



RANCANG BANGUN ALAT PENGERING CENGKEH GREENHOUSE BERBASIS PLTS DENGAN PENGENDALIAN SUHU DAN MONITORING IOT

Muhammad Fahmi Assidiqi¹⁾, Reza Rahmadian²⁾, Fithrotul Irda Amaliah³⁾, Alfarid Hendro Yuwono⁴⁾

¹⁾ Teknik Listrik, Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: muhammadfahmi.22019@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Teknik Listrik, Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: rezarahmadian@unesa.ac.id

³⁾ Teknik Listrik, Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: fithrotulamaliah@unesa.ac.id

⁴⁾ Teknik Listrik, Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: alfaridyuwono@unesa.ac.id

Abstract

Conventional clove drying still depends on weather conditions, making the drying duration difficult to control. This study aimed to design a greenhouse-based clove dryer powered by a Solar Power Generation System (PLTS) with temperature control using an ESP32 and to evaluate its performance compared with conventional drying. The system employed a DHT22 sensor, heater, circulation fan, exhaust fan, automatic sieve rack mechanism, PZEM-017, and ThingSpeak for Internet of Things (IoT)-based monitoring. Testing was conducted using 5 kg of fresh cloves with an initial moisture content of 70%. The results showed that the dryer reduced the moisture content to 12.5% within 32 hours or 3 days, while conventional drying required 40 hours or 4 days and resulted in a final moisture content of 12.9%. The proposed dryer reduced the drying time by approximately 20% and achieved the target moisture content, although temperature stability and heat distribution still require further optimization.

Keywords: clove dryer, greenhouse, ESP32, solar power generation, temperature control, IoT.

Abstrak

Pengeringan cengkeh secara konvensional masih bergantung pada kondisi cuaca sehingga waktu pengeringan sulit dikendalikan. Penelitian ini bertujuan merancang alat pengering cengkeh greenhouse berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan pengendalian suhu menggunakan ESP32 serta mengevaluasi kinerjanya dibandingkan dengan metode konvensional. Sistem menggunakan sensor DHT22, heater, kipas sirkulasi, kipas exhaust, mekanisme rak ayak otomatis, PZEM-017, dan ThingSpeak untuk pemantauan berbasis Internet of Things (IoT). Pengujian dilakukan menggunakan 5 kg cengkeh basah dengan kadar air awal 70%. Hasil menunjukkan bahwa alat mampu menurunkan kadar air menjadi 12,5% dengan waktu pengeringan efektif selama 32 jam yang berlangsung dalam 3 hari pengujian. Sementara itu, metode konvensional membutuhkan waktu pengeringan selama 4 hari dengan kadar air akhir 12,9%. Alat mampu mencapai kadar air target dan mempercepat proses pengeringan sekitar 20% dibandingkan metode konvensional, meskipun kestabilan suhu dan distribusi panas masih perlu dioptimalkan.

Kata Kunci: pengering cengkeh, greenhouse, ESP32, PLTS, pengendalian suhu, IoT.



PENDAHULUAN

Cengkeh merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memerlukan penanganan pascapanen, khususnya melalui proses pengeringan, untuk menurunkan kadar air dan menjaga mutu produk, kadar air diturunkan hingga mencapai 14% sesuai SNI 01-3392-1994 (A. Pratama & Sulaksono, 2025; Santosa & Wiryanta, 2020). Proses pengeringan cengkeh secara konvensional umumnya masih mengandalkan sinar matahari secara langsung sehingga sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Pada kondisi cuaca yang mendukung, proses pengeringan membutuhkan beberapa hari, sedangkan pada kondisi cuaca yang kurang mendukung waktu pengeringan dapat menjadi lebih lama. Kondisi tersebut menyebabkan proses pengeringan menjadi kurang efisien dan waktu yang dibutuhkan sulit diprediksi (Cahyani et al., 2023; A. Y. Pratama & Amien, 2023; Saputra et al., 2020).

Temperatur merupakan salah satu parameter penting dalam proses pengeringan cengkeh. Kondisi suhu yang tidak sesuai dapat memengaruhi proses penguapan air dan kualitas hasil pengeringan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengeringan yang mampu menghasilkan kondisi lingkungan yang lebih terkontrol dibandingkan metode penjemuran terbuka (Amin et al., 2024). Suhu pengeringan cengkeh yang optimal berada di 40-45°C dan tidak boleh melebihi 56°C karena akan menyebabkan rusaknya senyawa-senyawa cengkeh (Amin et al., 2024; Cahyani et al., 2023; Dinas Perkebunan Provinsi Jawa Timur, 2013).

Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah sistem pengering tipe greenhouse yang memanfaatkan radiasi matahari untuk meningkatkan dan mempertahankan suhu di dalam ruang pengering (Ade Yulita Hesti et al., 2025). Pemanfaatan konsep greenhouse memungkinkan energi panas matahari digunakan secara lebih optimal dalam proses pengeringan. Sistem tersebut juga dapat dikombinasikan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi untuk memenuhi kebutuhan daya perangkat kendali dan aktuator.

Perkembangan teknologi mikrokontroler dan Internet of Things (IoT) turut mendukung pengembangan sistem pengering yang lebih otomatis dan mudah dipantau. Mikrokontroler ESP32 dapat digunakan sebagai pusat kendali untuk menerima data sensor dan mengoperasikan aktuator berdasarkan kondisi ruang pengering. Selain itu, penerapan IoT memungkinkan parameter seperti suhu, kelembapan, dan kondisi sistem dipantau secara daring (real-time) (Nashirudin & Pangaribowo, 2022).

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pengering dengan pengendalian temperatur serta penerapan IoT untuk mendukung proses monitoring dan pengendalian pengeringan (Amin et al., 2024; Molote & Budiyanto, 2024). Namun, integrasi sistem pengering tipe greenhouse, sumber energi PLTS, kendali otomatis berbasis ESP32, mekanisme rak bergerak, dan monitoring berbasis IoT masih memiliki peluang untuk dikembangkan dalam satu sistem pengering cengkeh yang terintegrasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat pengering cengkeh tipe greenhouse berbasis PLTS dengan

sistem pengendalian otomatis menggunakan ESP32. Sistem dilengkapi sensor suhu dan kelembapan, heater sebagai pemanas bantu, kipas sirkulasi, kipas exhaust, serta mekanisme rak ayak bergerak berbasis slider-crank. Selain itu, sistem dilengkapi monitoring IoT menggunakan platform ThingSpeak untuk memantau kondisi ruang pengering dan parameter sistem selama proses pengeringan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dengan pendekatan eksperimental. Metode ini digunakan untuk merancang, merealisasikan, dan menguji alat pengering cengkeh tipe greenhouse berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dilengkapi sistem pengendalian suhu dan monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Penelitian dilakukan di Wonosari, Jombang, Jawa Timur, pada semester genap tahun akademik 2025/2026.

Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem mekanik dan elektronik, perakitan alat, konfigurasi sistem kendali, pengujian fungsi komponen, serta pengujian kinerja pengeringan. Sistem mekanik terdiri atas ruang pengering tipe greenhouse dan rak pengering dengan mekanisme slider-crank. Sistem elektronik terdiri atas ESP32 sebagai pengendali utama, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, heater, kipas sirkulasi, kipas exhaust, motor DC sebagai penggerak rak, serta sistem PLTS sebagai sumber energi listrik.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

3.1. Rancangan Sistem



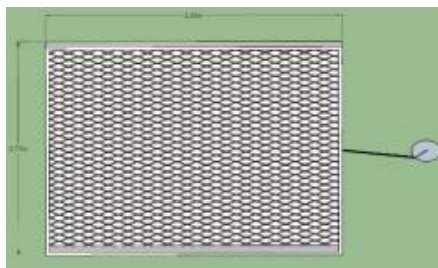
Gambar 2. Rancangan Desain Alat Pengering Cengkeh Greenhouse Berbasis PLTS dengan Pengendalian Suhu dan Monitoring IoT

Prinsip kerja alat memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber panas utama melalui efek rumah kaca pada



ruang pengering. ESP32 menerima data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 sebagai dasar pengendalian aktuator. Sistem pengendalian menggunakan rentang suhu 40–45°C, dengan heater dan kipas sirkulasi digunakan untuk membantu proses pemanasan, sedangkan kipas exhaust digunakan untuk membantu menurunkan suhu ketika suhu ruang pengering melebihi batas yang ditentukan.

Selain sistem pengendalian suhu, alat dilengkapi mekanisme rak ayak bergerak menggunakan sistem slider-crank. Rak dioperasikan secara otomatis menggunakan motor DC yang dikendalikan melalui driver BTS7960. Mekanisme rak bergerak secara periodik setiap 90 menit dengan durasi aktif 30 detik untuk menghasilkan gerakan maju-mundur selama proses pengeringan.



Gambar 3. Rancangan Desain Rak Ayak

Sistem PLTS digunakan untuk menyuplai kebutuhan energi perangkat kendali dan aktuator. Parameter kelistrikan sistem dipantau menggunakan modul PZEM-017 yang mengukur tegangan, arus, daya, dan energi. Data hasil pembacaan sensor dan parameter energi dikirimkan oleh ESP32 ke platform ThingSpeak sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara daring.

3.2. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan melalui pengujian sistem kendali dan pengujian kinerja pengeringan. Pengujian sistem kendali dilakukan untuk mengetahui respons sensor, ESP32, dan aktuator terhadap perubahan kondisi suhu ruang pengering. Parameter yang diamati meliputi suhu, kelembapan, serta status heater, kipas sirkulasi, dan kipas exhaust.

Pengujian kinerja pengeringan dilakukan menggunakan 5 kg cengkeh basah sebagai bahan uji. Proses pengeringan menggunakan alat greenhouse dilakukan selama tiga hari pengujian dengan waktu pengeringan efektif selama 32 jam. Suhu dan kelembapan ruang pengering dicatat setiap satu jam pada pukul 08.00–16.00 WIB, sedangkan kadar air cengkeh diukur menggunakan moisture meter pada awal dan akhir proses pengeringan. Massa cengkeh juga diamati selama proses pengeringan.

Sebagai pembandingan, dilakukan pengujian pengeringan secara konvensional dengan menjemur 5 kg cengkeh basah secara langsung di bawah sinar matahari. Parameter yang diamati pada metode konvensional meliputi suhu, kelembapan, waktu pengeringan, perubahan massa, dan kadar air akhir cengkeh.

3.3. Parameter Pengujian dan Analisis Data

Tabel 1. Parameter Pengujian dan Instrumen Pengukuran

Pengujian	Parameter	Instrumen
Suhu & Kelembapan	Suhu & kelembapan ruang pengering	DHT22
Sistem Kendali	Status aktuator	ESP32 dan observasi
Energi	Tegangan, arus, daya, dan energi	PZEM-017
Proses Pengeringan	Kadar air, massa, lama pengeringan	Moisture meter, timbangan, waktu
Monitoring IoT	Data sensor & status aktuator	ThingSpeak

Target kadar air cengkeh setelah proses pengeringan ditetapkan pada kisaran 12–14%. Data hasil pengujian alat greenhouse kemudian dibandingkan dengan hasil pengeringan menggunakan metode konvensional untuk mengetahui perbedaan waktu pengeringan dan kemampuan alat dalam menurunkan kadar air cengkeh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem Alat Pengering Cengkeh Greenhouse

Alat pengering cengkeh greenhouse telah direalisasikan sebagai sistem pengering berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan pengendalian suhu dan monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Sistem dirancang untuk melakukan proses pengeringan cengkeh dengan memanfaatkan panas matahari yang masuk ke dalam ruang greenhouse serta dukungan sistem pemanas dan sirkulasi udara.

Sistem kendali menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama yang menerima data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22. Berdasarkan kondisi yang terdeteksi, ESP32 mengendalikan aktuator melalui sistem relay untuk mengoperasikan heater, kipas sirkulasi, dan kipas exhaust. Selain itu, mekanisme rak ayak digerakkan menggunakan motor DC dengan driver BTS7960 untuk membantu pergerakan dan perpindahan posisi cengkeh selama proses pengeringan.

Sumber energi alat berasal dari sistem PLTS yang terdiri atas panel surya, solar charge controller, baterai LiFePO₄, dan sistem pemantauan energi menggunakan PZEM-017. Konfigurasi tersebut memungkinkan sistem memperoleh dan menyimpan energi untuk mendukung pengoperasian komponen selama proses pengeringan. Parameter kelistrikan sistem dipantau untuk mengetahui kondisi penggunaan energi pada alat.

Monitoring kondisi alat dilakukan secara lokal menggunakan OLED I2C dan secara daring melalui platform ThingSpeak. Data yang ditampilkan meliputi kondisi suhu dan kelembapan ruang pengering serta informasi pengoperasian sistem dan parameter energi. Dengan adanya sistem monitoring tersebut, kondisi alat dapat diamati selama proses pengeringan berlangsung.



Gambar 4. Implementasi Alat Pengereng Cengkeh Greenhouse

4.2 Kinerja Suhu dan Kelembapan Ruang Pengereng

Pengujian suhu dan kelembapan dilakukan untuk mengetahui kondisi ruang pengereng selama proses pengeringan cengkeh sekaligus mengevaluasi respons sistem kendali. Pengukuran dilakukan menggunakan sensor DHT22 yang terhubung dengan ESP32. Sistem menggunakan batas kendali suhu 40°C sebagai setpoint bawah dan 45°C sebagai setpoint atas untuk mengatur pengoperasian heater, kipas sirkulasi, dan kipas exhaust. Pengujian dilakukan selama tiga hari, yaitu pada tanggal 9–11 Agustus 2026.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi suhu dan kelembapan ruang pengereng mengalami perubahan selama proses pengeringan. Rata-rata hasil pengujian setiap hari disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi rata-rata ruang pengereng selama pengujian

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3
Suhu rata-rata (°C)	46,12°C	48,62°C	48,9°C
Kelembapan rata-rata (%)	42,24%	34,23%	28,9%

Berdasarkan Tabel 2, suhu rata-rata ruang pengereng menunjukkan nilai yang relatif tinggi selama proses pengeringan. Suhu rata-rata meningkat dari 46,12°C pada hari pertama menjadi 48,90°C pada hari ketiga. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem greenhouse mampu menangkap dan mempertahankan panas matahari di dalam ruang pengereng. Namun, suhu yang dihasilkan belum seluruhnya berada pada rentang operasi yang direncanakan, yaitu 40–45°C. Pada kondisi tertentu, suhu tertinggi yang tercatat mencapai 56°C.

Kelembapan rata-rata ruang pengereng menunjukkan kecenderungan menurun selama proses pengeringan, yaitu dari 42,24% pada hari pertama menjadi 28,90% pada hari ketiga. Penurunan kelembapan tersebut menunjukkan perubahan kondisi lingkungan di dalam ruang pengereng yang mendukung proses pelepasan air dari bahan cengkeh. Kombinasi suhu yang relatif tinggi dan kelembapan yang semakin rendah berkontribusi terhadap berlangsungnya proses pengeringan secara lebih cepat.

Sistem kendali berbasis ESP32 mampu memberikan respons terhadap perubahan suhu melalui pengoperasian heater, kipas sirkulasi, dan kipas exhaust. Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem belum mampu mempertahankan suhu secara stabil pada rentang 40–45°C.

Kondisi tersebut terutama dipengaruhi oleh tingginya panas yang dihasilkan oleh efek rumah kaca, sedangkan kapasitas kipas exhaust belum sepenuhnya mampu mengimbangi laju peningkatan suhu di dalam ruang pengereng.

Secara keseluruhan, sistem greenhouse mampu menghasilkan kondisi suhu dan kelembapan yang mendukung proses pengeringan cengkeh. Meskipun demikian, pengendalian suhu masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, terutama pada sistem ventilasi dan pembuangan panas, agar suhu ruang pengereng dapat dipertahankan lebih stabil sesuai dengan rentang yang telah ditetapkan.

4.3 Kinerja Sistem Kendali dan Aktuator

Pengujian kinerja sistem kendali dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam merespons perubahan suhu ruang pengereng berdasarkan batas suhu yang telah ditentukan. Sistem menggunakan batas bawah 40°C dan batas atas 45°C. ESP32 berfungsi sebagai pengendali yang mengatur kerja heater, kipas sirkulasi, dan kipas exhaust berdasarkan data suhu yang dibaca oleh sensor DHT22. Data perubahan suhu dan status aktuator diperoleh melalui pencatatan pada platform ThingSpeak.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali mampu memberikan respons terhadap perubahan suhu sesuai dengan logika kendali yang telah diprogramkan. Ketika suhu berada di bawah batas bawah, heater dan kipas sirkulasi diaktifkan untuk meningkatkan suhu ruang pengereng. Sebaliknya, ketika suhu meningkat melebihi batas atas, kipas exhaust diaktifkan untuk membantu menurunkan suhu di dalam ruang pengereng.

Tabel 3. Respon Sistem Kendali Terhadap Suhu

No	Fase	Waktu Mulai (Suhu)	Waktu Selesai (Suhu)	Durasi Waktu Respon
1	Pemanasan (Heater & Sirkulasi ON)	14:05 (39,6°C)	14:23 (44,1°C)	18 menit
2	Pendinginan (Exhaust ON)	10:02 (47,5°C)	13:56 (43,9°C)	234 menit
3	Pendinginan (Exhaust ON)	14:24 (45,2°C)	14:40 (44°C)	16 menit
4	Pendinginan (Exhaust ON)	08:15 (45,2°C)	08:20 (44,9°C)	5 menit
5	Pendinginan (Exhaust ON)	08:22 (45,3°C)	14:43 (44,9°C)	381 menit
6	Pendinginan (Exhaust ON)	14:47 (45,3°C)	14:56 (45°C)	9 menit
7	Pendinginan (Exhaust ON)	08:05 (45,3°C)	15:23 (44,3°C)	438 menit

Berdasarkan Tabel 3, respons sistem pada fase pemanasan menunjukkan hasil yang relatif cepat. Heater dan kipas sirkulasi mampu meningkatkan suhu ruang pengereng dari 39,6°C menjadi 44,1°C dalam waktu 18 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem pemanasan dapat bekerja sesuai dengan fungsi kendali yang telah dirancang.



Namun, hasil pengujian pada fase pendinginan menunjukkan waktu respons yang lebih bervariasi. Kipas exhaust dapat menurunkan suhu dalam waktu relatif singkat pada beberapa kondisi, yaitu antara 5–16 menit. Di sisi lain, pada kondisi tertentu proses penurunan suhu membutuhkan waktu yang jauh lebih lama, bahkan mencapai 234 menit, 381 menit, dan 438 menit. Variasi waktu tersebut menunjukkan bahwa kemampuan pendinginan ruang pengering dipengaruhi oleh kondisi panas di dalam greenhouse selama pengujian.

Perbedaan antara respons pemanasan dan pendinginan menunjukkan bahwa sistem kendali elektronik telah bekerja sesuai dengan logika yang ditetapkan, tetapi efektivitas aktuator dalam mengendalikan kondisi fisik ruang pengering belum sepenuhnya optimal. Panas yang dihasilkan oleh efek rumah kaca dapat terus meningkat selama intensitas radiasi matahari tinggi, sedangkan kapasitas kipas exhaust belum selalu mampu mengimbangi laju penambahan panas tersebut. Akibatnya, suhu ruang pengering pada beberapa kondisi masih berada di atas rentang operasi yang direncanakan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ESP32 dan sistem kendali berhasil menjalankan fungsi pengendalian aktuator secara otomatis, tetapi sistem ventilasi masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Peningkatan kapasitas kipas exhaust atau penambahan mekanisme ventilasi dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam menurunkan dan mempertahankan suhu ruang pengering pada rentang yang diinginkan.

4.4 Kinerja Mekanisme Rak Ayak

Pengujian mekanisme rak ayak dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menggerakkan rak secara otomatis selama proses pengeringan. Rak ayak digerakkan oleh motor DC yang terhubung dengan mekanisme slider-crank untuk mengubah gerak putar motor menjadi gerak maju-mundur. Sistem dikendalikan oleh ESP32 dengan interval pengoperasian setiap 90 menit dan durasi aktif selama 30 detik.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor penggerak rak ayak dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan program yang telah ditentukan. Selama pengujian tiga hari, motor aktif secara periodik dan menghasilkan gerakan maju-mundur pada rak pengering. Aktivitas motor juga dapat dipantau melalui ThingSpeak, dengan nilai 1 menunjukkan motor dalam kondisi aktif (ON) dan nilai 0 menunjukkan motor tidak aktif (OFF).

Tabel 4. Hasil Pengujian Rak Ayak

No	Waktu Aktif	Status Motor	Kondisi Rak
1	Minggu, 09-08-2026, 09:28	ON	Bergerak Maju-mundur
	Minggu, 09-08-2026, 10:59	ON	Bergerak Maju-mundur
	Minggu, 09-08-2026, 12:29	ON	Bergerak Maju-mundur
	Minggu, 09-08-2026, 14:01	ON	Bergerak Maju-mundur

	Minggu, 09-08-2026, 15:32	ON	Bergerak Maju-mundur
2	Senin, 10-08-2026, 09:35	ON	Bergerak Maju-mundur
	Senin, 10-08-2026, 11:06	ON	Bergerak Maju-mundur
	Senin, 10-08-2026, 12:36	ON	Bergerak Maju-mundur
	Senin, 10-08-2026, 14:07	ON	Bergerak Maju-mundur
	Senin, 10-08-2026, 15:38	ON	Bergerak Maju-mundur
3	Selasa, 11-08-2026, 09:32	ON	Bergerak Maju-mundur
	Selasa, 11-08-2026, 11:03	ON	Bergerak Maju-mundur
	Selasa, 11-08-2026, 12:33	ON	Bergerak Maju-mundur
	Selasa, 11-08-2026, 14:04	ON	Bergerak Maju-mundur
	Selasa, 11-08-2026, 15:34	ON	Bergerak Maju-mundur

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, mekanisme rak ayak dapat menjalankan fungsi pergerakan secara otomatis selama proses pengeringan. Gerakan maju-mundur yang dihasilkan menunjukkan bahwa sistem penggerak motor, driver, dan mekanisme slider-crank dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Pengoperasian rak secara berkala dimaksudkan untuk membantu mengubah posisi cengkeh selama proses pengeringan.

Namun, berdasarkan hasil pengamatan selama pengujian, keseragaman pengeringan masih dipengaruhi oleh distribusi panas dan radiasi matahari di dalam ruang pengering. Struktur atap greenhouse menghasilkan area bayangan pada bagian tertentu dari ruang pengering sehingga cengkeh pada area tersebut menerima paparan radiasi matahari yang berbeda. Dengan demikian, kinerja mekanisme rak ayak telah berfungsi sesuai rancangan, tetapi pemerataan hasil pengeringan masih memerlukan pengembangan pada aspek distribusi panas dan desain ruang pengering.

4.5 Kinerja Sistem PLTS dan Monitoring Energi

Pengujian sistem PLTS dilakukan selama tiga hari pada pukul 08.00–16.00 WIB untuk mengetahui kinerja sistem penyediaan energi pada alat pengering. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, dan energi masuk dari panel surya serta energi keluar yang digunakan oleh beban. Pengukuran dilakukan menggunakan modul PZEM-017 yang terintegrasi dengan ESP32.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan sistem PLTS mengalami perubahan selama tiga hari pengujian. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kondisi pengoperasian sistem dan proses pengisian baterai.

Tabel 5. Hasil Pengujian Energi

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3
Energi masuk	233Wh	122Wh	187Wh
Energi keluar	76Wh	71Wh	70Wh



Berdasarkan Tabel 4, energi masuk tertinggi diperoleh pada hari pertama sebesar 233 Wh, sedangkan energi keluar tertinggi juga tercatat pada hari pertama sebesar 76 Wh. Pada hari kedua, energi masuk mengalami penurunan menjadi 122 Wh, sementara energi keluar sebesar 71 Wh. Hari ketiga menghasilkan energi masuk sebesar 187 Wh dan energi keluar sebesar 70 Wh.

Berdasarkan data pengujian, energi masuk dari panel surya menunjukkan perubahan mengikuti kondisi sistem selama proses pengujian. Nilai arus dan daya cenderung lebih tinggi pada periode ketika radiasi matahari meningkat, kemudian menurun pada waktu tertentu. Pada hari kedua, nilai energi masuk yang lebih rendah juga berkaitan dengan adanya kondisi tegangan tidak normal yang menyebabkan panel surya perlu dihentikan sementara sebagai tindakan pengamanan. Hasil penelusuran pada pengujian menunjukkan kondisi tersebut berkaitan dengan mekanisme proteksi Battery Management System (BMS) pada baterai LiFePO₄.

Secara keseluruhan, sistem monitoring energi dapat membaca parameter tegangan, arus, daya, dan energi selama pengoperasian alat. Data dari PZEM-017 dikirimkan melalui ESP32 sehingga parameter energi sistem PLTS dapat dipantau melalui platform ThingSpeak. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengetahui kondisi energi sistem tanpa melakukan pengamatan langsung secara terus-menerus.

4.6 Hasil Pengeringan dan Perbandingan dengan Metode Konvensional

Pengujian pengeringan dilakukan menggunakan 5 kg cengkeh basah dengan kadar air awal sebesar 70%. Proses pengeringan menggunakan alat greenhouse dilakukan selama tiga hari pengujian dengan waktu pengeringan efektif selama 32 jam. Hasil pengujian menunjukkan perubahan suhu, kelembapan, massa, dan kadar air cengkeh selama proses pengeringan.

Tabel 6. Hasil Pengeringan Alat Greenhouse

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3
Suhu rata-rata (°C)	46,12°C	48,62°C	48,9°C
Kelembapan rata-rata (%)	42,24%	34,23%	28,9%
Massa awal (kg)	5	3,8	2,5
Massa akhir (kg)	3,8	2,5	1,7
Kadar air awal (%)	70	27,6	23,3
Kadar air akhir (%)	27,6	23,3	12,5

Berdasarkan Tabel 5, alat pengering greenhouse mampu menurunkan kadar air cengkeh secara bertahap dari 70% menjadi 12,5%. Massa cengkeh juga mengalami penurunan dari 5 kg menjadi 1,7 kg akibat proses penguapan air selama pengeringan. Kelembapan ruang pengering menunjukkan kecenderungan menurun dari 42,24% pada hari pertama menjadi 28,90% pada hari ketiga, yang menunjukkan kondisi ruang pengering semakin mendukung pelepasan air dari bahan.

Hasil akhir menunjukkan bahwa kadar air cengkeh telah mencapai rentang target pengeringan, yaitu 12–14%. Selain berdasarkan nilai kadar air, cengkeh hasil pengeringan memiliki karakteristik fisik berwarna coklat kehitaman dan mengkilap, memiliki aroma khas cengkeh, tidak berbau apek, serta dapat patah ketika ditekan tanpa mudah hancur.

Untuk mengetahui efektivitas alat yang dirancang, hasil pengeringan menggunakan greenhouse dibandingkan dengan metode pengeringan konvensional menggunakan sinar matahari secara langsung. Perbandingan hasil kedua metode ditunjukkan pada Tabel.

Tabel 7. Perbandingan Alat Greenhouse dengan Metode Konvensional

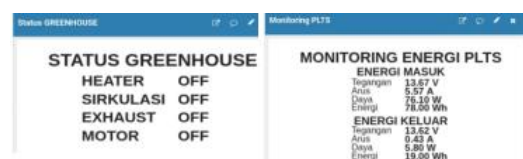
Parameter	Konvensional	Alat greenhouse
Massa awal (kg)	5 kg	5 kg
Waktu pengeringan	40 jam	36 jam
Suhu rata-rata (°C)	39,89°C	47,88°C
Kelembapan rata-rata (%)	51,84%	35,12%
Kadar air akhir (%)	12,9%	12,5%
Massa akhir (kg)	1,7 kg	1,7 kg

Berdasarkan Tabel 6, kedua metode mampu mencapai kadar air akhir dalam rentang target 12–14%. Namun, alat pengering greenhouse menghasilkan waktu pengeringan yang lebih singkat, yaitu 32 jam waktu efektif selama periode pengujian tiga hari, dibandingkan metode konvensional yang membutuhkan 40 jam selama periode pengujian empat hari. Dengan demikian, penggunaan alat greenhouse mampu mempercepat proses pengeringan sekitar 20%.

Keunggulan waktu pengeringan tersebut berkaitan dengan kondisi ruang pengering yang memiliki suhu rata-rata lebih tinggi, yaitu 47,88°C, dibandingkan metode konvensional sebesar 39,89°C. Selain itu, kelembapan rata-rata pada alat greenhouse sebesar 35,12%, lebih rendah dibandingkan metode konvensional sebesar 51,84%. Kondisi suhu yang lebih tinggi dan kelembapan yang lebih rendah mendukung proses penguapan air dari cengkeh sehingga proses pengeringan dapat berlangsung lebih cepat.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan prinsip greenhouse dapat meningkatkan pemanfaatan panas matahari untuk proses pengeringan cengkeh. Meskipun demikian, suhu ruang pengering pada beberapa kondisi masih mencapai 56°C, sehingga sistem ventilasi dan pengendalian suhu masih perlu ditingkatkan agar kondisi pengeringan dapat dipertahankan lebih stabil sesuai dengan rentang operasi yang direncanakan.

4.7 Kinerja Sistem Monitoring IoT



Gambar 5. Monitoring IoT



Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) diterapkan untuk memantau kondisi alat pengering selama proses pengeringan secara daring. ESP32 berfungsi untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor dan status aktuator ke platform ThingSpeak melalui koneksi internet. Sistem monitoring menggunakan dua channel, yaitu channel kontrol dan channel energi PLTS.

Channel kontrol digunakan untuk menampilkan data suhu dan kelembapan ruang pengering serta status heater, kipas sirkulasi, kipas exhaust, dan motor penggerak rak ayak. Status aktuator direpresentasikan dalam bentuk nilai digital, yaitu nilai 1 menunjukkan aktuator dalam kondisi aktif (ON), sedangkan nilai 0 menunjukkan aktuator dalam kondisi tidak aktif (OFF).

Selain channel kontrol, sistem juga dilengkapi channel energi PLTS untuk menampilkan parameter kelistrikan yang diperoleh dari PZEM-017. Parameter yang dipantau meliputi tegangan, arus, daya, dan energi sistem. Dengan adanya dua channel tersebut, kondisi ruang pengering, status pengoperasian aktuator, dan parameter energi dapat dipantau melalui satu sistem monitoring berbasis internet.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa data dari sistem berhasil diterima dan ditampilkan pada platform ThingSpeak. Parameter suhu dan kelembapan dapat dipantau secara berkala dalam bentuk grafik, sedangkan status aktuator dan parameter energi juga berhasil dikirimkan oleh ESP32. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi monitoring IoT pada alat telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem.

Penerapan monitoring IoT memberikan kemudahan dalam pengawasan proses pengeringan karena pengguna dapat mengetahui kondisi operasional alat tanpa harus melakukan pengamatan langsung secara terus-menerus. Data yang ditampilkan melalui ThingSpeak juga mendukung proses evaluasi kinerja sistem, terutama untuk mengamati perubahan suhu dan kelembapan serta respons aktuator selama proses pengeringan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan merealisasikan alat pengering cengkeh tipe greenhouse berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistem pengendalian suhu menggunakan ESP32 dan monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Sistem terdiri atas sensor DHT22, heater, kipas sirkulasi, kipas exhaust, mekanisme rak ayak slider-crank, PZEM-017, serta platform ThingSpeak untuk pemantauan kondisi sistem secara daring.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali dan aktuator dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan logika yang telah dirancang. Mekanisme rak ayak dapat bergerak secara periodik setiap 90 menit dengan durasi aktif 30 detik. Sistem monitoring IoT juga berhasil menampilkan data suhu, kelembapan, status aktuator, serta parameter energi PLTS. Namun, suhu ruang pengering belum dapat dipertahankan secara stabil pada rentang 40–45°C dan pada kondisi tertentu mencapai 56°C, terutama akibat tingginya panas yang dihasilkan oleh efek greenhouse.

Pengujian pengeringan menggunakan 5 kg cengkeh basah berhasil menurunkan kadar air dari 70% menjadi 12,5% dengan massa akhir 1,7 kg dalam waktu pengeringan efektif selama 32 jam pada periode pengujian tiga hari. Sementara itu, metode pengeringan konvensional membutuhkan waktu 40 jam selama empat hari untuk mencapai kadar air akhir sebesar 12,9%. Dengan demikian, alat pengering greenhouse mampu mencapai target kadar air dan mempercepat proses pengeringan sekitar 20% dibandingkan metode konvensional.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem pengendalian suhu perlu dioptimalkan, terutama melalui peningkatan kapasitas kipas exhaust dan sistem ventilasi agar suhu ruang pengering dapat dipertahankan lebih stabil pada rentang yang diinginkan. Mekanisme rak ayak dan distribusi panas di dalam ruang pengering juga perlu dikembangkan untuk meningkatkan pemerataan proses pengeringan. Selain itu, sistem PLTS perlu dioptimalkan, khususnya pada pengelolaan baterai dan kestabilan sistem penyimpanan energi, agar pengoperasian alat dapat berlangsung lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Yulita Hesti, L., Alexander L, K., Suleman, Jusuf R., M., & Kiik G., S. (2025). OPTIMALISASI PENERINGAN RUMPUT LAUT MELALUI SOLAR DRYER TIPE GREEN HOUSE DI LANDU LEKO KABUPATEN ROTE NDAO. *Jurnal Abdi Insani*, 12(November), 6310–6317.
- Amin, Z., Ridwan, I., Muttaqin, F., & Dwika, B. (2024). Pengaruh Penggunaan Pengontrol Temperatur Pada Alat Pengering Tenaga Surya Terhadap Karakteristik Pengeringan Cengkeh. *Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal Dan Termal*, 1, 1–5.
- Cahyani, A. D., Dewatama, D., & Kamajaya, L. (2023). IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC CONTROL PADA ALAT PENERING CENGKEH OTOMATIS. *Jurnal Multidisiplin Indonesia*, 2(September), 2647–2658.
- Dinas Perkebunan Provinsi Jawa Timur. (2013). *Budidaya Tanaman Cengkeh*. Dinas Perkebunan Provinsi Jawa Timur.
- Molote, A., & Budiyo, U. (2024). RANCANG BANGUN ALAT PENERING CENGKEH MENGGUNAKAN WEBSOCKET SERVER BERBASIS IOT Asminarto. *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI)*, 3(September), 901–908.
- Nashirudin, H., & Pangaribowo, T. (2022). Prototype Automasi Greenhouse Dengan Monitoring Menggunakan Smartphone Dan Esp32 Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Elektro*, 13(03), 194–199. <https://doi.org/10.22441/jte.2022.v13i3.010>
- Pratama, A., & Sulaksono, D. H. (2025). Prototype Pengeringan Cengkeh Dengan Menerapkan IoT Yang Berbasis Android. 6(1), 99–110. <https://doi.org/10.31284/j.kernel.2025.v6i1.7811>
- Pratama, A. Y., & Amien, E. R. (2023). *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering Clove*



(*Syzygium aromaticum*) Drying Using Hybrid Rack-Type Drying.

- Santosa, I. G., & Wiryanta, I. (2020). The development of multi-racks clove dryer machine with control of temperature and Relative Air Humidity (RH) The development of multi-racks clove dryer machine with control of temperature and Relative Air Humidity (RH). *Journal of Physics: Conference Series*, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012100>
- Saputra, F., Masykur, F., & Prasetyo, A. (2020). PERANCANGAN INTERNET OF THINGS (IoT) PADA ALAT PENDINGIN BIJI CENGKEH BERBASIS ANDROID. *KOMPUTEK*, 86–94.