipertahankan karena keputusan kontrol berbasis data sensor yang representatif terhadap kondisi ruang pengering.

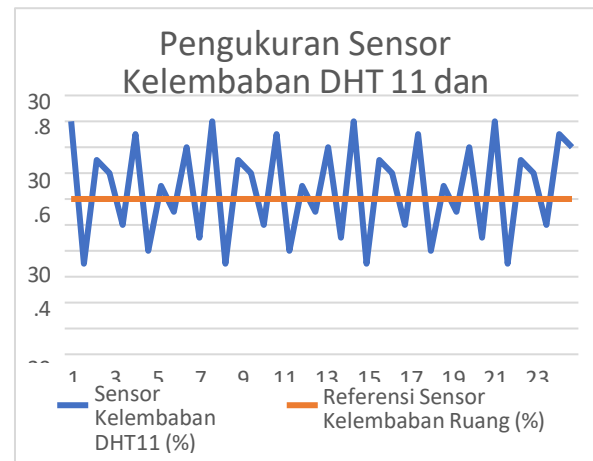
Kelayakan Sensor pada Sistem Pengering

Meskipun tidak dirancang untuk aplikasi presisi tinggi, performa DHT11 masih memadai untuk pengeringan hasil pertanian yang bekerja pada rentang suhu menengah. Penggunaan sensor ini memberikan keuntungan pada aspek biaya, kemudahan integrasi dengan mikrokontroler, serta konsumsi daya yang rendah. Stabilitas pembacaan membuat sistem kontrol otomatis dapat bekerja secara kontinu tanpa koreksi berulang. Namun akurasi sensor dapat dipengaruhi oleh

kondisi operasional seperti kelembaban ekstrem, penuaan komponen, kebutuhan



kalibrasi ulang, serta interferensi panas dari perangkat lain. Oleh karena itu, penempatan sensor pada area representatif terhadap aliran udara panas diperlukan agar pembacaan mencerminkan kondisi aktual ruang pengering.



Gambar 4. Hasil Pengujian Sensor Kelembaban

Ketepatan Sensor Suhu dan Kelembaban

Pengujian sensor kelembaban DHT11 dilakukan dengan membandingkan 40 data pembacaan terhadap nilai referensi 30% RH. Hasil menunjukkan rata-rata pembacaan sebesar 30,09% dengan

standar deviasi $\pm 0,35\%$. Seluruh data berada dalam batas toleransi pabrikan $\pm 5\%$ RH sehingga sensor memenuhi spesifikasi akurasi. Selisih pembacaan berkisar $-0,5\%$ hingga $+0,6\%$ dan tidak ditemukan outlier signifikan, menandakan pembacaan stabil dan konsisten.

Kinerja tersebut menunjukkan sensor mampu memberikan data kelembaban yang representatif untuk kebutuhan kontrol sistem pengering. Meskipun tidak ditujukan untuk pengukuran presisi tinggi, tingkat konsistensi yang diperoleh sudah memadai untuk menentukan kondisi lingkungan pengering secara operasional. Namun performa sensor dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti perubahan kelembaban ekstrem, penuaan sensor, serta posisi pemasangan. Oleh karena itu sensor ditempatkan pada area aliran udara utama agar nilai yang terbaca mencerminkan kondisi ruang pengering secara aktual. Secara keseluruhan DHT11 layak digunakan karena memberikan keseimbangan antara akurasi, stabilitas, dan efisiensi biaya.

Tingkat Penyusutan Sayuran terhadap Waktu Pengeringan

Pengujian dilakukan pada bayam, kangkung, dan cabai merah selama 6 jam pada suhu 45°C . Hasil menunjukkan cabai merah mengalami penyusutan tertinggi sebesar 70%, diikuti bayam 64% dan kangkung 60%. Perbedaan ini dipengaruhi kadar air awal dan struktur jaringan masing-masing bahan. Tingkat penyusutan yang tinggi menunjukkan sistem mampu menurunkan kadar air secara efektif pada

suhu moderat. Pengeringan pada 45°C membantu menjaga kualitas bahan sekaligus mengurangi konsumsi energi dibanding pengering suhu tinggi. Sistem ini juga lebih stabil dibanding penjemuran langsung yang dipengaruhi cuaca serta lebih hemat energi dibanding oven konvensional. Dengan demikian sistem pengering mampu menghasilkan proses pengeringan relatif cepat dengan kualitas produk yang tetap baik sehingga berpotensi diterapkan pada pengolahan hasil pertanian skala kecil hingga menengah.

Kualitas Jaringan IoT dalam Pengiriman Data ke Blynk

Pengujian komunikasi IoT dilakukan dengan mengirim 1000 data suhu dan kelembaban menggunakan ESP32 melalui Wi-Fi ke platform Blynk. Sebanyak 990 data berhasil diterima sehingga tingkat keberhasilan mencapai 99%. Nilai ini menunjukkan koneksi stabil dengan packet loss rendah. Keandalan pengiriman data memungkinkan pemantauan kondisi pengering secara real-time dan mendukung pengambilan keputusan cepat jika terjadi perubahan suhu atau kelembaban. Platform Blynk juga menyediakan visualisasi grafik yang membantu pengguna memonitor proses secara kontinu. Hasil ini menunjukkan sistem monitoring berbasis IoT bekerja dengan baik dan layak diterapkan pada sistem pengering sebagai fitur pengawasan jarak jauh yang praktis dan andal.

KESIMPULAN

Sistem pengering berbasis tenaga surya dengan kontrol suhu otomatis dan monitoring IoT mampu bekerja stabil dan

akurat. Sensor DHT11 menunjukkan pembacaan dalam batas toleransi sehingga layak digunakan sebagai parameter kendali. Proses pengeringan efektif pada suhu 45°C selama 6 jam dengan penurunan kadar air tertinggi pada cabai merah, diikuti bayam dan kangkung. Komunikasi data melalui ESP32 ke platform monitoring memiliki keberhasilan tinggi sehingga pemantauan dapat dilakukan secara real-time. Secara umum, alat dinilai efisien, andal, dan berpotensi diterapkan pada pengolahan pascapanen skala kecil hingga menengah.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). *Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications*. *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Ammar, M., Russello, G., & Crispo, B. (2018). *Internet of Things: A survey on the security of IoT frameworks*. *Journal of Information Security and Applications*, 38, 8–27.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The *Internet of Things: A survey*. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Baronti, P., Pillai, P., Chook, V. W. C., Chessa, S., Gotta, A., & Hu, Y. F. (2007). Wireless sensor networks: A survey on the *State of The Art* and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Computer Communications*, 30(7), 1655–1695.
- Blynk Inc. (2021). Blynk documentation: Getting started, setup, and usage guide.
- DHT11 *datasheet*. (2021). Aosong Electronics Co., Ltd.
- Darmawan, Y., & Sari, A. R. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU dan Blynk. *Jurnal Ilmiah Teknik Komputer*, 7(1), 45–52.
- FAO. (2020). Digital agriculture: Supporting family farmers in the digital age. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). *Internet of Things(IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Harahap, R. D., Siregar, M. A., & Rambe, H. (2022). Monitoring suhu otomatis berbasis IoT untuk efisiensi pengeringan hasil pertanian. *Jurnal Teknologi dan Informasi Pertanian*, 12(1), 77–84.
- Ibrahim, M., Asnawi, R., & Prasetyo, D. (2025). Smart solar dryer for chili drying with IoT- based monitoring system. *Journal of Sustainable Technology in Agriculture*, 6(1), 77– 89.
- Islam, M., Haque, A., & Chowdhury, M. (2021). Design of solar tunnel dryer with IoT system for vegetable

- preservation. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 222–229.
- Kurniawan, A., & Wicaksono, D. (2020). Pengembangan sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT menggunakan NodeMCU dan Blynk. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 8(3), 221–227.
- Mekonnen, T., & Kebede, M. (2019). Design and implementation of solar-powered grain *dryer* for rural applications. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 11(5), 553–559. <https://doi.org/10.1080/20421338.2018.1495367>
- Milind, K., & Patel, S. (2020). Optimization of *solar dryer* parameters for agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109–122.
- Nkolokosa, H., Kalua, D., & Banda, R. (2023). Solar *drying* technology for small-scale farmers: A comparative study. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130621.
- Nurhasanah, F., Farid, M., & Syarif, A. (2022). Energy savings in solar *drying*: A comparative study with conventional electrical *dryers*. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 14(2), 101–113.
- Prasetyo, B. H., Nugraha, T., & Supriyadi, E. (2023). Implementasi sistem pengeringan berbasis mikrokontroler dan IoT untuk pertanian terpadu. *Jurnal Teknik Pertanian Terapan*, 11(1), 45–56.
- Pratama, Y., Rahman, A., & Sari, E. (2023). Optimizing post-harvest *drying* with automation and IoT-based monitoring system. *International Journal of Agricultural Technology*, 19(2), 145–157.
- Putra, R. H., & Aziz, F. A. (2021). Rancang Bangun Sistem Pengendali Suhu Otomatis pada Mesin Pengering Hasil Pertanian Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi dan Informatika*, 12(2), 65–72.
- Rahman, H., Fathoni, M. R., & Sari, L. (2021). Sistem kendali suhu otomatis berbasis Arduino untuk pengering hasil panen. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(2), 89–97.
- Raza, S. A., Jamil, M., & Ali, M. (2021). A *cloud*-based smart farming system for *real-time* monitoring and control of agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106120. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106120>
- Sairu, D., & Wijayanto, W. (2021). Monitoring *drying* process using IoT and *cloud* storage. *Journal of Agricultural Informatics*, 12(3), 55–64.
- Sari, D. A., & Gunawan, A. (2020). Studi Eksperimen Efisiensi Pengering Tenaga Surya Bertingkat untuk Produk Pertanian. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 34(1), 55–62.
- Siregar, B., Utami, N., & Handoko, T. (2020). Postharvest losses due to traditional *drying* in Indonesia: A field study. *Indonesian Journal of Agribusiness*, 38(3), 198–205.

- Siregar, M., Pratama, Y., & Dewi, N. (2022). *Hybrid solar-paraser dryer: Design and field evaluation*. Jurnal Teknologi Terapan, 13(4), 234–247.
- Wahyudi, R., & Astuti, D. (2023). Monitoring suhu dan kelembaban pada sistem pengering berbasis IoT menggunakan ESP8266 dan Blynk. Jurnal Riset Teknologi dan Inovasi, 9(1), 13–21.
- Wibowo, A., Permana, A., & Latif, M. (2021). Pengaruh integrasi IoT terhadap efisiensi sistem pengering hasil pertanian. Jurnal Teknologi Agroindustri, 15(2), 72–80.
- Zhang, C., Li, D., Wang, H., & Chen, H. (2017). Design and implementation of greenhouse monitoring and control system based on IoT. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 33(6), 196–202.
- Zhao, J., Zhang, Y., & Liu, Y. (2022). Design of intelligent *drying* control system based on Blynk and ESP32. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 13(7), 102–108.
- Zohra, K., & Ahmed, M. (2021). Smart *dryer* integrating solar *heater* and IoT monitoring. Journal of Renewable Energy Applications, 8(2), 147–158.