

Sistem Pemantauan dan Pengendalian Suhu serta Kelembapan pada Rumah Kaca Anggrek Berbasis IoT dengan Teknologi Pengabutan

An IoT-Based System for Monitoring and Controlling Temperature and Humidity in Orchid Greenhouses Using Misting Technology

Zunanik Mufidah^{1*}, Kisna Pertiwi², Resti Dwi Astuti¹

¹Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365, Indonesia

²Rekayasa Instrumentasi dan Automasi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365, Indonesia

*E-mail: zunanik.mufidah@tbs.itera.ac.id

Diterima: 16 September; Disetujui: 26 Desember 2026

ABSTRAK

Budidaya anggrek memerlukan suhu dan kelembapan yang terjaga dalam batas optimal agar pertumbuhan tanaman berlangsung baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem pemantauan serta pengendalian suhu dan kelembapan berbasis *Internet of things* (IoT) dengan teknologi pengabutan pada rumah kaca anggrek. Metode yang digunakan meliputi integrasi sensor SHT20 dan GY49, mikrokontroler ESP32, serta aktuator seperti sonoff *smart switch*, pompa, dan *nozzle*, dengan sistem pemantauan berbasis platform ITERAHERO. Kalibrasi dan validasi dilakukan untuk menjamin akurasi sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga suhu dan kelembapan dalam rentang ideal (26–28°C dan 70–90%), dengan akurasi sensor di atas 98% dan waktu respons aktuator kurang dari satu detik. Sistem ini terbukti efektif dalam mengatur iklim rumah kaca secara otomatis dan *real-time*, sehingga mendukung efisiensi energi dan produktivitas budidaya anggrek..

Kata kunci: anggrek; IoT; kelembapan; mikrokontroler; pengabutan; suhu

ABSTRACT

Orchid cultivation requires controlled temperature and humidity within optimal limits to ensure healthy plant growth. This study aims to develop and evaluate an Internet of things (IoT)-based system for monitoring and controlling temperature and humidity in orchid greenhouses using misting technology. The method involved integrating SHT20 and GY49 sensors, ESP32 microcontroller, and actuators such as sonoff, pumps, and misting nozzles, with real-time monitoring through the ITERAHERO platform. Calibration and validation were conducted to ensure sensor accuracy. The results showed that the system successfully maintained ideal temperature and humidity ranges (26–28°C and 70–90%), with sensor accuracy exceeding 98% and actuator response time under one second. The system effectively regulated greenhouse microclimate automatically and in real-time, supporting energy efficiency and enhanced orchid cultivation productivity.

Keywords: humidity; IoT; misting; microcontroller; orchid; temperature

PENDAHULUAN

Anggrek (*Orchidaceae*) merupakan tanaman hias bernilai ekonomi tinggi yang memerlukan kondisi iklim mikro spesifik untuk tumbuh dan berkembang secara optimal. Menurut Lee (2020), anggrek membutuhkan suhu 19–32°C dan kelembapan relatif 60–85% guna menjaga stabilitas metabolisme, mendukung fotosintesis, serta mencegah stres fisiologis. Ketidaksesuaian suhu dan kelembapan dapat memperlambat pertumbuhan, menurunkan kualitas bunga, dan meningkatkan risiko penyakit (Acharya et al., 2011; Yunanda, 2023).

Pengelolaan lingkungan tumbuh yang presisi menjadi krusial dalam budidaya anggrek, terutama melalui penggunaan rumah kaca yang memungkinkan pengendalian suhu, kelembapan, dan pencahayaan secara terkontrol. Rumah kaca memberikan fleksibilitas dalam menjaga kondisi optimal meskipun terjadi fluktuasi cuaca, serta berperan penting dalam mendukung pertanian modern yang berkelanjutan (Hemming et al., 2020).

Perkembangan *Internet of things* (IoT) menghadirkan solusi inovatif dalam manajemen iklim rumah kaca

melalui integrasi sensor, mikrokontroler, dan konektivitas internet. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembapan secara otomatis dan *real-time*, termasuk pengaktifan aktuator seperti kipas dan sistem pengabutan. Teknologi pengabutan terbukti efektif dalam menurunkan suhu dan meningkatkan kelembapan secara cepat dan merata, sehingga membantu menjaga kestabilan iklim mikro (Side et al., 2025; Oguntosi et al., 2023).

Meskipun sistem otomatisasi rumah kaca berbasis IoT telah banyak dikembangkan, penerapannya secara spesifik pada budidaya anggrek, khususnya dengan integrasi teknologi pengabutan, masih terbatas. Padahal, pengendalian kelembapan yang tidak tepat dapat meningkatkan risiko penyakit, terutama pada kelembapan relatif di atas 80% (Fang et al., 2019; Bag et al., 2024). Oleh karena itu, sistem kontrol kelembapan yang akurat dan adaptif sangat dibutuhkan untuk menjaga kesehatan tanaman dan mencegah perkembangan patogen (Maraveas & Bartzanas, 2021; Bunpalwong et al., 2023).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem pemantauan dan pengendalian

suhu serta kelembapan berbasis IoT yang dilengkapi teknologi pengabutan pada rumah kaca anggrek, guna menciptakan iklim mikro yang optimal dan mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan.

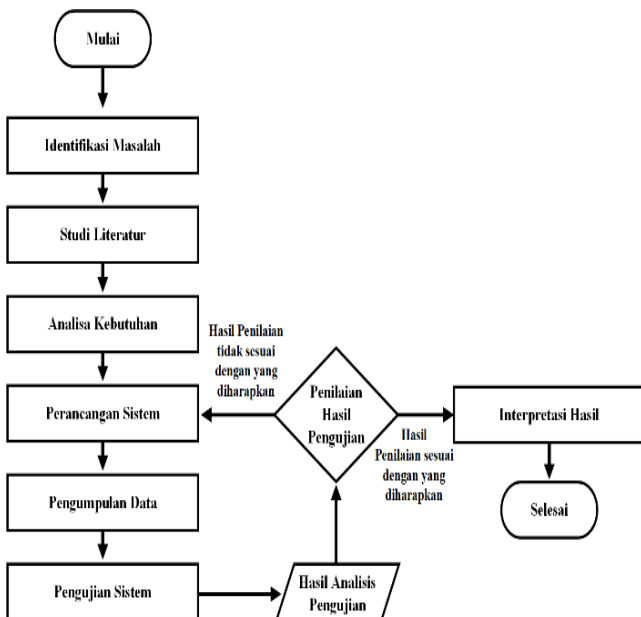
Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembapan berbasis IoT yang secara spesifik dirancang untuk rumah kaca anggrek dengan pendekatan pengabutan adaptif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada tanaman hortikultura umum atau hanya sebatas pemantauan lingkungan, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini mengombinasikan kalibrasi sensor berakurasi tinggi, logika kendali otomatis berbasis ambang batas iklim mikro anggrek, serta implementasi aktuator berbasis sonoff yang terintegrasi dengan platform ITERAHERO secara real-time. Pendekatan ini memungkinkan pengendalian iklim mikro yang lebih presisi, responsif, dan sesuai dengan karakteristik fisiologis anggrek, sehingga memberikan kontribusi baru dalam penerapan teknologi IoT untuk budidaya tanaman hias bernilai tinggi.

METODOLOGI

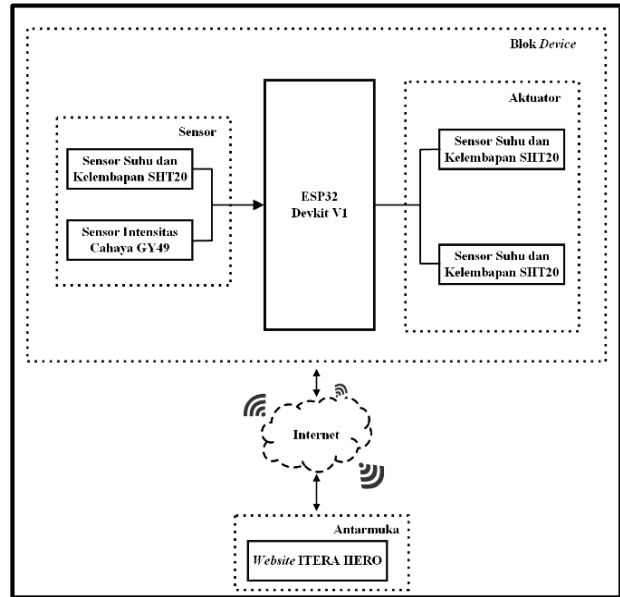
Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan sistem ini meliputi mikrokontroler ESP32 Devkit V1 untuk mengolah data dari sensor dan mengendalikan sistem pengabutan, sensor SHT20 untuk membaca suhu dan kelembapan, sensor GY49 untuk mengukur intensitas cahaya, serta komponen pendukung seperti panel, terminal blok, dan kabel listrik. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman, Proteus untuk simulasi rangkaian elektronik, dan aplikasi ITERAHERO untuk pemantauan data secara *real-time* serta OriginLab untuk pengolahan data berupa grafik. Sistem dilengkapi dengan *Miniature Circuit Breaker* (MCB), sonoff sebagai saklar pintar berbasis Wi-Fi, kontaktor Schneider, pompa air dan *nozzle* untuk pengabutan otomatis, dan FTDI sebagai penghubung ESP32 ke komputer. Selain itu, untuk keperluan kalibrasi dan validasi data, digunakan alat ukur seperti Termohigrometer dan Lux Meter sebagai pembanding hasil sensor.

Prosedur Penelitian



Gambar 1. Tahapan penelitian pengembangan



Gambar 2. Diagram blok sistem pemantauan dan pengendalian rumah kaca anggrek

Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan melakukan pengujian unjuk kerja terhadap Sensor SHT20, GY49, mikrokontroler ESP32 Devkit V1 berdasarkan parameter berupa akurasi, persen kesalahan, dan presisi. Penelitian dilaksanakan di rumah kaca konservasi anggrek UPA Kebun Raya Institut Teknologi Sumatera. Pada bulan Mei 2023 sampai dengan selesai.

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu: (1) perancangan sistem perangkat keras dan perangkat lunak, (2) rangkaian listrik (3) sistem kerja alat (4) kalibrasi dan validasi sensor, (5) pengujian kinerja sistem dan automasi, serta (6) analisis data hasil pengujian. Setiap tahapan dilakukan secara berurutan untuk memastikan sistem bekerja sesuai spesifikasi dan mampu menjaga iklim mikro rumah kaca anggrek secara optimal.

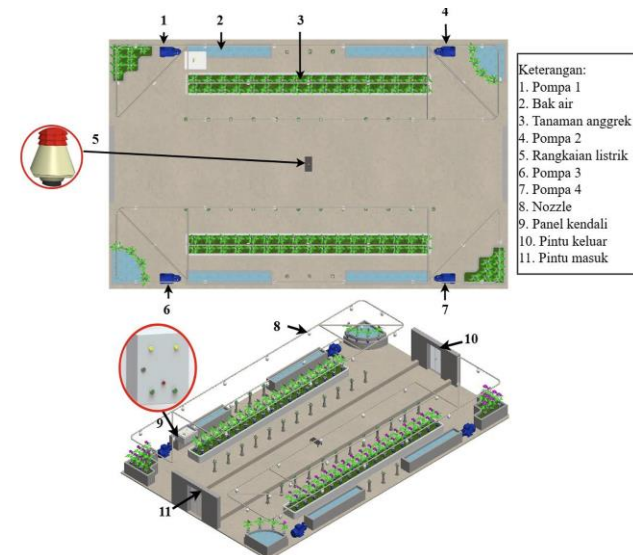
Perancangan sistem perangkat keras dan perangkat lunak

Sistem pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan dalam rumah kaca yang terdiri dari sensor suhu dan kelembapan SHT20 serta sensor cahaya GY49, yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 Devkit V1. Mikrokontroler ini berfungsi mengumpulkan dan memproses data dari sensor untuk mengatur aksi pengendalian guna menjaga kondisi lingkungan rumah kaca tetap optimal. Kemudian, dilakukan integrasi sensor dan IoT dengan modul WiFi, seperti ESP32 untuk mendukung konektivitas dan pengiriman data secara langsung ke database. Diagram blok penelitian ini dapat di lihat pada Gambar 2.

Bagian kedua diagram menunjukkan blok pengendali dan aktuator yang terdiri dari sonoff, pompa air, dan sistem misting yang dikendalikan oleh ESP32 untuk menjaga suhu dan kelembapan. Bagian terakhir menunjukkan koneksi internet, dengan ESP32 terhubung ke platform ITERAHERO untuk memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem secara *real-time* melalui antarmuka web.

Rangkaian listrik

Rangkaian listrik sistem ini membentuk node sensor yang mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, aktuator, dan sumber daya untuk memantau serta mengendalikan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4, sensor SHT20 dan GY49 terhubung ke ESP32 melalui protokol I2C, dengan pin SDA ke pin 21, SCL ke pin 22, GND ke GND, dan VCC ke pin 3V3 pada ESP32.



Gambar 3. Desain dan implementasi rumah kaca anggrek

Sistem distribusi listrik ini bekerja pada tegangan 220V/50Hz dan terdiri dari MCB, sonoff, dua kontaktor (K1 dan K2), serta empat motor listrik (M1–M4). Arus listrik dari sumber utama masuk melalui MCB 1 sebagai pelindung utama, lalu dibagi ke tiga jalur melalui MCB 2, 3, dan 4. MCB 2 melindungi rangkaian sonoff 1 yang mengontrol K1 untuk mengaktifkan M1 dan M2. MCB 3 melindungi sonoff 2 yang mengontrol K2 untuk mengaktifkan M3 dan M4. MCB 4 melindungi jalur stop kontak untuk perangkat tambahan. Seluruh arus kembali melalui jalur netral.

Rangkaian kendali pada Gambar 5. menghubungkan sensor, aktuator, dan sistem pengontrol utama yang memproses data secara *real-time* untuk menjaga suhu dan kelembapan optimal. Rangkaian ini terdiri dari 4 MCB, 2 sonoff, 2 kontaktor, dan 4 pompa air dengan *nozzle*, serta terintegrasi dengan jaringan Wi-Fi untuk pemantauan dan kendali jarak jauh. Seluruh komponen dilindungi dalam panel agar aman dari cipratan air saat pengabutan aktif.

Sistem kerja alat

Sensor SHT20 dan GY49 secara kontinu mengukur suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya pada lingkungan dalam rumah kaca anggrek yang ditunjukkan pada Gambar 7. Data sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai pusat kendali. Sistem membandingkan hasil pembacaan dengan set point suhu 24–28°C dan kelembapan 80–85%. Jika suhu melebihi 28°C atau kelembapan kurang dari 70%, maka ESP32 akan mengaktifkan sonoff untuk menyalakan pompa dan *nozzle* pengabutan guna menurunkan suhu dan menaikkan kelembapan. Sistem terus memantau kondisi secara *real-time*, dan jika parameter lingkungan kembali ke rentang ideal, aktuator otomatis dinonaktifkan. Semua data dikirim ke database dan dapat diakses pengguna melalui antarmuka daring secara *real-time*.

Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi adalah metode untuk membandingkan antara nilai yang ditunjukkan alat ukur dengan nilai acuan dari standar. Dalam penelitian ini, sensor suhu, kelembapan, dan

intensitas cahaya dikalibrasi menggunakan Termohigrometer dan Lux Meter sebagai alat referensi. Pada kalibrasi suhu dan kelembapan, data dari Termohigrometer dalam box pengujian dibandingkan dengan pembacaan sensor, dan dilakukan penyesuaian untuk memastikan akurasi optimal. Proses kalibrasi dan validasi ini melibatkan 20 pengukuran untuk setiap parameter guna menjamin akurasi dan konsistensi data yang dihasilkan (Wardani et al., 2023). Proses serupa diterapkan pada sensor intensitas cahaya menggunakan Lux Meter sebagai pembandingan. Pendekatan yang sistematis ini sejalan dengan penelitian Farisih dan Misbah. (2022) yang menunjukkan pentingnya pemantauan kelembapan berbasis IoT pada budidaya anggrek serta validasi sensor secara ketat.

Pengujian kinerja sistem dan automasi

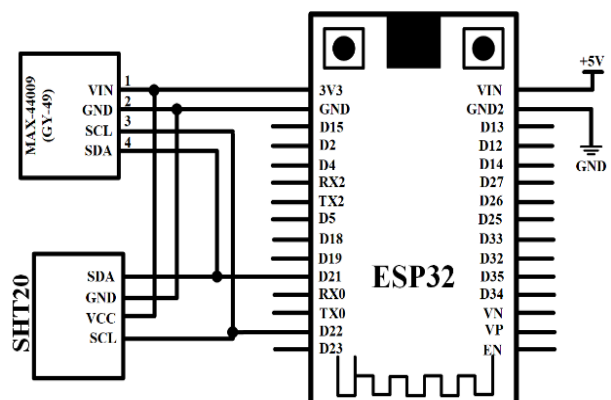
Pengujian sensor bertujuan untuk menilai akurasi dan kestabilan sensor SHT20 (suhu & kelembapan) dan GY49 (cahaya). Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil sensor terhadap alat referensi: Termohigrometer dan Lux Meter UT-383. Data diuji menggunakan parameter rata-rata, standar deviasi, galat (%), dan akurasi (%). Jika akurasi di bawah 85%, dilakukan kalibrasi ulang. Hasil pengujian menentukan bahwa sensor bekerja dengan konsisten dan layak digunakan dalam sistem IoT rumah kaca.

Pengujian respon kendali mengukur kecepatan dan konsistensi respon perangkat sonoff dalam menyalakan dan mematikan pompa dan *nozzle*. Uji dilakukan dengan mengirim perintah dari ESP32 ke sonoff, lalu mencatat waktu hingga pompa dan *nozzle* mulai aktif. Hasil berupa waktu respon dan status perangkat, untuk memastikan bahwa sistem dapat dikendalikan secara andal.

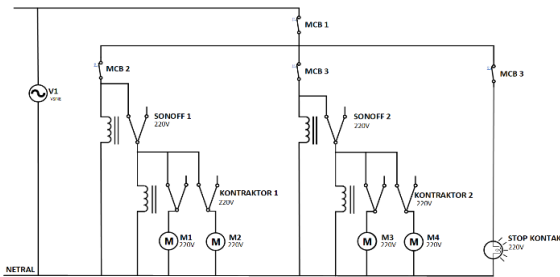
Tujuan pengujian automasi adalah memastikan seluruh komponen (sensor, mikrokontroler, aktuator) dapat berfungsi otomatis sesuai nilai ambang batas yang ditentukan. Pengujian dilakukan dengan merangkai sistem lengkap dan menjalankan program melalui Arduino IDE.

Analisis data hasil pengujian

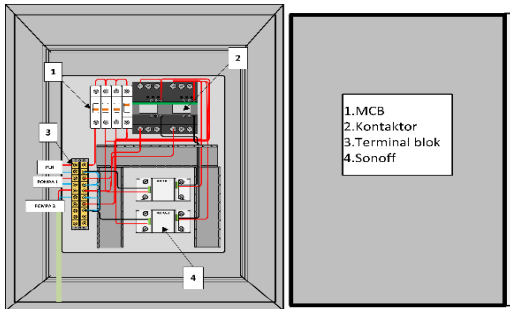
Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat referensi menggunakan parameter galat (%), akurasi (%), dan standar deviasi untuk menilai kestabilan pengukuran. Data dianalisis menggunakan Microsoft Excel untuk perhitungan statistik deskriptif dan regresi linier, sedangkan visualisasi data diolah menggunakan OriginLab dalam bentuk grafik dan tabel. Kinerja sistem kendali dianalisis berdasarkan waktu respon aktuator dan kemampuan sistem mempertahankan suhu serta kelembapan dalam rentang *setpoint* yang ditentukan. Parameter yang diamati meliputi bacaan sensor, status perangkat (sonoff, pompa, *nozzle*), dan respon sistem secara keseluruhan.



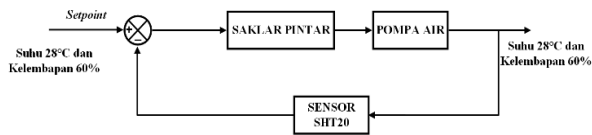
Gambar 4. Node sensor



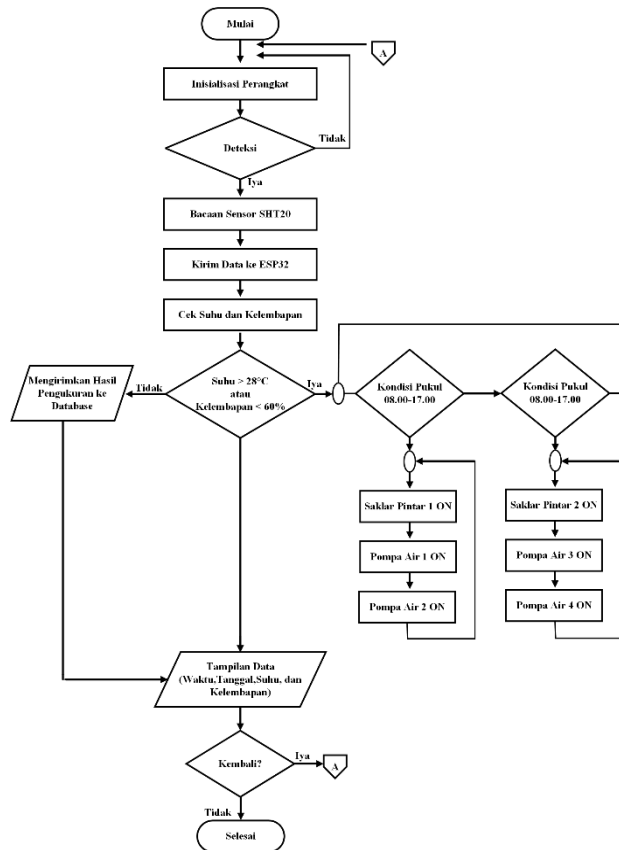
Gambar 5. Rangkaian kendali



Gambar 6. Desain 3D panel kontrol sistem



Gambar 7. Diagram blok kendali



Gambar 8. Diagram alir kendali

- Akurasi = 1- % kesalahan. (1)
- $Persen\ Kesalahan = -\left|\frac{F_n - K_n}{F_n}\right| \times 100\%$ (2)
- Presisi = $1 - S_t$ (3)
- $\Delta t = t_{aksi} - t_{perintah}$ (4)
- Logika kendali
- $T > T_{maks}$ dan $RH < RH_{min} = Pompa\ Aktif$ (5)
- $T \leq T_{maks}$ dan $RH \geq RH_{min} = Pompa\ Non\ Aktif$ (6)

Keterangan:

- F_n = Nilai sebenarnya
- K_n = Nilai yang terbaca pada alat ukur
- n = Jumlah data
- S_t = Standar deviasi
- t_{aksi} = Waktu aktuator menyala
- $t_{perintah}$ = waktu perintah dikirim dari mikrokontroler
- T = Suhu Aktual
- RH = Kelembapan aktual
- T_{maks}, RH_{maks} = nilai ambang batas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi dan validasi sensor suhu merupakan langkah penting dalam memastikan bahwa alat ukur atau sistem pengukuran memberikan hasil yang akurat dan andal. Dalam penelitian ini, kalibrasi dilakukan menggunakan alat pengukur standar seperti Termohigrometer untuk sensor suhu dan kelembapan, serta Lux Meter untuk pengukuran intensitas cahaya. Proses kalibrasi ini mengikuti metode yang umum digunakan, dengan hasil pengukuran dari sensor dibandingkan dengan nilai acuan dari alat referensi (Mufidah, et.al., 2023).

Sejalan dengan praktik kalibrasi yang baik, Ningsih dan Bulaka (2023) menjelaskan bahwa proses kalibrasi dapat

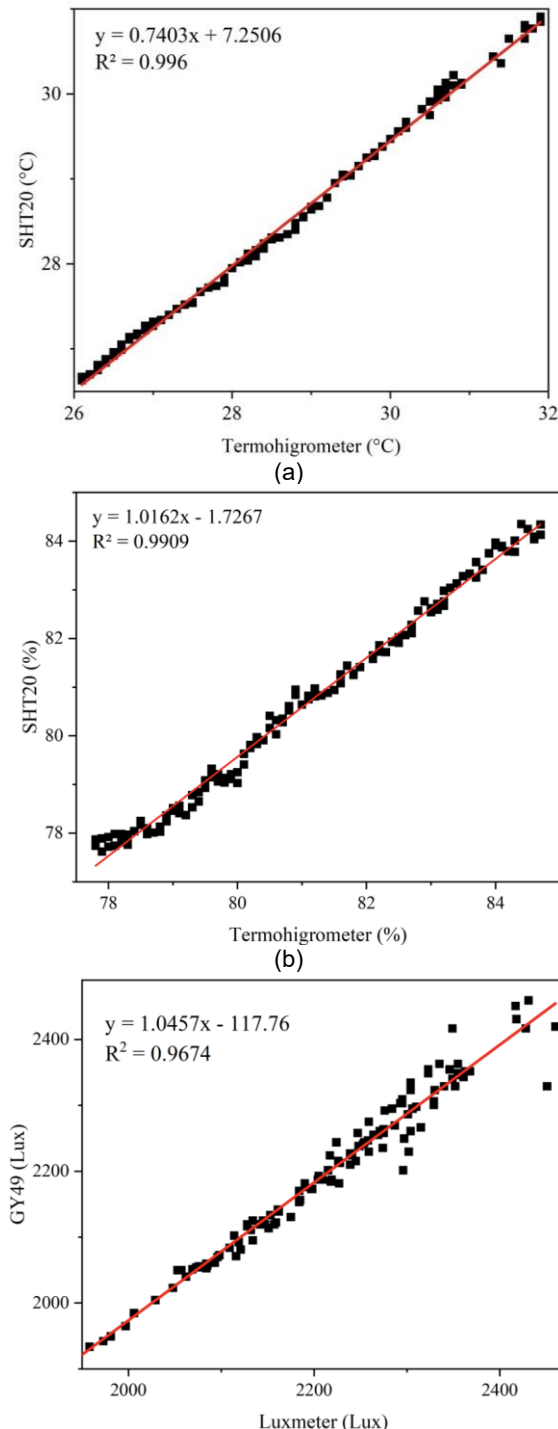
dilakukan dalam dua tahap, yakni dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar sebagai acuan. Hanes et al. (2024) juga menegaskan bahwa akurasi sensor suhu dan kelembapan merupakan aspek krusial dalam sistem pemantauan lingkungan, dan bahwa kalibrasi yang dilakukan dengan tepat dapat secara signifikan meningkatkan performa sistem secara keseluruhan. Sementara itu, Gulandaz et al., (2024). menekankan bahwa kalibrasi yang optimal mampu meningkatkan keandalan alat ukur dalam menghasilkan data yang valid dan konsisten, terutama dalam kondisi lingkungan yang bervariasi. Oleh karena itu, proses kalibrasi dan validasi secara sistematis menjadi langkah penting untuk memastikan sensor SHT20 dan GY49 mampu memberikan data yang akurat dan stabil dalam aplikasi rumah kaca anggrek.

Kalibrasi Sensor SHT20 dan GY49

Kalibrasi sensor merupakan tahapan penting untuk menjamin keakuratan data dalam sistem pemantauan berbasis IoT, khususnya dalam lingkungan yang sensitif seperti rumah kaca anggrek. Dalam penelitian ini, dilakukan kalibrasi terhadap sensor suhu dan kelembapan SHT20 serta sensor cahaya GY49 dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat referensi yang telah terkalibrasi, yaitu Termohigrometer dan Lux Meter. Pada sensor suhu SHT20, diperoleh 121 data dengan rentang 26–29,8 °C, menghasilkan persamaan regresi $y = 0,732x + 7,4776$ dan nilai $R^2 = 0,9961$, menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat. Sensor ini memiliki galat 1,4% dan akurasi 98,6% dengan standar deviasi 0,781, menandakan performa yang stabil dan akurat. Pada pengujian kelembapan, sensor SHT20 menunjukkan persamaan regresi $y = 1,0268x - 0,7176$ dengan $R^2 = 0,998$, galat 1,73%, dan akurasi 98,3%, mengonfirmasi hubungan linier yang sangat kuat dan performa yang konsisten. Sementara itu, sensor intensitas cahaya GY49 menghasilkan persamaan regresi $y = 1,0457x$

- 117,76, $R^2 = 0,9674$, galat 1,1%, akurasi 98,9%, dan standar deviasi 0,639, yang menunjukkan bahwa sensor bekerja baik dalam mengukur cahaya. Hasil kalibrasi ketiga sensor menunjukkan performa yang handal dan sesuai untuk pemantauan lingkungan rumah kaca anggrek berbasis IoT.

Dibandingkan dengan penelitian oleh Wardani et al., (2023) yang hanya memperoleh nilai korelasi sebesar 0,81 untuk suhu dan 0,85 untuk kelembapan, hasil penelitian ini menunjukkan akurasi dan konsistensi yang lebih tinggi. Kalibrasi sensor SHT20 dan GY49 pada Gambar 9. menghasilkan galat rendah, akurasi tinggi, dan nilai R^2 sangat baik, membuktikan keandalan sistem untuk pemantauan iklim mikro rumah kaca anggrek berbasis IoT.



Gambar 9. Grafik regresi linier pada, a) kalibrasi sensor suhu SHT20, b) sensor kelembapan SHT20, c) sensor cahaya GY49

Validasi Sensor SHT20 dan GY49

Validasi sensor merupakan tahapan penting untuk memastikan kinerja sensor tetap konsisten setelah proses kalibrasi dan integrasi dengan sistem. Dalam penelitian ini, validasi dilakukan terhadap sensor suhu dan kelembapan SHT20 serta sensor intensitas cahaya GY49 dengan membandingkan pembacaan sensor yang telah dikalibrasi dan diprogram ke dalam ESP32 dengan alat referensi.

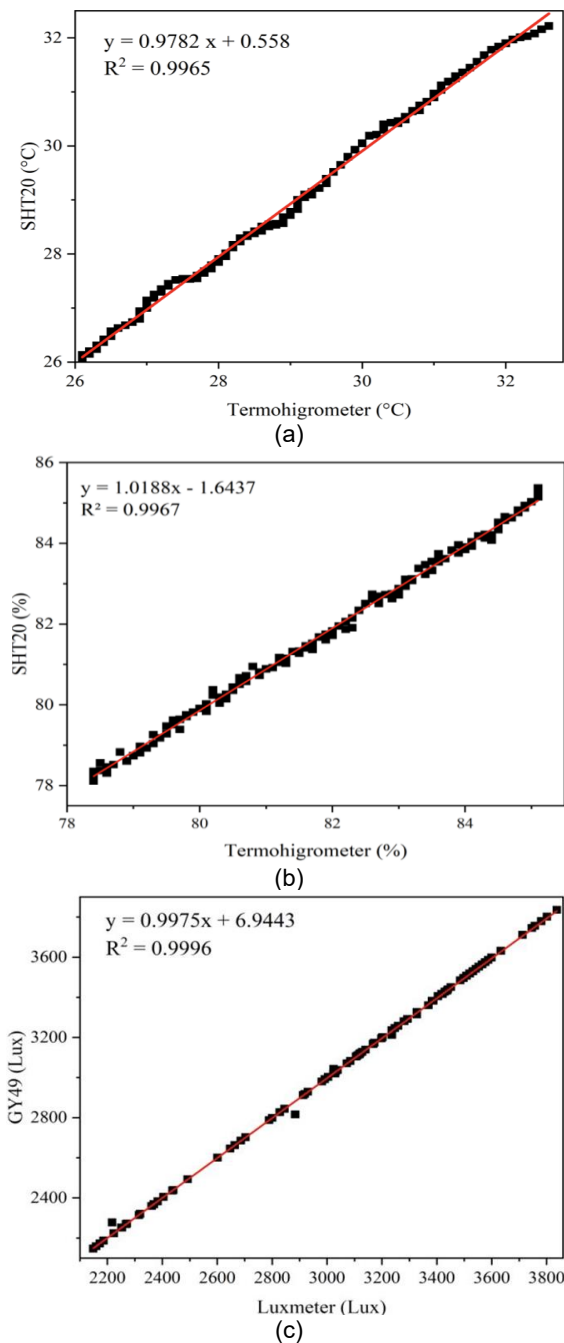
Pada sensor suhu SHT20, diperoleh 121 data validasi dengan rentang suhu 26,08–32,22 °C. Hasilnya menunjukkan persamaan regresi $y = 0,9782x + 0,558$ dengan $R^2 = 0,9965$, galat 0,35%, dan akurasi mencapai 99,65%, yang mengindikasikan hubungan linier sangat kuat dan performa pengukuran yang akurat. Validasi kelembapan sensor SHT20 menunjukkan hasil serupa, dengan persamaan regresi $y = 0,9976x + 0,2274$, nilai $R^2 = 0,9989$, galat 0,13%, dan akurasi 99,9%. Ini menandakan bahwa sensor sangat konsisten dalam mengikuti perubahan kelembapan yang diukur oleh alat referensi. Sementara itu, sensor GY49 untuk intensitas cahaya menghasilkan persamaan regresi $y = 0,9954x + 10,943$ dengan $R^2 = 0,9936$, galat 0,17%, dan akurasi 99,8%, menunjukkan bahwa sensor ini bekerja dengan sangat baik dalam mengukur cahaya.

Secara keseluruhan, hasil validasi pada Gambar 10. menunjukkan bahwa ketiga sensor memiliki kinerja yang sangat baik, dengan tingkat kesalahan rendah dan akurasi tinggi. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memiliki galat lebih tinggi, seperti studi yang mencatat galat 5,17% dan akurasi 94,83% untuk sensor cahaya, maka hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam keakuratan sistem. Oleh karena itu, sensor SHT20 dan GY49 terbukti layak dan andal digunakan dalam sistem pemantauan iklim mikro rumah kaca anggrek berbasis IoT.

Pengujian Sensor Suhu, Kelembapan (SHT20) Sensor Cahaya (GY 49)

Kinerja sensor suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya yang digunakan dalam sistem pemantauan rumah kaca anggrek berbasis IoT. Parameter yang ditampilkan meliputi nilai galat, akurasi, serta keterangan performa masing-masing sensor sebagai dasar evaluasi keandalan sistem dalam menjaga kondisi iklim mikro secara presisi dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil ringkasan kinerja sensor menunjukkan bahwa sistem pemantauan yang dikembangkan memiliki reliabilitas sangat tinggi, ditandai oleh galat pengukuran yang rendah (<0,5%) dan akurasi di atas 99% untuk seluruh parameter. Sensor SHT20 mencatat galat 0,35% pada pengukuran suhu dan 0,13% pada kelembapan dengan akurasi masing-masing 99,65% dan 99,9%, yang melampaui performa sensor lingkungan yang umum digunakan dalam sistem rumah kaca berbasis IoT (Wardani et al., 2023; Rustami et al., 2022). Tingginya akurasi ini krusial untuk budidaya anggrek mengingat sensitivitas tanaman terhadap fluktuasi suhu dan kelembapan yang dapat memicu stres fisiologis maupun peningkatan risiko penyakit (Lee, 2010; Fang et al., 2019; Bag et al., 2024). Sensor cahaya GY49 juga menunjukkan kinerja sangat baik dengan akurasi 99,8%, yang dinilai memadai untuk pemantauan intensitas cahaya rendah hingga sedang yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis anggrek (Ausin et al., 2005; Mangesh et al., 2023). Keandalan sensor ini menjadi elemen kunci dalam novelty penelitian, karena memungkinkan sistem pengendalian pengabutan berbasis IoT bekerja secara presisi dan adaptif, sehingga mendukung stabilitas iklim mikro rumah kaca secara *real-time* sebagaimana direkomendasikan dalam pengembangan rumah kaca cerdas modern (Maraveas & Bartzanas, 2021; Oguntosi et al., 2023).



Gambar 10. a) Grafik regresi linier pada, a) validasi sensor suhu SHT20, b) sensor kelembapan SHT20, c) sensor cahaya GY49

Hasil Pengujian Sonoff

Pengujian sensor dan aktuator sonoff menunjukkan kinerja yang sangat responsif dan stabil dalam mengendalikan suhu serta kelembapan pada rumah kaca anggrek. Sistem secara otomatis aktif (ON) ketika suhu aktual sedikit melebihi setpoint (28°C) dan mati (OFF) ketika suhu kembali ke bawah setpoint. Respon sistem berlangsung tanpa jeda (0 detik), menunjukkan efektivitas komunikasi IoT. Variasi waktu operasi tergantung pada kondisi aktual dan kecepatan perubahan suhu–kelembapan, dengan durasi kerja yang lebih lama terjadi saat suhu sulit dikendalikan atau kelembapan terlalu rendah. Kinerja ini mencerminkan sistem kendali berbasis IoT yang efisien dalam menjaga stabilitas iklim rumah kaca secara *real-time*.

Hasil pada Tabel 2. sejalan dengan penelitian oleh Setiawan et al. (2021) yang menyatakan bahwa sistem

kontrol berbasis IoT seperti sonoff memiliki kecepatan respon yang tinggi dan sangat efektif dalam memantau serta mengendalikan parameter lingkungan rumah kaca secara otomatis. Demikian pula, studi oleh Satria & Budiman (2020) menunjukkan bahwa pengaturan otomatis suhu dan kelembapan dengan IoT mampu mengurangi fluktuasi lingkungan yang ekstrem, menjaga tanaman tetap dalam zona optimal pertumbuhan. Kedua penelitian tersebut mendukung temuan bahwa penggunaan perangkat IoT seperti sonoff dapat memberikan kendali presisi dan efisiensi tinggi untuk pertanian berbasis rumah kaca.

Hasil Pengujian Pompa

Pengujian pompa pada Tabel 3. menunjukkan bahwa sistem kendali berbasis IoT memiliki waktu respon yang sangat cepat dalam menjaga suhu dan kelembapan rumah kaca anggrek. Dengan waktu respon antara 0.34 hingga 0.66 detik, pompa mampu bereaksi hampir seketika terhadap fluktuasi suhu dan kelembapan, menjaga lingkungan tetap stabil di sekitar *set point* 28°C dan 70–90%. Jika suhu sedikit melebihi setpoint atau kelembapan mendekati batas bawah, maka sistem segera mengaktifkan pompa, dan sebaliknya, sistem dinonaktifkan ketika kondisi kembali stabil. Variasi waktu respon menunjukkan kepekaan sistem terhadap dinamika lingkungan rumah kaca, dengan performa yang andal dan efisien dalam mengelola parameter iklim.

Penelitian yang menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis berbasis IoT untuk pompa dan *nozzle* memiliki waktu respon di bawah 1 detik dan sangat efektif menjaga kestabilan suhu serta kelembapan pada budidaya tanaman dalam ruang terkendali. Studi lain oleh Ahmed & Hassan (2022) menyatakan bahwa waktu respon cepat (<1 detik) pada sistem pemompaan otomatis sangat penting untuk menghindari stres tanaman akibat perubahan lingkungan yang tiba-tiba. Kedua studi ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian pompa berbasis IoT dapat diandalkan untuk pengelolaan lingkungan pertanian presisi seperti rumah kaca anggrek.

Hasil Pemantauan Sistem

Sebelum pengabutan, suhu dalam rumah kaca dapat mencapai lebih dari 32 °C antara pukul 11.00–15.00, yang melampaui batas toleransi ideal 28 °C bagi anggrek. Setelah sistem aktif, suhu berhasil distabilkan di sekitar 28 °C dengan fluktuasi minimal, menunjukkan efektivitas pengabutan dalam menurunkan suhu hingga sekitar 6 °C di jam puncak siang. Kinerja ini sejalan dengan temuan di greenhouse di Cisauk-Tangerang (Banten) yang dilakukan oleh Eduard et al., (2022), yaitu sistem misting berbasis IoT berhasil menahan suhu puncak di bawah 33 °C meskipun suhu luar mencapai kondisi ekstrem, melalui pengendalian otomatis pompa dan *nozzle* pada Gambar 11.

Hal ini juga senada dengan hasil yang diperoleh dari penelitian Mulyanto et al. yang menunjukkan bahwa pengendalian suhu dalam sistem berbasis IoT dapat meningkatkan efektivitas pengaturan iklim mikro dalam rumah tanam anggrek (Mulyanto et al. (2024). Namun, penting untuk dicatat bahwa referensi ini berfokus pada budidaya jamur tiram, yang mungkin memiliki perbedaan konteks dibandingkan dengan budidaya anggrek. Penelitian lain oleh Hidayat et al. menunjukkan pentingnya pengendalian suhu dan kelembapan otomatis dalam mendukung budidaya jamur tiram (Hidayat et al., 2023), tetapi juga tidak secara langsung mengacu pada anggrek. Selain itu, Hadyanto dan Amrullah membuktikan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT dapat secara signifikan memperbaiki pengendalian iklim di kandang hewan, yang memiliki prinsip serupa dalam konteks rumah kaca (Hadyanto & Amrullah, 2022).

Tabel 1. Kinerja sensor-sensor

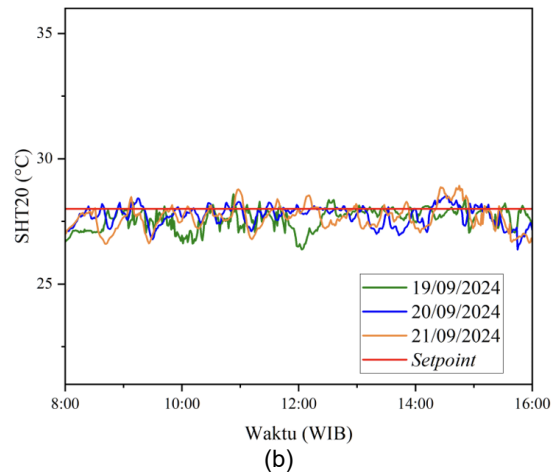
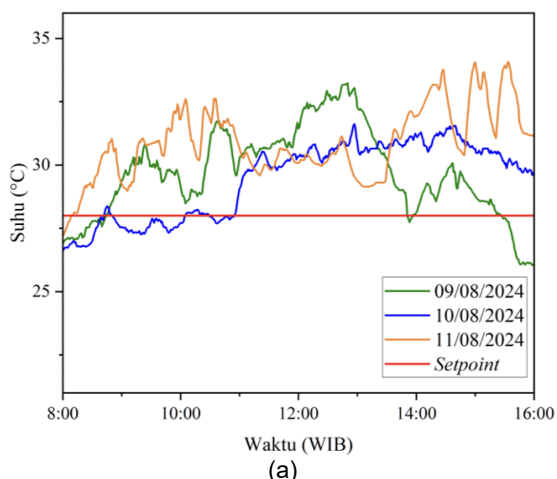
Sensor	Parameter	Galat (%)	Akurasi (%)	Keterangan
SHT20	Suhu	0.35	99.65	Sangat baik
SHT20	Kelembapan	0.13	99.9	Sangat stabil
GY49	Cahaya	0.17	99.8	Optimal cahaya rendah–sedang

Tabel 2. Hasil pengujian sonoff

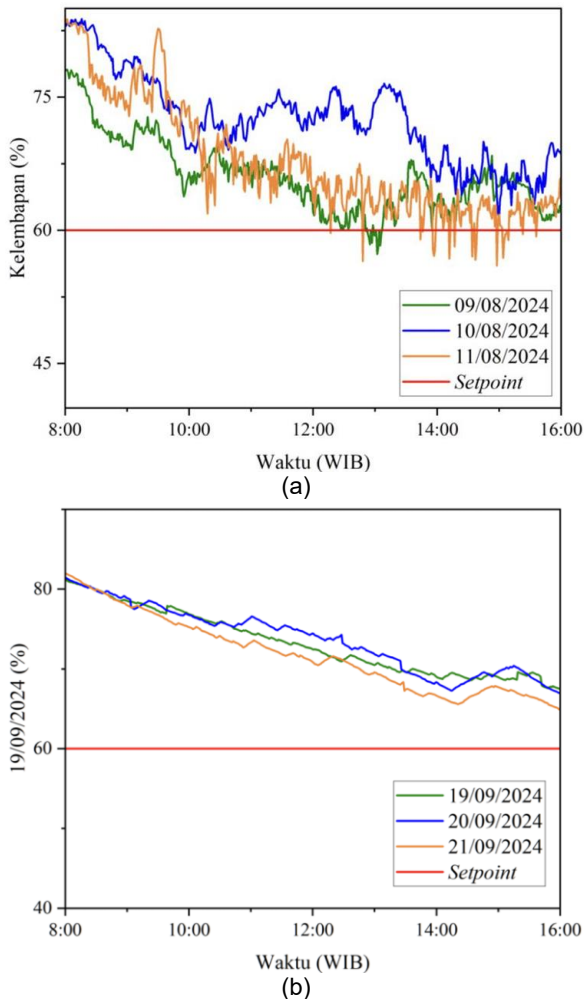
Setpoint (°C)		Nilai Aktual		Kondisi	Waktu Pengiriman Perintah	Waktu Respon Diterima	Waktu Operasi (s)
°C	%	Suhu (°C)	Kelembapan (%)				
28	60	28.02	79.52	ON	12:14:32	12:14:32	240
28	60	28	80.71	OFF	12:18:32	12:18:32	240
28	60	28.05	79.56	ON	12:20:32	12:20:32	540
28	60	27.89	82.64	OFF	12:29:32	12:29:32	540
28	60	28.06	79.34	ON	12:38:32	12:38:32	120
28	60	27.9	79.93	OFF	12:40:32	12:40:32	120
28	60	28.04	79.04	ON	13:06:32	13:06:32	540
28	60	27.89	82.48	OFF	13:15:32	13:15:32	540
28	60	28.04	79.14	ON	13:26:32	13:26:32	180
28	60	28	80.61	OFF	13:29:32	13:29:32	180

Tabel 3. Hasil pengujian pompa nozzle

Setpoint		Nilai Aktual		Kondisi Aktual	Waktu Respon (s)	
°C	%	Suhu (°C)	Kelembapan (%)		Pompa	Nozzle
28	70	28.01	86.09	ON	0.41	0.78
28	70	28	84.48	OFF	0.45	0.91
28	70	28.06	84.58	ON	0.54	0.88
28	70	27.85	83.87	OFF	0.51	0.88
28	70	28.04	80.64	ON	0.34	0.74
28	70	27.87	80.84	OFF	0.54	0.81
28	70	28.21	79.83	ON	0.38	0.72
28	70	27.84	80.84	OFF	0.57	0.86
28	70	28.07	79.86	ON	0.66	0.82
28	70	27.83	83.61	OFF	0.48	0.88



Gambar 11. Pemantauan a) suhu sebelum dan b) setelah sistem aktif



Gambar 12. Pemantauan a) kelembapan sebelum dan b) sesudah sistem aktif

Kelembapan awal dalam rumah kaca turun drastis di bawah 60% saat siang hari, jauh dari ambang ideal 70%. Namun, setelah sistem aktif, kelembapan berhasil dijaga tetap di atas 70%, bahkan mencapai hampir 90% ketika pompa dioperasikan di sore hari. Hal ini mencerminkan kemampuan sistem mengatasi penurunan kelembapan akibat pemanasan, sebuah efektivitas yang didukung oleh literatur misalnya, studi oleh Mangesh et al. Mangesh et al. (2023) menunjukkan bahwa teknologi pengabutan mampu meningkatkan kelembapan dalam konteks pemantauan dan pengendalian sistem rumah kaca

Dalam riset yang sama, sistem misting berbasis IoT dipastikan dapat mengatur kelembapan secara otomatis dan efisien, menjaga kestabilan lingkungan yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu, penelitian oleh Huang et al. Huang et al. (2024) menekankan pentingnya regulasi kelembapan yang tepat dalam meningkatkan hasil pertanian, menunjukkan bahwa sistem yang baik dalam pengendalian kelembapan sangat vital dalam meningkatkan produktivitas di dalam rumah kaca. Sistem yang terintegrasi dengan sensor kelembapan akan memudahkan pemantauan kondisi mikroklimat, dan hasil ini sejalan dengan temuan sebelumnya oleh Eduard et.al., (2022), yakni sistem misting berbasis IoT juga berhasil menahan suhu puncak dan menjaga kelembapan di tingkat yang optimal.

Hasil pemantauan menunjukkan bahwa intensitas cahaya di dalam rumah kaca anggrek berfluktuasi secara signifikan dari pagi hingga sore hari, dengan nilai tertinggi mencapai 3802 lux dan terendah sekitar 2252 lux. Intensitas cahaya tertinggi terjadi antara pukul 10:00 hingga 14:00,

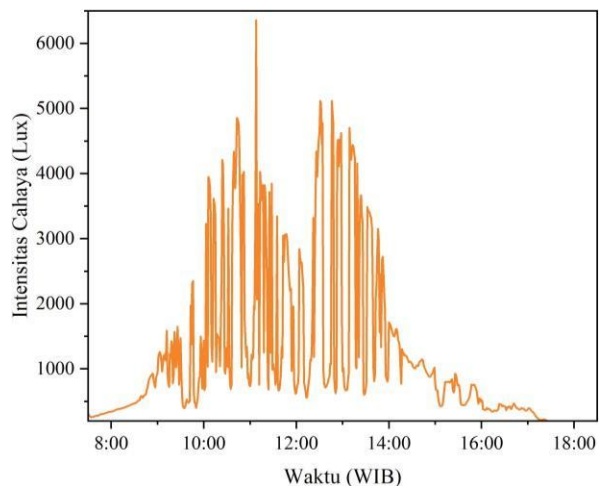
namun variasi ini cukup tinggi karena dipengaruhi oleh tutupan awan, pergerakan matahari, serta adanya jaring pelindung di atap rumah kaca. Rentang ini masih berada dalam kategori cahaya rendah hingga sedang, yang sesuai untuk kebanyakan spesies anggrek.

Anggrek, terutama jenis *Dendrobium*, *Phalaenopsis*, dan *Cattleya*, umumnya membutuhkan intensitas cahaya antara 1000 hingga 5000 lux untuk tumbuh optimal, tergantung spesiesnya (Ausin et al., 2005). Intensitas cahaya di bawah 1000 lux dapat menyebabkan daun menjadi lunak dan pertumbuhan lambat, sementara terlalu tinggi (>6000 lux) dapat memicu *sunburn* pada daun. Dalam penelitian ini, meskipun tidak ada sistem pengaturan intensitas cahaya aktif, nilai intensitas cahaya yang tercatat secara umum masih sesuai dengan kisaran ideal untuk kebanyakan spesies anggrek, terutama *Phalaenopsis* yang menyukai cahaya rendah-sedang (~1000–3000 lux) Mangesh et al. (2023). Namun, fluktuasi yang signifikan tetap dapat menjadi stresor jika tidak dikontrol dengan baik, sehingga penerapan sistem *shading* otomatis dapat menjadi pengembangan berikutnya untuk menjaga kestabilan pencahayaan.

Dalam menjaga stabilitas pencahayaan di dalam rumah kaca anggrek, penerapan sistem *shading* otomatis menjadi solusi yang penting. Fluktuasi intensitas cahaya yang signifikan dapat menjadi faktor stres bagi tanaman, terutama jika tidak dikelola secara tepat. Hal ini sejalan dengan temuan Velasco (2021), yang menunjukkan bahwa sistem pencahayaan adaptif mampu menciptakan kondisi lingkungan yang lebih stabil dan optimal bagi pertumbuhan tanaman di dalam rumah kaca. Penelitian tersebut juga menekankan bahwa pengendalian pencahayaan secara otomatis berkontribusi pada peningkatan hasil pertumbuhan tanaman, sehingga sangat relevan diterapkan dalam strategi pengelolaan rumah kaca anggrek.

Hasil Pengujian Autonomus Alat

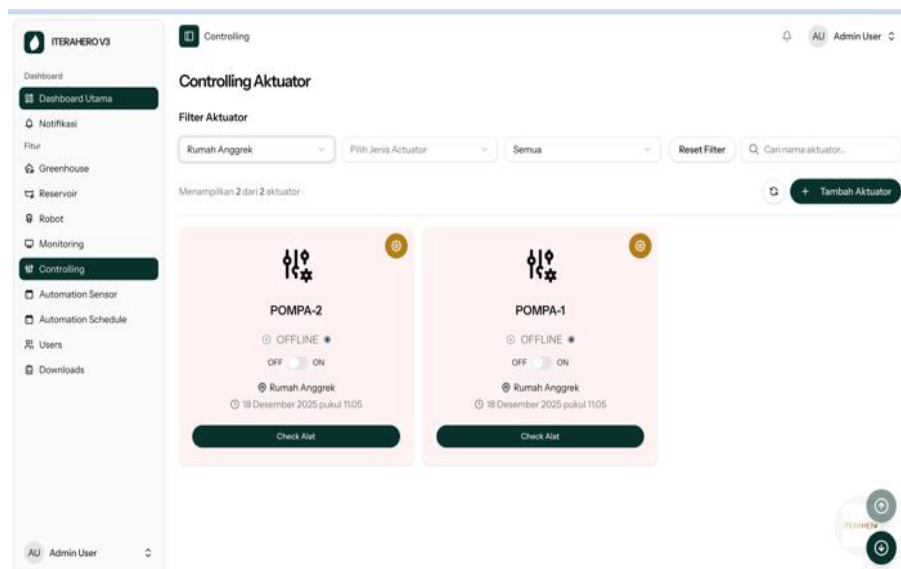
Hasil pengujian sistem automasi alat menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara efisien dalam menjaga suhu dan kelembapan dalam batas *set point* yang telah ditentukan, yaitu 26–28°C dan 70–90% RH. Aktuator (sonoff, pompa, dan *nozzle*) hanya aktif ketika suhu aktual mendekati atau melebihi 28°C atau kelembapan menurun mendekati batas bawah, lalu otomatis nonaktif ketika kondisi lingkungan kembali stabil. Waktu aktif dan nonaktif yang adaptif mencerminkan kecerdasan sistem dalam merespon dinamika lingkungan secara *real-time*. Pola kerja aktuator yang responsif ini menandakan keberhasilan sistem automasi dalam mempertahankan kestabilan mikroklimat rumah kaca, khususnya untuk budidaya tanaman sensitif seperti anggrek.



Gambar 13. Monitoring intensitas cahaya

Tabel 4. Hasil pengujian automasi alat

Setpoint		Nilai Aktual		Saklar pintar	Pompa Air	Nozzle
°C	%	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Udara(%)			
26-28	70-90	27.79	82.18	Mati	Mati	Mati
26-28	70-90	27.87	82.12	Mati	Mati	Mati
26-28	70-90	27.84	82.31	Mati	Mati	Mati
26-28	70-90	28.01	81.88	Aktif	Aktif	Aktif
26-28	70-90	28.09	81.54	Aktif	Aktif	Aktif
26-28	70-90	28.09	82.09	Aktif	Aktif	Aktif
26-28	70-90	28	81.26	Mati	Mati	Mati
26-28	70-90	27.84	81.32	Mati	Mati	Mati
26-28	70-90	27.65	80.48	Mati	Mati	Mati
26-28	70-90	27.54	80.68	Mati	Mati	Mati
26-28	70-90	27.79	80.5	Mati	Mati	Mati



Gambar 14. Tampilan dashboard ITERAERO

Penelitian oleh Hossain et al. (2022) menunjukkan bahwa sistem automasi rumah kaca berbasis sensor mampu mempertahankan suhu dan kelembapan dengan tingkat akurasi tinggi, dengan pengendalian yang dilakukan secara otomatis melalui aktuator. Hal ini sejalan dengan temuan Patel & Singh (2021) yang melaporkan bahwa pemanfaatan sistem IoT dan sensor lingkungan memungkinkan respon aktuator yang cepat dan akurat dalam menjaga kondisi optimal tanaman. Kedua studi tersebut mendukung bahwa sistem automasi berbasis sensor seperti yang diuji pada alat ini efektif untuk pengelolaan rumah kaca berbasis pengabutan.

Pengujian *Internet of things* (IoT)

Sistem pengendalian rumah kaca berbasis *Internet of things* (IoT) yang dikembangkan melalui integrasi sensor SHT20, GY49, ESP32, dan modul sonoff berhasil menciptakan proses otomatisasi yang responsif dan efisien dalam menjaga suhu dan kelembapan ideal untuk tanaman anggrek. Sistem ini mampu memantau kondisi lingkungan secara *real-time* melalui platform ITERAHERO dan melakukan pengendalian otomatis terhadap pompa dan *nozzle* untuk pengabutan. Dengan kemampuan

pengendalian berbasis data sensor dan otomatisasi tanpa intervensi manusia, sistem ini memberikan keuntungan dalam efisiensi sumber daya, menjaga kestabilan iklim mikro, serta mendukung pertumbuhan optimal anggrek di dalam rumah kaca.

Penelitian oleh Mahalle et al. (2020) menunjukkan bahwa sistem IoT memungkinkan automasi pertanian presisi yang efektif dengan pemantauan lingkungan berbasis sensor dan pengendalian cerdas. Selain itu, studi oleh Islam et al. (2022) menunjukkan bahwa penggunaan ESP32 dan modul IoT lainnya dalam sistem rumah kaca terbukti dapat meningkatkan efisiensi irigasi serta menjaga suhu dan kelembapan dalam batas optimal. Hal ini memperkuat temuan bahwa IoT berperan besar dalam efisiensi pengelolaan rumah kaca modern.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembapan rumah kaca anggrek berbasis *Internet of things* (IoT) yang terintegrasi dengan teknologi pengabutan. Sistem mampu menjaga kondisi iklim mikro dalam rentang optimal bagi

pertumbuhan anggrek secara otomatis dan *real-time*. Kinerja sensor SHT20 dan GY49 menunjukkan galat pengukuran yang rendah (<0,5%) dan akurasi tinggi (>99%), sehingga mendukung keandalan sistem dalam pengambilan keputusan kendali. Aktuator berbasis sonoff, pompa, dan *nozzle* misting memberikan respons cepat terhadap perubahan lingkungan, memungkinkan stabilitas suhu dan kelembapan tetap terjaga secara adaptif. Integrasi dengan *platform* ITERAHERO memungkinkan pemantauan jarak jauh yang efektif dan efisien. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki potensi tinggi untuk diterapkan sebagai solusi pertanian presisi pada budidaya anggrek di rumah kaca serta berkontribusi pada pengembangan teknologi rumah kaca cerdas yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Sumatera (ITERA) atas dukungan pendanaan dengan nomor kontrak 631bh/IT9.2.1/PT.01.03/2023 yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Dukungan tersebut sangat membantu dalam mewujudkan penelitian dan pengembangan sistem pemantauan serta pengendalian suhu dan kelembapan berbasis *Internet of things* (IoT) pada rumah kaca anggrek. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang turut serta membantu dalam proses pelaksanaan dan penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, K., Vetaas, O. R., & Birks, H. J. B. (2011). Orchid species richness along himalayan elevational gradients. *Journal of Biogeography*, 38(9), 1821-1833. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02511.x>
- Lee, Y. (2010). In vitro culture and germination of terrestrial asian orchid seeds. *Methods in Molecular Biology*, 53-62. https://doi.org/10.1007/978-1-61737-988-8_5
- Yunanda, A. B. (2023). Iot implementation energy consumption for indoor orchid cultivation based on WeMos. *Applied Technology and Computing Science Journal*, 6(1), 64-70. <https://doi.org/10.33086/atcsj.v6i1.4582>
- Hemming, S., Zwart, F. d., Elings, A., Petropoulou, A., & Righini, I. (2020). Cherry tomato production in intelligent greenhouses—sensors and ai for control of climate, irrigation, crop yield, and quality. *Sensors*, 20(22), 6430. <https://doi.org/10.3390/s20226430>
- Side, G. N. D., Putra, G. M. D., & Setiawati, D. A. (2025). Iot (*internet of things*) microclimate monitoring system using node-red platform at plant factory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1441(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1441/1/012012>
- Oguntosin, V., Okeke, C., Adetiba, E., Abdulkareem, A., & Olowoleni, J. O. (2023). Iot-based greenhouse monitoring and control system. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 14(1), 469-483. <https://doi.org/10.12785/ijcds/140137>
- Fang, X., Ai, J., Liu, W., Ji, H., Zhang, X., Peng, Z., ... & Bao, C. (2019). Epidemiology of infectious diarrhoea and the relationship with etiological and meteorological factors in Jiangsu province, China. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56207-2>
- Bag, T. K., Dutta, P., Hubballi, M., Kaur, R., Mahanta, M., Chakraborty, A., ... & Waghunde, R. R. (2024). Destructive phytophthora on orchids: current knowledge and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1139811>
- Gulandaz, M., Kabir, M., Kabir, M., Ali, M., Reza, M., Haque, M., ... & Chung, S. (2024). Layout of suspension-type small-sized dehumidifiers affects humidity variability and energy consumption in greenhouses. *Horticulturae*, 10(1), 63. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010063>
- Maraveas, C. and Bartzanas, T. (2021). Application of *internet of things* (iot) for optimized greenhouse environments. *AgriEngineering*, 3(4), 954-970. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3040060>
- Bunpalwong, M., Rukhiran, M., & Netinant, P. (2023). Improving marigold agriculture with an iot-driven greenhouse irrigation management control system. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(6), 3817-3825. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i6.6300>
- Chantoiseau, E., Migeon, C., Chasseriaux, G., & Bournet, P. (2016). Heat-pump dehumidifier as an efficient device to prevent condensation in horticultural greenhouses. *Biosystems Engineering*, 142, 27-41. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.11.011>
- Farisih, M. R., & Misbah, M. (2023). Fuzzy Logic And IOT Based Air Humidity Control System For Orchid Plants. *Riwayat: Educational Journal of History and Humanities*, 6(3), 2048-2055. <https://doi.org/10.24815/jr.v6i3.34274>
- Wardani, I. K., Ichniarsyah, A. N., Telaumbanua, M., Priyonggo, B., Fil'Aini, R., Mufidah, Z., & Dewangga, D. A. (2023, September). The feasibility study: Accuracy and precision of DHT 22 in measuring the temperature and humidity in the greenhouse. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1230, No. 1, p. 012146). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012146>
- Ningsih, S. and Bulaka, B. (2023). Rancang bangun sistem pengukuran alkohol dan suhu berbasis mikrokontroler arduino uno dalam pembuatan etanol dari tepung sagu. *Saintifik*, 9(2), 335-342. <https://doi.org/10.31605/saintifik.v9i2.458>
- Hanes, N. M., Wahab, W., & Setyaningsih, E. (2024). Analisis perbandingan sensor suhu dan kelembapan dht-11 dan aht-10 dengan perangkat lutron am4205a. *INTRO : Journal Informatika Dan Teknik Elektro*, 3(1), 41-48. <https://doi.org/10.51747/intro.v3i1.1986>
- Mufidah, Z., Jordy, A. R., Fil'aini, R., Telaumbanua, M., & Fatikhunnada, A. (2023). Design Of Environmental Conditions Of Transportation Simulation Instruments On Tomato (*Solanum Lycopersicum*). *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems-Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 11(1), 92-104. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2023.011.01.09>
- Saputra, D. I. (2021). Perancangan sistem pemantau kebisingan, getaran, suhu, dan kelembapan ruang coating berbasis iot. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.37058/jeee.v3i1.3659>
- Saptania, R. D., Titisari, D., & Syaifudin, S. (2021). Perancangan media air pada kalibrator termometer digital badan. *Jurnal Teknokes*, 14(1), 10-13. <https://doi.org/10.35882/teknokes.v14i1.2>

- Priyatman, H., Supriono, S., & Irwanto, A. (2022). Aplikasi teknologi iot pada wtp(water treatment plant) sistem pendingin air pada mesin pembangkit guna menjaga nilai ph dan tds untuk kualitas air.. *Transmisi*, 24(3), 106-113. <https://doi.org/10.14710/transmisi.24.3.106-113>
- Saputra, D. I. (2021). Perancangan sistem pemantau kebisingan, getaran, suhu, dan kelembapan ruang coating berbasis iot. *Journal of Energy and Electrical Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.37058/jeee.v3i1.3659>
- Nurchahya, M. E. and Okimustava, O. (2020). Sistem akuisisi data percobaan pemanasan alkohol berbasis software plx-daq dan arduino uno. *Berkala Fisika Indonesia : Jurnal Ilmiah Fisika, Pembelajaran Dan Aplikasinya*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.12928/bfijfpa.v11i1.20238>
- Agustian, I., Prayoga, B. I., Santosa, H., Daratha, N., & Faurina, R. (2022). Nft hydroponic control using mamdani fuzzy inference system. *arXiv preprint arXiv:2208.00364*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.00364>
- Eduard, R., Ruslan, W., Iskandar, I., & Setyanto, D. (2022). Setting temperature and humidity with a misting system in a pilot greenhouse at CISAUK-Tangerang, Indonesia. *Applied Sciences*, 12(18), 9192. <https://doi.org/10.3390/app12189192>
- Mulyanto, Y., Idifitriani, F., Susanto, E. S., & Sulastri, S. (2024). Implementasi sistem monitoring berbasis *internet of things* (iot) pada rumah budidaya jamur tiram. *Digital Transformation Technology*, 3(2), 871-878. <https://doi.org/10.47709/digitech.v3i2.3404>
- Hidayat, M. M., Hasan, N. F., Maya, I. P. A. T., & Wakerwa, M. (2023). Sistem kontrol suhu dan kelembapan otomatis pada budidaya jamur tiram berbasis iot untuk mendukung smart farming system. *TEKNIMEDIA: Teknologi Informasi Dan Multimedia*, 4(2). <https://doi.org/10.46764/teknimedia.v4i2.130>
- Hadyanto, T. and Amrullah, M. F. (2022). Sistem monitoring suhu dan kelembapan pada kandang anak ayam broiler berbasis *internet of things*. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 3(2). <https://doi.org/10.33365/jtst.v3i2.2179>
- Mangesh, R., Chougale, O. M., & Rajgude, S. (2023). Smart greenhouse monitoring and control system. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. <https://doi.org/10.56726/irjmets37604>
- Huang, S., Xiang, H., Leng, C., Dai, T., & He, G. (2024). Intelligent regulation of temperature and humidity in vegetable greenhouses based on single neuron pid algorithm. *Electronics*, 13(11), 2083. <https://doi.org/10.3390/electronics13112083>
- Ausin, I., Alonso-Blanco, C., & Martinez-Zapater, J. M. (2005). Environmental regulation of flowering. *The International journal of developmental biology*, 49(5-6), 689-705. <https://doi.org/10.1387/ijdb.052022ia>
- Velasco, M. H. (2021). Enabling year-round cultivation in the nordics-agrivoltaics and adaptive led lighting control of daily light integral. *Agriculture*, 11(12), 1255. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121255>

Halaman ini sengaja dikosongkan