

Sistem Monitoring Suhu dan Kontrol Otomatis Suhu serta Kelembaban pada Kumbung Jamur Tiram Berbasis IoT

Kadek Budi Atmaja^{1*}, Supriadi², Dwi Titi Maesaroh³

¹²³Teknologi Informasi, Teknik Komputer, Politeknik Negeri Samarinda, Jl. Dr. Ciptomangunkusumo, Kampus Gunung Lipan, Kelurahan Sungai Keledang, Kecamatan Samarinda Seberang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur (Kode Pos 75131)
e-mail: ariko1614@gmail.com

*PenulisKorespondensi : Kadek Budi Atmaja

Abstract: Oyster mushroom cultivation requires stable temperature and humidity to support optimal growth. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based monitoring and control system for temperature and humidity in oyster mushroom barns using ESP32 and DHT11 sensors. The research methods include needs identification, system design, hardware and software implementation, and system performance testing. The system works by reading temperature and humidity data in real time and then controlling the fan and humidifier using a threshold-based control method based on predetermined setpoint values. The test results show that the system is capable of automatically monitoring and controlling the environment with a Mean Absolute Error (MAE) of 1.14°C for temperature and 2.79% for humidity. The success rate of temperature control reached 95.93% and humidity reached 97.06%. The system is also capable of sending data to the ThingSpeak platform in real time, facilitating the remote monitoring process. The results show that the developed system is capable of maintaining the environmental conditions of oyster mushroom barns effectively and stably.

Keywords: Internet of Things, ESP32, DHT11 sensor, temperature and humidity monitoring, oyster mushroom cultivation.

Abstrak: Budidaya jamur tiram membutuhkan suhu dan kelembaban yang stabil untuk mendukung pertumbuhan optimal. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring serta kontrol otomatis suhu dan kelembaban pada kumbung jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 dan sensor DHT11. Metode penelitian meliputi identifikasi kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja sistem. Sistem bekerja dengan membaca data suhu dan kelembaban secara *real-time* kemudian mengendalikan kipas dan humidifier menggunakan metode *threshold-based control* berdasarkan nilai

setpoint yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu melakukan monitoring dan kontrol lingkungan secara otomatis dengan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) suhu sebesar 1,14°C dan MAE kelembaban sebesar 2,79%. Persentase keberhasilan kontrol suhu mencapai 95,93% dan kelembaban mencapai 97,06%. Sistem juga mampu mengirimkan data ke platform ThingSpeak secara real-time sehingga memudahkan proses monitoring jarak jauh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menjaga kondisi lingkungan kumbung jamur tiram secara efektif dan stabil.

Kata kunci: *Internet of Things*, ESP32, DHT11, monitoring suhu dan kelembaban, jamur tiram.

Diterima: 04 Mei 2026
Direvisi: 15 Mei 2026
Diterima: 18 Mei 2026
Diterbitkan: 30 Mei 2026
Versi sekarang: 31 Mei 2026



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah memberikan dampak signifikan pada berbagai sektor, termasuk sektor pertanian dan budidaya. IoT merupakan konsep yang memanfaatkan konektivitas internet untuk menghubungkan berbagai perangkat elektronik sehingga mampu melakukan pengumpulan data, pengiriman informasi, serta pengolahan data

secara otomatis dan *real-time*. Melalui teknologi ini, perangkat menjalankan komunikasi dan kerja sama mandiri tanpa banyak bantuan dari manusia. Penerapan IoT sangat bermanfaat dalam sistem monitoring lingkungan yang membutuhkan pengawasan secara kontinu dan akurat, terutama pada kegiatan budidaya yang sangat dilandasi akibat keadaan sekitar misalnya suhu dan kelembaban. Dengan adanya sistem berbasis IoT, proses pengamatan serta pengendalian keadaan sekitar budidaya dijalankan secara lebih efisien dan efektif melalui jaringan internet [1].

Budidaya jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) diketahui sebagai usaha agribisnis yang memerlukan pengendalian suhu dan kelembaban secara optimal agar pertumbuhan dan produktivitas tetap terjaga. Jamur tiram memerlukan habitat yang lembap dan stabil guna mendukung pertumbuhan miselium serta pembentukan tubuh buah secara maksimal. Apabila suhu terlalu tinggi atau kelembaban terlalu rendah, maka proses pertumbuhan jamur dapat terganggu dan berpotensi menurunkan kualitas maupun kuantitas hasil panen. Oleh karena itu, kondisi lingkungan di dalam kumbung harus selalu dipantau dan dijaga agar konstan terhadap ekosistem yang cocok dengan kebutuhan pertumbuhan jamur tiram sehingga proses budidaya dapat berjalan secara optimal [2].

Sejauh ini, proses pengendalian suhu dan tingkat lembab pada kumbung jamur banyak dijalankan dengan manual dengan menggunakan alat ukur konvensional sehingga membutuhkan pengawasan secara langsung oleh pembudidaya. Metode tersebut dinilai kurang efisien karena tidak mampu menyediakan pemantauan secara berkelanjutan serta tidak menghasilkan data historis yang dapat digunakan untuk analisis kondisi lingkungan budidaya. Dengan berkembangnya teknologi *Internet of Things* (IoT), sistem monitoring memungkinkan diaplikasikan dengan otomatis melalui perangkat yang terkoneksi ke internet sehingga data suhu dan kelembaban dapat dipantau secara *real-time* dari jarak jauh. Dengan demikian, dibutuhkan suatu upaya monitoring berbasis IoT agar dapat membaca kondisi lingkungan secara otomatis menggunakan sensor serta menampilkan data melalui platform internet. Studi ditujukan guna merencanakan serta mengaplikasikan sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT menggunakan modul ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DHT11 untuk membantu proses pemantauan kondisi kumbung jamur secara lebih efektif dan efisien [3].

2. Tinjauan Literatur

2.1. Penelitian Terkait Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis IoT

Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah pemanfaatan sensor suhu dan kelembaban yang terhubung dengan mikrokontroler guna meneruskan informasi ke platform berbasis *cloud*.

Studi sebelumnya mempresentasikan jika sistem IoT mampu meningkatkan efisiensi pemantauan lingkungan dibandingkan metode manual. Sayangnya, sejumlah besar sistem bersifat monitoring saja belum adanya mekanisme kontrol otomatis terhadap kondisi lingkungan. Selain itu, beberapa penelitian pada sektor pertanian cenderung hanya fokus pada pengumpulan data tanpa integrasi sistem aktuasi seperti pengendalian kipas atau *humidifier*. Hal ini menjadi keterbatasan dalam menjaga kestabilan kondisi optimal secara otomatis.

2.2 Teknologi Sensor Suhu dan Kelembaban

Sensor suhu dan kelembaban seperti DHT11 banyak digunakan dalam sistem monitoring lingkungan karena memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan mudah terintegrasi terhadap mikrokontroler seperti Arduino atau ESP8266/ESP32. Sensor inilah yang bekerja dengan membaca perubahan suhu dan kelembaban di lingkungan sekitar serta

mengartikan ke dalam sinyal digital yang dapat diubah oleh sistem. Data tersebut kemudian difungsikan guna pengambilan keputusan dalam sistem otomatisasi.

Sensor DHT11 dipilih karena memiliki harga yang ekonomis, konsumsi daya rendah, serta kemudahan integrasi dengan ESP32. Meskipun akurasinya lebih rendah dibandingkan DHT22 atau SHT11, sensor ini dinilai cukup untuk kebutuhan monitoring prototipe kumbung jamur skala laboratorium dengan rentang pengukuran suhu 0°C–50°C dan kelembaban 20%–90% RH.

Tabel 1. Validasi Sensor

Pengukuran	DHT11	Alat Referensi	Error
1	28.6	28.1	0.5
2	29.3	29.0	0.3
3	27.5	27.2	0.3

Validasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan DHT11 terhadap termometer digital sebagai alat referensi. Hasil pengujian menunjukkan selisih pengukuran rata-rata sebesar 0,4°C sehingga sensor dinilai cukup layak digunakan dalam sistem monitoring kumbung jamur tiram.

2.3 Sistem Kontrol Otomatis Berbasis IoT

Sistem kontrol otomatis dalam IoT biasanya menggunakan mikrokontroler yang diprogram untuk merespons nilai ambang tertentu dari sensor. Apabila keadaan sekitar tidak terkendali, sistem akan mengaktifkan aktuator seperti relay, kipas, atau mist maker untuk menyesuaikan kondisi ruangan. Langkah tersebut menjadikan sistem bekerja dengan mandiri tanpa intervensi manusia secara langsung, sehingga sangat cocok diterapkan pada lingkungan seperti kumbung jamur tiram yang membutuhkan kondisi stabil.

2.4 Kesenjangan Penelitian (*Research Gap*)

Berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar sistem monitoring kumbung jamur tiram berbasis IoT hanya berfokus pada pemantauan suhu dan kelembaban secara *real-time* tanpa implementasi kontrol otomatis yang terintegrasi. Beberapa penelitian telah menerapkan sistem kontrol otomatis, namun umumnya hanya mengendalikan satu parameter lingkungan atau belum menyediakan fasilitas monitoring jarak jauh berbasis *cloud* secara bersamaan. Selain itu, evaluasi performa sistem seperti nilai error pengukuran, respons aktuator, dan keberhasilan pengendalian lingkungan masih jarang dianalisis secara kuantitatif.

Penelitian ini menawarkan integrasi monitoring dan kontrol otomatis suhu serta kelembaban dalam satu platform berbasis ESP32 dan ThingSpeak yang mampu melakukan pemantauan *real-time* sekaligus mengendalikan aktuator secara otomatis menggunakan metode *threshold-based control*. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi kinerja sistem menggunakan parameter *Mean Absolute Error* (MAE) untuk mengukur tingkat keberhasilan pengendalian lingkungan kumbung jamur tiram.

Tabel 2. perbandingan penelitian sebelumnya

Penelitian	Monitoring IoT	Kontrol Otomatis	Cloud Monitoring
Gunawati (2024)	Ya	Tidak	Ya
Saputra (2022)	Ya	Ya	Tidak

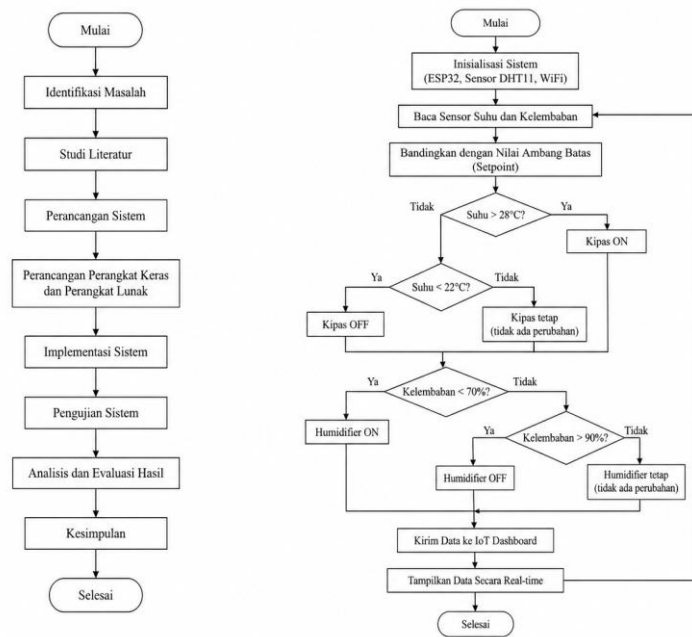
Hudhoifah (2024)	Ya	Tidak	Ya
Penelitian ini	Ya	Ya	Ya

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian terdahulu telah menerapkan monitoring berbasis IoT, namun belum seluruhnya mengintegrasikan fungsi monitoring, kontrol otomatis, dan cloud monitoring dalam satu sistem. Penelitian Gunawati (2024) dan Hudhoifah (2024) hanya berfokus pada pemantauan kondisi lingkungan tanpa mekanisme kontrol otomatis. Sementara itu, penelitian Saputra (2022) telah menerapkan kontrol otomatis tetapi belum menyediakan fasilitas cloud monitoring. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan dengan mengintegrasikan monitoring real-time, kontrol otomatis suhu dan kelembaban, serta penyimpanan data berbasis cloud sehingga mampu memberikan solusi yang lebih komprehensif untuk pengelolaan lingkungan kumbung jamur tiram.

3. Metode

3.1. Langkah – Langkah Penelitian

Upaya dalam studi ini dijalankan secara sistematis untuk merancang, membangun, serta menguji sistem monitoring suhu dan kontrol otomatis suhu serta kelembaban pada kumbung jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT). Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi permasalahan, merancang sistem, pengaplikasian produk, hingga tahap pengujian serta evaluasi kinerja sistem. Rangkaian tersebut divisualisasikan dalam bentuk flowchart yang menggambarkan hubungan antar proses, mekanisme pengambilan keputusan, serta urutan kerja sistem secara terstruktur mulai dari simbol *START* hingga *END*. Dalam sistem yang dirancang, sensor difungsikan guna menilai suhu dan kelembaban secara berkala, kemudian data diproses oleh mikrokontroler dan dibandingkan dengan nilai setpoint yang telah ditentukan. Apabila nilai suhu dan kelembaban tidak sesuai dengan kondisi ideal, maka sistem akan mengaktifkan aktuator seperti kipas atau *humidifier* untuk menyesuaikan kondisi lingkungan kumbung, sedangkan jika kondisi sudah sesuai maka sistem tetap melakukan proses monitoring dan pengiriman data ke server IoT untuk ditampilkan pada dashboard monitoring sebelum dilakukan evaluasi sistem. Pendekatan ini dilakukan agar proses memantau serta mengendalikan ekosistem kumbung jamur dapat berjalan mandiri dan efisien dalam mendukung pertumbuhan jamur tiram secara optimal [4].

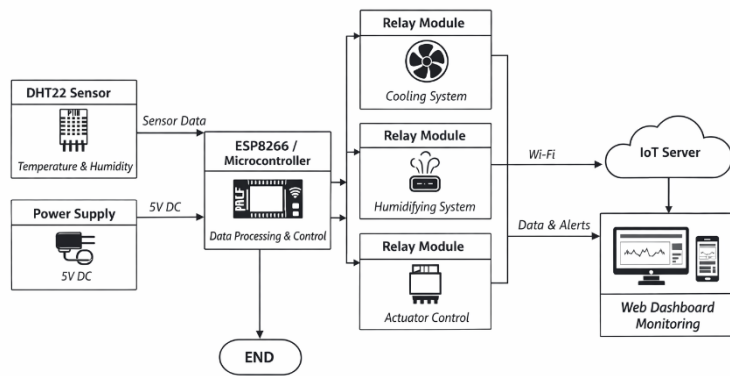


Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian & Cara Kerja Sistem

Flowchart penelitian ini menggambarkan alur kerja sistem yang dimulai dari tahap identifikasi masalah, perancangan sistem, implementasi, hingga pengujian sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis *Internet of Things* (IoT). Pada tahap implementasi, sensor difungsikan guna merepresentasikan angka suhu dan kelembaban lingkungan secara berkala, selanjutnya informasi terhimpon diolah berbantuan mikrokontroler guna dibandingkan dengan nilai setpoint yang telah ditentukan sebelumnya. Apabila angka suhu atau kelembaban berada di luar ambang yang telah disetujui, akibatnya sistem secara otomatis akan mengaktifkan aktuator seperti kipas atau *humidifier* untuk menyesuaikan kondisi lingkungan, sedangkan jika nilai masih berada pada rentang yang sesuai maka sistem tetap melanjutkan proses pemantauan. Selanjutnya, data luaran intrepetasi sensor dikirimkan ke server atau platform IoT berbantuan internet alhasil dapat diproyeksikan pada dashboard monitoring secara *real-time*. Tahap akhir dari proses ini adalah evaluasi terhadap kinerja sistem guna maykinkan jika sistem monitoring dan kontrol yang dikembangkan mampu bekerja dengan baik dan sesuai dengan tujuan penelitian [5].

3.2. Diagram Blok Sistem

Sistem monitoring dan kontrol otomatis pada kumbung jamur tiram ini bekerja berdasarkan alur yang digambarkan dalam diagram blok, yang mencakup proses sensorik, pengolahan data, dan konektivitas IoT. Sensor DHT11 berperan sebagai pengambil data suhu dan kelembaban yang kemudian diolah oleh ESP32. Mikrokontroler ini berfungsi untuk sinkronisasi data dengan nilai standar ideal (suhu 22–28°C dan kelembaban 90–100%). Hal ini bertujuan agar kondisi lingkungan tetap terjaga secara otomatis demi mendukung siklus hidup jamur tiram yang berkualitas. Apabila nilai yang terbaca berada di luar rentang tersebut, maka sistem akan secara otomatis mengaktifkan relay yang berfungsi untuk mengendalikan aktuator seperti kipas atau *humidifier* guna menyesuaikan kondisi lingkungan kumbung. Selain itu, data sensor beserta status aktuator juga dikirimkan melalui jaringan internet menuju server atau platform *cloud* untuk disimpan dan ditampilkan pada dashboard monitoring agar pengguna bisa melihat kondisi lingkungan kumbung secara *real-time*. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat menjalankan proses monitoring dan pengendalian lingkungan secara otomatis dan efisien untuk menjaga kestabilan kondisi budidaya jamur tiram [6].



Gambar 2. Diagram Block

Diagram blok pada sistem ini memvisualisasikan integritas komponen yang diawali dengan sensor DHT11 sebagai unit akuisisi data suhu dan kelembaban dalam kumbung. Sinyal dari sensor diteruskan menuju mikrokontroler ESP32—yang beroperasi pada tegangan 5V DC guna dilakukan komparasi data terhadap parameter setpoint. Output dari proses logika pada ESP32 kemudian akan mentrigger modul relay sebagai saklar otomatis bagi aktuator berupa kipas dan humidifier. Mekanisme ini memastikan bahwa variabel lingkungan tetap terkendali dalam rentang ideal demi menunjang fase pertumbuhan jamur tiram secara konsisten. Selain melakukan proses kontrol otomatis, sistem juga mengirimkan data suhu, kelembaban, serta status aktuator melalui jaringan *WiFi* ke server atau platform IoT untuk disimpan dan ditampilkan pada web dashboard. Dengan demikian, pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi lingkungan kumbung secara *real-time* dan dari jarak jauh sehingga proses pengelolaan budidaya jamur menjadi lebih efektif dan efisien [7].

Alur komunikasi data dimulai ketika sensor DHT11 membaca suhu dan kelembaban lingkungan kumbung. Data sensor dikirim ke ESP32 melalui komunikasi digital. ESP32 memproses data dan melakukan perbandingan dengan nilai setpoint yang telah ditentukan. Hasil pembacaan sensor kemudian dikirim melalui jaringan *Wi-Fi* menuju server ThingSpeak menggunakan protokol HTTP. Data yang tersimpan pada server ditampilkan dalam bentuk grafik monitoring secara *real-time*. Selain itu, ESP32 juga mengendalikan relay untuk mengaktifkan kipas dan humidifier apabila nilai sensor berada di luar rentang yang ditentukan.

3.3 Implementasi dan Perakitan Perangkat Keras Sistem

Tahap implementasi dan perakitan perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan ESP32 sebagai pusat kendali sistem, sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembaban, sensor BMP180 sebagai pendukung pengukuran tekanan udara, serta modul OLED sebagai media tampilan lokal dalam satu sistem yang terintegrasi. Pada proses ini, ESP32 menerima data dari sensor melalui komunikasi digital dan protokol I2C, kemudian memproses data tersebut untuk ditampilkan pada layar OLED serta mengirimkannya melalui koneksi *WiFi* ke server atau platform IoT sehingga memungkinkan proses monitoring dilakukan secara jarak jauh. Seluruh komponen memperoleh suplai daya 5V DC agar sistem dapat bekerja secara stabil dan konsisten. Proses perakitan perangkat keras juga memperhatikan konfigurasi koneksi pin serta kestabilan tegangan untuk meminimalkan kesalahan pembacaan sensor. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem perangkat keras yang dirancang mampu

bekerja secara *real-time* dan terintegrasi dengan baik dalam mendukung sistem monitoring dan kontrol otomatis pada lingkungan kumbung jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT) [8].



Gambar 3. Implementasi Prototype

Implementasi prototipe pada sistem ini menunjukkan integrasi ESP32 sebagai pusat pengendali yang berkaitan pada sensor DHT11 guna menganalisis suhu dan kelembaban serta sensor BMP180 untuk mengukur tekanan udara sebagai parameter pendukung kondisi lingkungan. Informasi dari kedua sensor dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi digital dan antarmuka I2C untuk diproses sesuai algoritme yang telah diprogram. Luaran informasi dari sensor kemudian diproyeksikan secara langsung pada modul OLED sebagai media monitoring lokal alhasil pengguna mendapatkan laporan kondisi lingkungan secara langsung. Disamping hal tersebut, ESP32 menggunakan bantuan Wi-Fi guna meneruskan informasi secara *real-time* ke server atau platform IoT sehingga memungkinkan proses pemantauan dilakukan dari jarak jauh. Seluruh komponen dirangkai pada papan PCB yang terintegrasi dan memperoleh suplai daya melalui koneksi USB sehingga sistem dapat bekerja secara stabil. Dengan demikian, prototipe yang dirancang mampu berfungsi sebagai sistem monitoring lingkungan yang terintegrasi dan siap digunakan dalam proses pengujian pada penelitian sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) [9].

3.4 Metode dan Algoritme yang Digunakan

Metode yang digunakan dalam riset Sistem Monitoring Suhu dan Kontrol Otomatis Suhu serta Kelembaban pada Kumbung Jamur Tiram Berbasis IoT menggunakan algoritme kontrol berbasis ambang batas (*threshold-based control*) yang dijalankan pada mikrokontroler seperti NodeMCU ESP8266 atau ESP32. Sistem bekerja dengan membaca nilai suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT11, kemudian data tersebut dibandingkan dengan nilai setpoint yang telah ditentukan untuk menjaga kondisi lingkungan kumbung jamur tetap optimal. Apabila suhu atau kelembaban berada di luar batas yang ditentukan, maka sistem akan mengaktifkan aktuator seperti kipas atau *humidifier* melalui relay secara otomatis. Selain itu, data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke database sehingga kondisi kumbung jamur dapat dimonitor secara *real-time* melalui aplikasi berbasis internet atau smartphone. Implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) pada sistem monitoring yang dimungkinkan guna upaya memantau dan mengendalikan lingkungan budidaya jamur dijalankan dengan otomatis dan jarak jauh alhasil menjadikan efisiensi dalam pengelolaan kumbung jamur [10].

Tabel 3. Logika Kontrol

Kondisi	Kipas	Aksi Humidifer
$T > 28^{\circ}\text{C}$	ON	-
$T < 22^{\circ}\text{C}$	OFF	-
$H < 70\%$	-	ON
$H > 90\%$	-	OFF
$22^{\circ}\text{C} \leq T \leq 28^{\circ}\text{C} \ \& \ 70\% \leq H \leq 90\%$	OFF	OFF

Tabel logika kontrol tersebut menjelaskan hubungan antara kondisi suhu (T) dan kelembaban (H) terhadap respons aktuator dalam sistem monitoring kumbung jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT). Pada kondisi suhu $T > 28^{\circ}\text{C}$, kipas akan aktif (ON) untuk membantu menurunkan suhu di dalam kumbung, sedangkan *humidifier* tidak terpengaruh. Jika suhu $T < 22^{\circ}\text{C}$, kipas akan dimatikan (OFF) agar suhu tidak semakin menurun. Untuk parameter kelembaban, ketika $H < 70\%$, *humidifier* akan diaktifkan (ON) untuk meningkatkan kadar kelembaban udara, sedangkan kipas tetap pada kondisi sebelumnya. Sebaliknya, jika $H > 90\%$, *humidifier* akan dimatikan (OFF) agar kelembaban tidak berlebihan. Pada kondisi ideal yaitu $22^{\circ}\text{C} \leq T \leq 28^{\circ}\text{C}$ dan $70\% \leq H \leq 90\%$, kedua aktuator berada dalam keadaan OFF karena lingkungan telah berada pada rentang optimal bagi pertumbuhan jamur tiram. Prinsip kerja sistem ini menggunakan metode kontrol berbasis ambang batas (*threshold-based control*), di mana setiap perubahan nilai suhu dan kelembaban yang dibaca oleh sensor akan langsung diproses oleh mikrokontroler untuk menghasilkan respons otomatis pada aktuator guna menjaga kondisi lingkungan tetap stabil [11].

Perhitungan error digunakan untuk mengetahui selisih antara nilai setpoint dengan nilai aktual yang dibaca sensor DHT11. Nilai error suhu dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta T = T_{\text{set}} - T_{\text{actual}}$$

Keterangan:

- ΔT = error suhu
- T_{set} = suhu setpoint
- T_{actual} = suhu aktual hasil pembacaan sensor

Sedangkan error kelembaban dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta H = H_{\text{set}} - H_{\text{actual}}$$

Keterangan:

- ΔH = error kelembaban
- H_{set} = kelembaban setpoint
- H_{actual} = kelembaban aktual hasil pembacaan sensor

Untuk mengetahui tingkat kesalahan sistem kontrol digunakan metode Mean Absolute Error (MAE), karena data error memiliki nilai positif dan negatif sehingga seluruh nilai error dihitung dalam bentuk absolut agar hasil analisis lebih akurat.

$$\text{MAE} = \sum |\Delta| / n$$

Keterangan:

- MAE = Mean Absolute Error
- $|\Delta|$ = nilai absolut error
- n = jumlah data pengujian

Persentase keberhasilan kontrol sistem dihitung menggunakan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) menggunakan persamaan berikut:

$$\%K = (1 - (\text{MAE} / \text{Setpoint})) \times 100\%$$

Keterangan:

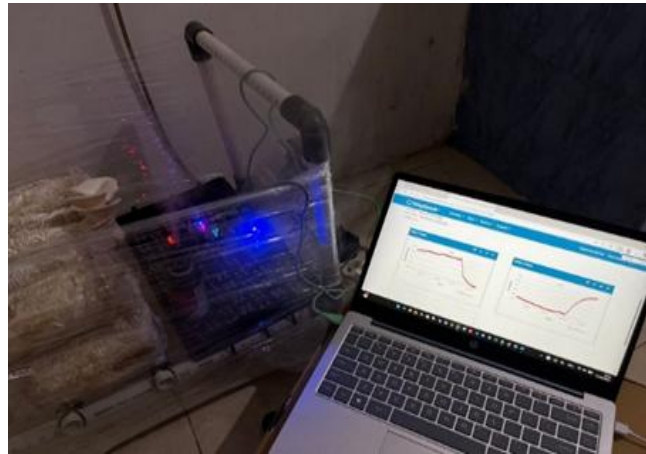
- %K = persentase keberhasilan kontrol
- MAE = Mean Absolute Error
- Setpoint = nilai target sistem kontrol

Rumus tersebut digunakan untuk menganalisis kemampuan sistem dalam menjaga suhu dan kelembaban tetap mendekati nilai setpoint yang telah ditentukan.

Metode *threshold-based* control dipilih karena memiliki implementasi yang sederhana, kebutuhan komputasi rendah, serta mudah diterapkan pada mikrokontroler ESP32. Namun metode ini memiliki keterbatasan berupa kemungkinan terjadinya fluktuasi suhu dan kelembaban di sekitar nilai setpoint akibat mekanisme aktuator yang hanya bekerja dalam kondisi aktif atau tidak aktif. Dibandingkan metode PID maupun fuzzy logic, metode *threshold-based control* belum mampu melakukan penyesuaian output aktuator secara bertahap sehingga tingkat kestabilan sistem relatif lebih rendah. Meskipun demikian, metode ini dinilai cukup efektif untuk kebutuhan prototipe monitoring dan kontrol lingkungan kumbung jamur tiram.

3.5 Uji Percobaan Prototipe

Uji coba prototipe dilakukan guna mengevaluasi kinerja sistem monitoring dan kontrol otomatis suhu serta kelembaban pada kumbung jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memastikan seluruh komponen seperti sensor DHT11, mikrokontroler ESP32, kipas, dan *humidifier* dapat berfungsi pada tujuan rancangannya. Proses tersebut dijalankan dengan membaca keterangan suhu dan kelembaban secara *real-time* pada interval waktu tertentu, kemudian luaran data sensor dibandingkan dengan alat ukur referensi guna meninjau tingkat akurasi dan kestabilan sensor yang digunakan. Selain itu, diaplikasikan percobaan perubahan ekosistem guna melihat respons sistem terhadap perubahan suhu dan kelembaban, di mana kipas akan aktif secara otomatis ketika suhu melebihi 28°C dan berhenti saat suhu berada di bawah 22°C, sedangkan *humidifier* akan aktif ketika kelembaban kurang dari 70% dan berhenti ketika kelembaban melebihi 90%. Pengujian konektivitas juga dilakukan untuk memastikan bahwa data sensor serta status aktuator dapat dikirim melalui jaringan internet dan ditampilkan pada dashboard IoT tanpa mengalami keterlambatan yang signifikan. Hasil pengujian memproyeksikan jika sistem mumpuni serta bekerja secara stabil, responsif, serta efektif dalam menjaga kondisi lingkungan kumbung tetap berada dalam rentang optimal untuk mendukung pertumbuhan jamur tiram [12].



Gambar 4. Uji Coba Prototipe

Berdasarkan hasil pengujian, prototipe sistem monitoring dan kontrol otomatis suhu serta kelembaban pada kumbung jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT) diimplementasikan menggunakan miniatur kumbung dari rangka PVC yang dilapisi plastik transparan sebagai simulasi ruang budidaya. Sensor DHT11 terhubung dengan mikrokontroler ESP32 untuk membaca suhu dan kelembaban secara berkala, kemudian data diproses dan dikirim melalui jaringan internet ke platform IoT sehingga dapat ditampilkan pada laptop dalam bentuk grafik monitoring secara *real-time*. Sistem juga dilengkapi aktuator berupa kipas dan *humidifier* yang bekerja otomatis berdasarkan nilai ambang yang telah ditentukan untuk menjaga kondisi lingkungan kumbung tetap stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses pembacaan sensor, pengiriman data, serta pengendalian aktuator dapat berjalan dengan baik dan stabil sehingga sistem mampu melakukan monitoring dan kontrol lingkungan kumbung secara efektif [13].

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 . Hasil Implementasi dan Rancang Bangun Sistem

Eksperimentasi sistem menunjukkan bahwa sinergi antara komponen perangkat keras, mulai dari sensor hingga unit kendali ESP32 mampu menciptakan mekanisme automasi yang fungsional. Sistem ini secara efektif melakukan pemantauan kondisi lingkungan kumbung jamur secara kontinu dan memberikan respons instan terhadap fluktuasi suhu maupun kelembaban. Melalui penggunaan modul relay sebagai interupsi arus, aktuator dapat beroperasi secara presisi guna menjaga stabilitas kondisi lingkungan agar tetap selaras dengan nilai ambang batas yang ditentukan untuk optimalisasi budidaya.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada grafik monitoring ThingSpeak, suhu lingkungan berada pada rentang sekitar 25,5°C hingga 30,4°C. Pada waktu tertentu terlihat adanya kenaikan suhu hingga mencapai lebih dari 30°C, kemudian sistem merespons dengan mengaktifkan kipas sehingga suhu dapat kembali turun secara bertahap menuju kondisi stabil. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme kontrol suhu bekerja dengan baik sesuai logika kontrol yang diterapkan.

Pada parameter kelembaban, hasil monitoring menunjukkan nilai kelembaban berada pada kisaran 91% hingga 100%. Ketika terjadi penurunan kelembaban hingga sekitar 91%, sistem secara otomatis mengaktifkan *humidifier* sehingga kelembaban kembali meningkat mendekati 100%. Kondisi tersebut mempresentasikan jika sistem piawai mengatur kelembaban lingkungan kumbung tetap stabil dan sesuai kebutuhan pertumbuhan jamur tiram.

Luaran keterbacaan dari sensor kemudian disalurkan berbantuan internet dan diproyeksikan pada dashboard monitoring ThingSpeak berbentuk grafik secara *real-time*. Pengguna dapat memantau kondisi suhu dan kelembaban dari jarak jauh menggunakan laptop maupun smartphone. Implementasi sistem ini menunjukkan bahwa proses monitoring dan kontrol lingkungan kumbung jamur dapat dilakukan secara otomatis, stabil, dan efisien. [14].

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Monitoring dan Kontrol

Waktu	Suhu Aktual (°C)	Setpoint Suhu (°C)	Error (ΔT)	Suhu Kelembaban Aktual (%)
04:25	28,6	28	-0,6	98
04:35	27,1	28	+0,9	92
04:40	26,2	28	+1,8	95
13:48	30,4	28	-2,4	99
13:54	29,3	28	-1,3	100
14:00	25,6	28	+2,4	99
14:05	27,8	28	+0,2	94
14:10	28,1	28	-0,1	96
14:15	28,5	28	-0,5	97
14:20	29,0	28	-1,0	98
14:25	29,5	28	-1,5	99
14:30	30,1	28	-2,1	100
14:35	27,3	28	+0,7	93
14:40	26,9	28	+1,1	92
14:45	26,5	28	+1,5	91
14:50	27,0	28	+1,0	92
14:55	27,6	28	+0,4	94
15:00	28,0	28	0	95
15:05	28,4	28	-0,4	96
15:10	28,9	28	-0,9	97
15:15	29,4	28	-1,4	98
15:20	29,8	28	-1,8	99
15:25	30,2	28	-2,2	100
15:30	27,5	28	+0,5	93

Setpoint Kelembaban (%)	Error Kelembaban (ΔH)	Kipas	Humidifier
95	-3	OFF	OFF
95	+3	OFF	ON
95	0	OFF	OFF
95	-4	ON	OFF
95	-5	ON	OFF
95	-4	OFF	OFF
95	+1	OFF	ON
95	-1	OFF	OFF
95	-2	OFF	OFF

95	-3	ON	OFF
95	-4	ON	OFF
95	-5	ON	OFF
95	+2	OFF	ON
95	+3	OFF	ON
95	+4	OFF	ON
95	+3	OFF	ON
95	+1	OFF	ON
95	0	OFF	OFF
95	-1	OFF	OFF
95	-2	ON	OFF
95	-3	ON	OFF
95	-4	ON	OFF
95	-5	ON	OFF
95	+2	OFF	ON

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, dilakukan perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) suhu dan kelembaban menggunakan seluruh data pengujian yang diperoleh dari sistem monitoring. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan sistem kontrol otomatis dalam menjaga kondisi lingkungan kumbung jamur. Hasil perhitungan menggunakan metode *Mean Absolute Error* (MAE) menunjukkan bahwa nilai error suhu sebesar 1,14°C, sedangkan nilai error kelembaban sebesar 2,79%. Nilai tersebut merepresentasikan jika sistem dapat mengatur kondisi suhu dan kelembaban mendekati nilai setpoint dengan deviasi yang relatif kecil. Selain itu, sistem kontrol mampu merespons perubahan kondisi lingkungan secara otomatis. Kipas aktif ketika suhu melebihi setpoint, sedangkan *humidifier* aktif ketika kelembaban berada di bawah setpoint. Respons aktuator berjalan dengan baik sehingga kondisi lingkungan kumbung dapat kembali mendekati kondisi optimal [15].

Perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) suhu dilakukan menggunakan persamaan:

$$MAE \text{ suhu} = \sum |\Delta T| / n$$

$$MAE \text{ suhu} = (0,6 + 0,9 + 1,8 + 2,4 + 1,3 + 2,4 + 0,2 + 0,1 + 0,5 + 1,0 + 1,5 + 2,1 + 0,7 + 1,1 + 1,5 + 1,0 + 0,4 + 0 + 0,4 + 0,9 + 1,4 + 1,8 + 2,2 + 0,5) / 24$$

$$MAE \text{ suhu} = 1,14^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) kelembaban dilakukan menggunakan persamaan:

$$MAE \text{ kelembaban} = \sum |\Delta H| / n$$

$$MAE \text{ kelembaban} = (3 + 3 + 0 + 4 + 5 + 4 + 1 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 2 + 3 + 4 + 3 + 1 + 0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 2) / 24$$

$$MAE \text{ kelembaban} = 2,79\%$$

Perhitungan persentase keberhasilan kontrol suhu:

$$\%K \text{ suhu} = (1 - (1,14 / 28)) \times 100\%$$

$$\%K \text{ suhu} = 95,93\%$$

Perhitungan persentase keberhasilan kontrol kelembaban:

$$\%K \text{ kelembaban} = (1 - (2,79 / 95)) \times 100\%$$

$$\%K \text{ kelembaban} = 97,06\%$$

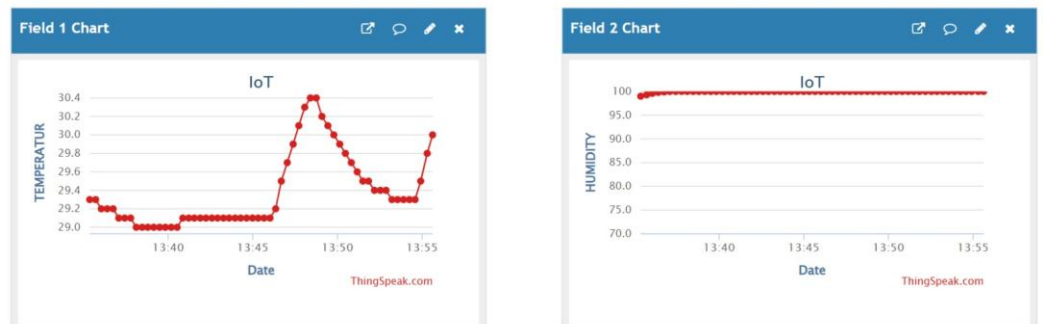
Nilai *Mean Absolute Error* (MAE) suhu dan kelembaban menampilkan jika sistem kontrol otomatis piawai mengatur kondisi lingkungan kumbung jamur tetap mendekati nilai setpoint dengan tingkat penyimpangan yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja secara stabil dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Nilai MAE suhu sebesar 1,14°C menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan suhu mendekati setpoint 28°C dengan tingkat penyimpangan relatif rendah. Sementara itu, nilai MAE kelembaban sebesar 2,79% menunjukkan kestabilan sistem dalam menjaga kelembaban mendekati target 95%. Persentase keberhasilan kontrol sebesar 95,93% untuk suhu dan 97,06% untuk kelembaban menunjukkan bahwa metode *threshold-based control* mampu bekerja secara efektif dalam lingkungan kumbung jamur tiram.

Fluktuasi suhu terbesar terjadi pada pukul 13.48 dengan nilai 30,4°C atau 2,4°C di atas setpoint. Namun sistem berhasil mengaktifkan kipas secara otomatis sehingga suhu kembali mendekati kondisi ideal pada periode pengamatan berikutnya. Hal ini menunjukkan kemampuan sistem dalam melakukan koreksi kondisi lingkungan secara *real-time*.

Tabel 5. Waktu Respons Sistem

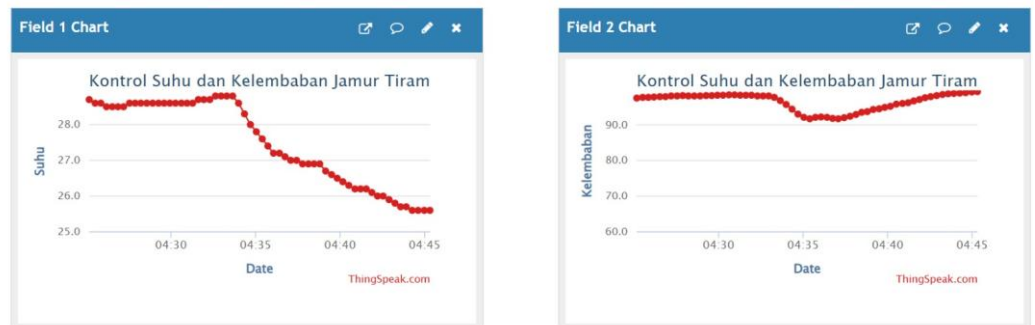
Kondisi	Waktu Respons
Suhu > 28°C	2 detik
Kelembaban < 95%	3 detik
Pengiriman Data ThingSpeak	4 detik



Gambar 5. Grafik monitoring suhu dan kelembaban



Gambar 6. Grafik perubahan suhu dan kelembaban



Gambar 7. Grafik stabilitas suhu dan kelembaban



Gambar 8. Source code ESP32 dan API ThingSpeak

4.2 Hasil Pengujian Sensor dan Sistem Kontrol

Hasil pengujian sensor dan sistem kontrol menunjukkan bahwa sensor DHT11 mampu membaca suhu dan kelembaban lingkungan secara kontinu dengan hasil yang stabil. Data hasil pembacaan sensor berhasil dikirim ke platform ThingSpeak melalui jaringan internet dan ditampilkan dalam bentuk grafik monitoring secara *real-time*. Pada grafik suhu nampaklah pergerakan suhu yang dinamis sejalan pada kondisi lingkungan kumbung jamur. Suhu sempat mengalami kenaikan hingga mencapai sekitar 30,4°C, kemudian sistem merespons dengan mengaktifkan kipas sehingga suhu dapat turun kembali secara bertahap hingga mendekati kondisi normal. Respons tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol suhu bekerja dengan baik.

Pada grafik kelembaban, nilai kelembaban cenderung stabil pada rentang 91% hingga 100%. Ketika kelembaban mengalami penurunan, sistem secara otomatis mengaktifkan *humidifier* sehingga kelembaban dapat kembali meningkat mendekati kondisi optimal. Kondisi tersebut memproyeksikan jika sistem kontrol kelembaban sesuai dalam mengontrol kondisi lingkungan kumbung tetap lembap sesuai kebutuhan pertumbuhan jamur tiram. Selain itu,

proses pengiriman data dari ESP32 menuju platform IoT berlangsung stabil tanpa keterlambatan yang signifikan. Seluruh aktuator mampu merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat sehingga sistem dapat bekerja secara otomatis dan *real-time*. [16].

Tabel 6. Hasil Pengujian Sensor dan Sistem Kontrol

No	Suhu Deteksi (°C)	Kelembaban (%)	Status Kipas	Status Humidifier
1	30,4	99	Aktif	Nonaktif
2	29,8	98	Aktif	Nonaktif
3	27,1	92	Nonaktif	Aktif
4	26,2	95	Nonaktif	Nonaktif
5	25,6	99	Nonaktif	Nonaktif

Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem kontrol mampu bekerja sesuai kondisi lingkungan yang terbaca oleh sensor. Ketika suhu berada di atas batas maksimum, kipas aktif secara otomatis untuk membantu menurunkan suhu. Saat suhu kembali normal, kipas akan berhenti. Pada kondisi kelembaban menurun, *humidifier* aktif untuk meningkatkan kelembaban udara di dalam kumbung. Setelah kelembaban kembali stabil, *humidifier* akan mati secara otomatis. Luaran pengujian emproyeksikan jika sistem difungsikan guna mengatur suhu dan kelembaban tetap berada dalam kondisi yang sesuai untuk budidaya jamur tiram. [17].

5. Perbandingan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring dan kontrol otomatis suhu serta kelembaban pada kumbung jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu bekerja dengan baik dalam menjaga kondisi lingkungan agar tetap berada pada rentang yang sesuai untuk pertumbuhan jamur tiram. Sensor DHT11 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 dapat membaca data suhu dan kelembaban secara *real-time*, kemudian mengirimkannya ke platform ThingSpeak melalui jaringan internet. Sistem juga mampu mengendalikan aktuator berupa kipas dan humidifier secara otomatis berdasarkan nilai ambang yang telah ditentukan sehingga kondisi lingkungan kumbung dapat dipertahankan mendekati kondisi ideal. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan IoT pada sektor pertanian mampu meningkatkan efektivitas monitoring lingkungan serta mendukung pengambilan keputusan secara otomatis.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Jayaraman et al. yang mengembangkan platform *SmartFarmNet* untuk pertanian cerdas berbasis IoT. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan sensor yang terhubung ke cloud memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara berkelanjutan, penyimpanan data dalam skala besar, serta pemantauan kondisi pertanian secara *real-time*. Integrasi sensor, jaringan komunikasi, dan platform cloud memberikan kemudahan bagi pengguna untuk mengakses informasi lingkungan dari berbagai lokasi tanpa harus melakukan pengamatan secara langsung di lapangan [18].

Penelitian ini juga mendukung hasil kajian Khan et al. yang menyatakan bahwa teknologi IoT berperan penting dalam pengembangan pertanian modern melalui kemampuan monitoring jarak jauh, otomatisasi proses budidaya, serta peningkatan efisiensi penggunaan

sumber daya. Penggunaan sensor lingkungan yang terhubung dengan internet memungkinkan petani memperoleh informasi kondisi lahan secara cepat sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan lebih tepat waktu. Selain itu, teknologi IoT dinilai mampu meningkatkan produktivitas pertanian melalui pemantauan kondisi lingkungan yang lebih akurat dan berkelanjutan [19][20].

Dibandingkan penelitian terdahulu, penelitian ini tidak hanya menyediakan fungsi monitoring berbasis IoT, tetapi juga mengintegrasikan mekanisme kontrol otomatis suhu dan kelembaban dalam satu sistem. Sistem yang dikembangkan mampu merespons perubahan kondisi lingkungan secara langsung melalui aktivasi kipas dan humidifier berdasarkan nilai sensor yang terbaca. Selain itu, kinerja sistem dievaluasi menggunakan metode *Mean Absolute Error* (MAE) sehingga diperoleh ukuran kuantitatif terhadap tingkat keberhasilan pengendalian suhu dan kelembaban. Integrasi monitoring real-time, pengendalian otomatis, dan evaluasi performa sistem tersebut menjadi keunggulan penelitian ini dalam mendukung pengelolaan lingkungan kumbung jamur tiram yang lebih efektif dan efisien.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor DHT11, ESP32, dan platform ThingSpeak mampu mendukung monitoring lingkungan secara real-time. Temuan ini sejalan dengan penelitian Jayaraman et al. yang menyatakan bahwa sistem IoT berbasis cloud memungkinkan pengumpulan dan pengelolaan data lingkungan secara berkelanjutan. Selain itu, nilai keberhasilan kontrol suhu sebesar 95,93% dan kelembaban sebesar 97,06% menunjukkan bahwa metode threshold-based control cukup efektif dalam menjaga kestabilan lingkungan kumbung jamur. Hasil ini juga mendukung penelitian Khan et al. yang menjelaskan bahwa penerapan IoT dalam sektor pertanian mampu meningkatkan efisiensi monitoring dan otomatisasi pengendalian lingkungan.

6. Kesimpulan

Sistem monitoring dan kontrol otomatis suhu serta kelembaban berbasis IoT ini telah sukses diimplementasikan menggunakan ESP32 dan DHT11 sebagai komponen utama. Integrasi dengan platform ThingSpeak memberikan keunggulan pada aspek aksesibilitas data secara *real-time* dan jarak jauh. Hasil akhir pengujian menegaskan bahwa sistem mampu beroperasi secara konsisten dan stabil dalam mengintervensi kondisi lingkungan kumbung, yang menjadikannya solusi efektif untuk menjaga kualitas pertumbuhan jamur tiram secara otomatis.

Ketika suhu meningkat di atas setpoint, kipas aktif secara otomatis untuk membantu menurunkan suhu, sedangkan humidifier aktif ketika kelembaban berada di bawah setpoint. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Mean Absolute Error (MAE) terhadap 24 data pengujian, diperoleh nilai error suhu sebesar 1,14°C dan nilai error kelembaban sebesar 2,79%. Persentase keberhasilan kontrol suhu mencapai 95,93% yang menunjukkan sistem memiliki tingkat akurasi kontrol yang baik, sedangkan keberhasilan kontrol kelembaban mencapai 97,06%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol otomatis mampu menjaga kondisi suhu dan kelembaban mendekati nilai setpoint dengan deviasi yang relatif kecil.

Berdasarkan data hasil monitoring, suhu lingkungan berada pada rentang 25,5°C hingga 30,4°C, sedangkan kelembaban berada pada kisaran 91% hingga 100%. Implementasi sistem berbasis IoT ini mampu meningkatkan efisiensi monitoring dan pengendalian lingkungan kumbung dibandingkan metode manual. Selain memudahkan proses pemantauan secara real-

time, sistem juga membantu menjaga kestabilan kondisi lingkungan sehingga dapat mendukung pertumbuhan dan produktivitas jamur tiram secara optimal.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem kontrol dapat menggunakan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) agar proses pengendalian suhu dan kelembaban menjadi lebih stabil serta mampu mengurangi nilai error sistem dibandingkan metode kontrol on-off yang digunakan pada penelitian ini.

Kontribusi Penulis: Konseptualisasi: Kadek Budi Atmaja dan Supriadi ; Metodologi: Kadek Budi Atmaja ; Perangkat Lunak: Kadek Budi Atmaja ; Validasi: Kadek Budi Atmaja, Supriadi dan Dwi Titi Maesaroh ; Analisis formal: Kadek Budi Atmaja ; Investigasi: Kadek Budi Atmaja ; Sumber daya: Kadek Budi Atmaja ; Kurasi data: Kadek Budi Atmaja ; Penulisan—persiapan draf asli: Kadek Budi Atmaja ; Penulisan—peninjauan dan penyuntingan: Supriadi ; Visualisasi: Kadek Budi Atmaja ; Supervisi: Supriadi ; Administrasi proyek: Kadek Budi atmaja ; Akuisisi pendanaan: Supriadi

Pendanaan: Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

Pernyataan Ketersediaan Data: Data yang mendukung hasil penelitian ini diperoleh dari proses pengukuran langsung menggunakan sensor suhu dan kelembaban yang terpasang pada sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) di kumbung jamur tiram. Data yang dihasilkan berupa rekaman suhu dan kelembaban secara *real-time* selama periode pengujian sistem, namun tidak dipublikasikan secara terbuka karena diperoleh dari proses pengujian lapangan serta adanya keterbatasan akses terhadap lokasi penelitian.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Politeknik Negeri Samarinda atas dukungan fasilitas dan lingkungan penelitian yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Penulis juga mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dalam proses instalasi, pengujian, dan pengambilan data di lapangan. Dalam penyusunan naskah ini, penulis juga memanfaatkan bantuan teknologi kecerdasan buatan (AI) untuk membantu penyusunan struktur dan tata bahasa, tanpa mengurangi orisinalitas dan substansi ilmiah penelitian.

Konflik Kepentingan: Seluruh proses penelitian ini, mulai dari desain awal hingga tahap publikasi, dilakukan secara mandiri oleh penulis tanpa adanya pendanaan eksternal yang bersifat mengikat. Penulis menjamin integritas hasil penelitian dengan menyatakan tidak adanya pengaruh dari pihak ketiga dalam pengambilan keputusan teknis maupun editorial. Tidak ada kepentingan komersial atau finansial yang dapat memengaruhi objektivitas laporan penelitian ini.

Referensi

- [1] J. Z. Z. E. M. M. & S. L. D. Gunawati, "Sistem monitoring kelembapan suhu ruangan pada budidaya jamur tiram berbasis Internet of Things (IoT)," *Journal of Computer Science and Information Technology (JCSIT)*, vol. 1(4), p. 258–263, 2024.
- [2] A. M. S. I. W. & P. D. G. I. D. Dirgayusari, "Implementasi sistem monitoring dan kontrol suhu kelembapan ruang budidaya jamur berbasis IoT," *Jurnal Sistem Informasi dan Komputer Terapan Indonesia (JSIKTI)*, vol. 4(2), p. 78–89, 2021.
- [3] R. A. & S. A. Pratama, "Sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things menggunakan ESP32 dan sensor DHT11," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 9(2), pp. 115-122, 2022.

- [4] C. S. R. & A. Y. Saputra, "Penerapan sistem kontrol suhu dan monitoring serta kelembapan pada kumbung jamur tiram berbasis IoT menggunakan metode fuzzy logic," *Jurnal Sains dan Informatika*, vol. 8(2), no. <https://doi.org/10.34128/jsi.v8i2.504>, p. 116–123, 2022.
- [5] R. N. A. & H. T. Saputra, "Perancangan sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things untuk lingkungan budidaya," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 11(1), p. 45–52, 2023.
- [6] F. S. A. & P. B. Rahman, "Implementasi sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things pada budidaya jamur tiram," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 10(1), p. 25–33, 2023.
- [7] A. P. D. & N. R. Wahyudi, "Perancangan sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things menggunakan ESP8266 dan sensor DHT22," *Jurnal Teknologi Informatika dan Sistem Komputer*, vol. 9(3), p. 150–158, 2022.
- [8] R. P. A. & S. D. Hidayat, "Implementasi sistem monitoring lingkungan berbasis Internet of Things menggunakan ESP32 dan sensor lingkungan," *Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem Komputer*, vol. 11(2), p. 95–103, 2023.
- [9] B. P. A. & H. T. Santoso, "Perancangan dan implementasi sistem monitoring lingkungan berbasis Internet of Things menggunakan ESP32," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 9(2), p. 120–128, 2022.
- [10] M. A. & M. D. I. Hudhoifah, "Implementation of temperature and humidity monitoring in mushroom house for oyster mushroom cultivation using NodeMCU–ESP8266 in Wirasana Village Purbalingga," *Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4(2), no. <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i2.1222>, p. 472–480, 2024.
- [11] H. A. Indra Gunawan, "Sistem Monitoring dan Pengkabutan Otomatis Berbasis IoT pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan NodeMCU dan Blynk," *Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 4, p. 79–86, 2021.
- [12] A. N. B. & S. D. Prabowo, "Implementasi sistem monitoring dan kontrol suhu kelembapan berbasis Internet of Things pada budidaya jamur tiram," *Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem Komputer*, vol. 11(3), p. 165–173, 2023.
- [13] A. P. R. & H. T. Setiawan, "Implementasi sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things pada budidaya jamur tiram," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 11(2), p. 110–118, 2023.
- [14] M. A. R. S. & R. Y. Pamungkas, "Sistem monitoring suhu, kelembapan dan penyiraman otomatis pada budidaya jamur berbasis IoT," *Jurnal JARKOM*, vol. 12(1), p. 7–14, 2024.
- [15] A. S. U. & H. C. F. (. Setiawan, "Sistem monitoring dan control suhu kelembapan pada jamur tiram berbasis Internet of Things (IoT)," *Zetroem*, vol. 2(1), p. 1–8, 2020.
- [16] D. P. A. & N. B. Andriansyah, "Implementasi Monitoring dan Kontrol Kelembapan Berbasis Internet of Things Pada Budidaya Jamur Tiram," *Jurnal Teknologi Informasai dan Sistem Komputer*, vol. 11(3), pp. 180–187, 2023.
- [17] D. H. T. & N. R. Prasetyo, "Implementasi Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IoT Pada Budidaya Jamur Tiram," *Teknologi Informasi dan Sistem Komputer*, vol. 11(3), pp. 150–158, 2023.
- [18] P. P. Jayaraman, A. Yavari, D. Georgakopoulos, A. Morshed dan A. Zaslavsky, "Internet of Things Platform for Smart Farming: Experiences and Lessons Learnt," *Sensors*, vol. 16(11), p. 1884, 2016.
- [19] E. A. Abioye, M. S. Z. Abidin, H. A. Mahmud, S. Buyamin, M. K. I. Ishak, A. S. Rahman, M. O. Otuoze, O. Onotu dan M. S. A. Ramli, "Internet of Things in Agriculture: A Review," *Sensors*, vol. 21(11), p. 3754, 2021.
- [20] N. Khan, R. L. Ray, G. R. Sargani, M. Ihtisham, M. Khayyam dan S. Ismail, "Current Progress and Future Prospects of Agriculture Technology: Gateway to Sustainable Agriculture," *Sustainability*, vol. 13(9), p. 4883, 2021.