

Implementasi Sistem Monitoring Kumbung Jamur Tiram Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dan Metode Fuzzy Mamdani

^{1*}Kevin Rigo Ardianto, ²Julian Sahertian, ³Ratih Kumalasari Niswatin

^{1,2,3}Teknik Informatika, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹kevinrigo879@gmail.com, ²juliansahertian@unpkediri.ac.id, ³ratih.k@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Kevin Rigo Ardianto

Abstrak— Budidaya jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) memerlukan kondisi lingkungan yang stabil, terutama suhu (24–30°C), kelembaban (80–90%), dan kadar CO₂ (<1.000 ppm). Pemantauan manual yang selama ini dilakukan menyebabkan pengaturan lingkungan tidak konsisten sehingga berpotensi menimbulkan kegagalan panen. Penelitian ini mengimplementasikan sistem monitoring dan pengendalian otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32, sensor DHT22, sensor CO₂ MQ-2, protokol MQTT, dan metode fuzzy Mamdani. Sistem dilengkapi dashboard web berbasis Flutter untuk pemantauan jarak jauh, pengendalian aktuator (*humidifier*) secara otomatis, serta notifikasi peringatan saat kondisi berada di luar batas ideal. Pengujian akurasi sensor DHT22 menunjukkan selisih suhu ±0,3–0,4°C dan kelembaban ±0,5–0,8%, masih dalam toleransi spesifikasi. Pengujian fuzzy Mamdani pada lima skenario kondisi menghasilkan keputusan aktuator yang konsisten sesuai rule base. Pengujian fungsional black-box terhadap 12 fitur menunjukkan seluruh fitur berjalan sesuai rancangan. Sistem terbukti mampu meningkatkan efektivitas monitoring dan menjaga kestabilan kondisi lingkungan kumbung jamur tiram.

Kata Kunci—Fuzzy Mamdani, IoT, Jamur Tiram, MQTT, Monitoring Lingkungan

Abstract— Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation requires stable environmental conditions, particularly temperature (24–30°C), humidity (80–90%), and CO₂ levels (<1,000 ppm). Manual monitoring often leads to inconsistent environmental regulation, potentially resulting in harvest failure. This study implements an IoT-based automatic monitoring and control system using an ESP32 microcontroller, DHT22 sensor, MQ-2 CO₂ sensor, MQTT protocol, and the Fuzzy Mamdani method. The system is equipped with a Flutter-based web dashboard for remote monitoring, automatic actuator control (*humidifier*), and alert notifications when conditions fall outside the ideal thresholds. DHT22 accuracy tests showed temperature deviations of ±0.3–0.4°C and humidity deviations of ±0.5–0.8%, both within specification tolerances. Fuzzy Mamdani testing across five environmental scenarios produced consistent actuator decisions aligned with the rule base. Black-box functional testing of 12 features confirmed all features operated as designed. The system proved capable of improving monitoring effectiveness and maintaining stable environmental conditions for oyster mushroom cultivation.

Keywords— ESP32, Fuzzy Mamdani, IoT, MQTT, Mushroom Cultivation, Environmental Monitoring

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang berbagai sektor untuk beroperasi lebih efisien melalui pemantauan berbasis sensor secara real-time [1]. Teknologi IoT

memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga data dapat dipantau dari jarak jauh tanpa kehadiran langsung di lokasi [2]. Implementasi IoT pada bidang pertanian modern, termasuk *smart farming*, terbukti mampu meningkatkan efisiensi proses monitoring lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual [3].

Jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) merupakan komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi yang pertumbuhannya sangat bergantung pada kestabilan kondisi lingkungan kumbung, khususnya suhu (24–30°C), kelembaban (80–90%), dan kadar CO₂ (<1.000 ppm) [4]. Kondisi lingkungan yang tidak stabil, misalnya suhu meningkat saat kemarau atau kelembaban berlebih saat musim hujan, dapat menyebabkan ukuran tubuh buah kecil, pertumbuhan lambat, kontaminasi baglog, hingga kegagalan panen hingga 50% [5]. Pemantauan yang masih dilakukan secara manual dengan termometer dan *hygrometer konvensional* menyebabkan pengaturan sering tidak tepat waktu dan tidak konsisten sepanjang hari.

Penelitian terdahulu oleh Maulana dkk. [6] telah mengembangkan sistem monitoring suhu-kelembaban berbasis MQTT dan ESP32 untuk budidaya jamur tiram, namun hanya sebatas pemantauan tanpa pengendalian otomatis aktuator. Makhros dkk. [7] merancang sistem kontrol otomatis berbasis IoT untuk rumah kaca tetapi belum mencakup integrasi pencatatan data historis dan visualisasi pertumbuhan. Sima dkk. [8] mengkonfirmasi keunggulan protokol MQTT dalam sistem kontrol real-time dengan latensi rendah. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan pemantauan real-time, pengendalian cerdas berbasis logika *fuzzy Mamdani*, notifikasi peringatan, dan penyimpanan data historis dalam satu platform terpadu.

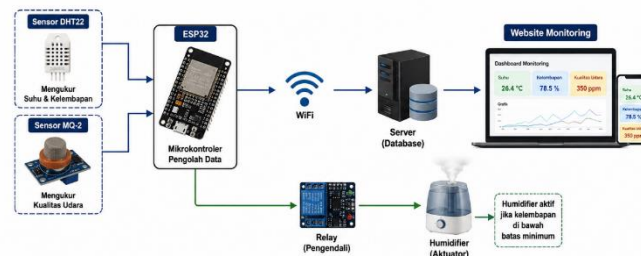
II. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah Development Research (Penelitian Pengembangan) yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan mengevaluasi sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis Internet of Things (IoT) pada kumbung jamur tiram. Metode ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada pengumpulan data, tetapi juga menghasilkan produk berupa sistem yang dapat diterapkan secara langsung untuk membantu petani menjaga kondisi lingkungan kumbung agar tetap optimal bagi pertumbuhan jamur.

Prosedur penelitian mengacu pada model *Waterfall* yang terdiri atas tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, serta evaluasi dan dokumentasi. Pada tahap analisis kebutuhan dilakukan identifikasi permasalahan dan kebutuhan pengguna melalui observasi kondisi kumbung jamur. Tahap perancangan meliputi desain perangkat keras seperti ESP32, sensor DHT22, dan humidifier, serta desain perangkat lunak berupa website monitoring dan basis data. Selanjutnya, tahap implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen sehingga sistem mampu melakukan pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan secara otomatis serta menampilkan data secara real-time melalui website.

Penelitian dilaksanakan pada kumbung budidaya jamur tiram di Desa Kalipang. Setelah sistem selesai dibangun, dilakukan pengujian untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai kebutuhan, meliputi pengujian sensor, komunikasi data, pengendalian humidifier, dan tampilan website monitoring. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap kondisi

lingkungan kumbung untuk mengetahui karakteristik suhu dan kelembapan yang diperlukan dalam budidaya jamur tiram. Hasil pengamatan tersebut digunakan sebagai dasar penentuan parameter kerja sistem agar dapat beroperasi sesuai kebutuhan di lapangan dan mendukung peningkatan kualitas hasil panen jamur.



Gambar 1. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari tiga lapisan utama. Lapisan perangkat keras mencakup mikrokontroler ESP32, dua sensor DHT22, sensor CO₂ MQ-2, modul relay 2 channel, *humidifier*, dan LCD I2C 20×4. Lapisan komunikasi menggunakan protokol MQTT dengan broker berbasis cloud sebagai perantara pertukaran data antara ESP32 dan aplikasi web [2]. Lapisan aplikasi dikembangkan menggunakan *framework Flutter (Dart)* dengan basis data cloud untuk mengelola logika *fuzzy*, dashboard monitoring, notifikasi, dan laporan panen.

A. Perangkat Keras

Tabel 1 menunjukkan perangkat keras beserta spesifikasi dan fungsi masing-masing komponen dalam sistem.

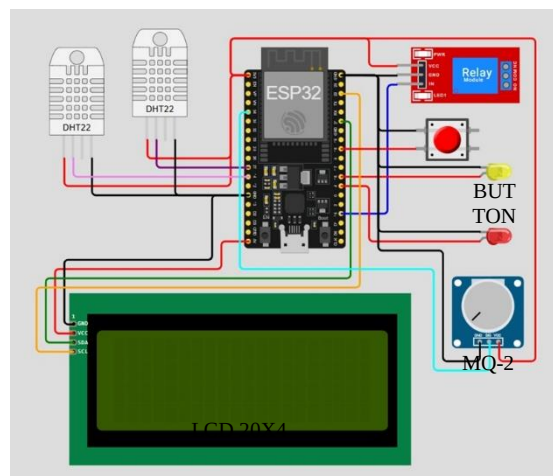
Tabel 1. Perangkat Keras yang Digunakan

No	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	ESP32	240 MQ2, Wi-Fi 802.11 b/g/n	Mikrokontroler utama, pengolah data sensor dan komunikasi MQTT
2	DHT22	Suhu: -40~80°C (±0,5°C), RH: 0~100% (±2%)	Membaca suhu dan kelembapan di dua titik kumbung
3	Humidifier	Ultrasonik, kapasitas 2L	Menambah kelembaban kumbung otomatis
4	LCD I2C 20×4	Interface I2C, tegangan 5V	Tampilan data sensor lokal di kumbung
5	Power Supply	5V/3A DC	Sumber daya ESP32 dan relay

Konfigurasi pin ESP32 untuk setiap komponen ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konfigurasi Wiring Perangkat IoT

Sensor/Aktuator	Pin Sensor	Pin ESP32	Keterangan
DHT22 #1	VCC / GND / DATA	3.3V/GND/GPIO14	Titik pengukuran 1 (area baglog)
DHT22 #2	VCC / GND / DATA	3.3V/GND/GPIO27	Titik pengukuran 2 (area panen)
MQ-2 (Gas/CO ₂)	VCC / GND / AOUT	3.3V/GND/GPIO34	Pembacaan analog kadar gas/CO ₂
Relay Ch.1	VCC / GND / IN	5V / GND / GPIO15	Kontrol humidifier
Relay Ch.2	VCC / GND / IN	5V / GND / GPIO2	Kontrol humidifier (cadangan)
LCD I2C	VCC / GND / SDA / SCL	5V / GND / GPIO21 / GPIO22	Tampilan data lokal



Gambar 2. Rangkaian Perangkat Keras

B. Perangkat Lunak

Firmware ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C/C++ yang mencakup logika koneksi Wi-Fi, manajemen sesi MQTT, pembacaan sensor DHT22 dan MQ-2 setiap 60 detik, pengendalian GPIO untuk relay, serta eksekusi algoritma *fuzzy Mamdani*. Aplikasi web dikembangkan menggunakan framework Flutter (Dart) dan didukung basis data cloud. Sistem web mengelola tujuh modul utama, yaitu login, dashboard, pemantauan sensor, pengaturan batas, kontrol aktuator, laporan panen, dan notifikasi. Proses subscriber MQTT berjalan secara background sehingga data dari ESP32 dapat diterima, disimpan, dan ditampilkan secara real-time tanpa perlu refresh halaman oleh pengguna [9].

C. Algoritma Fuzzy Mamdani

Metode *Fuzzy Mamdani* diimplementasikan pada ESP32 untuk menentukan tindakan pengendalian otomatis berdasarkan data suhu dan kelembaban. Prosesnya terdiri dari empat tahap, yaitu *fuzzifikasi*, inferensi menggunakan rule base dengan operator MIN, agregasi menggunakan operator MAX, dan *defuzzifikasi* menggunakan metode centroid. Variabel suhu dibagi menjadi himpunan fuzzy Dingin, Normal, dan Panas, sedangkan kelembaban dibagi menjadi Rendah, Normal, dan Tinggi.

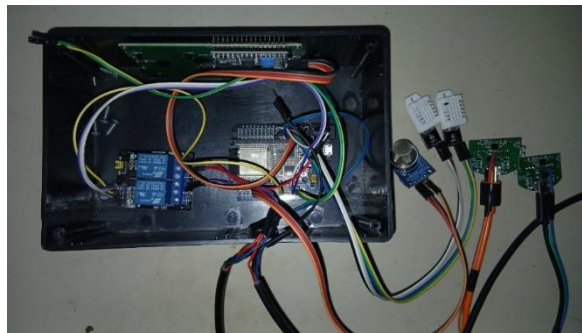
Hasil proses *fuzzy* menghasilkan nilai tegas (crisp) yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan sistem. Pada simulasi suhu 30°C dan kelembaban 65%, diperoleh nilai defuzzifikasi sebesar 57,69, yang menunjukkan kondisi Peringatan. Berdasarkan hasil tersebut, sistem secara otomatis mengaktifkan *humidifier* untuk meningkatkan kelembaban sehingga kondisi lingkungan kumbung dapat kembali mendekati kondisi ideal bagi pertumbuhan jamur tiram

D. Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan dalam dua kategori. Pertama, pengujian akurasi sensor dengan membandingkan pembacaan DHT22 dan MQ-2 terhadap alat ukur referensi pada beberapa kondisi lingkungan. Kedua, pengujian fungsional menggunakan metode *black-box testing* terhadap 12 fitur utama sistem untuk memverifikasi kesesuaian keluaran dengan masukan yang diberikan [6][7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Perangkat Keras



Gambar 2. Implementasi Perangkat Keras

Prototipe sistem berhasil dirangkai dalam satu kotak kontrol yang memuat ESP32, dua sensor DHT22 pada titik berbeda, sensor CO₂ MQ-2, modul relay 2 channel, dan LCD I2C 20×4. Setiap kanal relay terhubung ke satu aktuator melalui jalur listrik 220V AC yang terpisah dari rangkaian kontrol tegangan rendah untuk menjaga stabilitas sinyal logika ESP32. Pengujian fisik membuktikan ESP32 mampu mengaktifkan dan menonaktifkan setiap relay secara independen sesuai keputusan algoritma *fuzzy Mamdani* tanpa interferensi antarkanal.

B. Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem terdiri dari dua komponen utama yang saling terintegrasi: firmware ESP32 dan aplikasi web berbasis Flutter.

Firmware ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C/C++. Program mengelola koneksi Wi-Fi dan autentikasi ke broker MQTT, pembacaan sensor DHT22 dan MQ-2, setiap 60 detik, eksekusi algoritma *fuzzy Mamdani* untuk menentukan tindakan pengendalian, serta pengendalian relay aktuator. Data sensor dan status aktuator dipublikasikan ke broker MQTT dan diterima aplikasi web untuk ditampilkan pada dashboard secara real-time tanpa refresh manual [8].

Aplikasi web dikembangkan menggunakan framework Flutter (Dart) dengan basis data cloud. Sistem mengelola tujuh modul yang saling terhubung sebagaimana dirangkum pada Tabel 3.

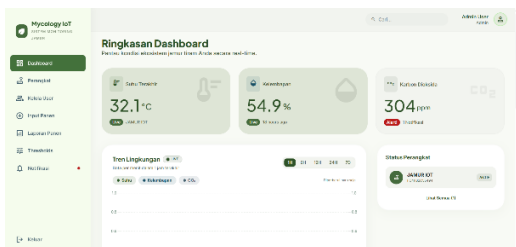
Tabel 3. Modul Utama Aplikasi Web Monitoring

No	Modul	Fungsi Utama	Tujuan Penggunaan
1	Login	Autentikasi pengguna berbasis peran	Membatasi akses hanya Admin dan Petugas
2	Dashboard	Tampilan data sensor, status aktuator, kondisi kumbung	Monitoring operasional real-time dari jarak jauh
3	Pemantauan Sensor	Pembacaan suhu, kelembaban, dan kadar CO ₂ secara berkala	Menyajikan data lingkungan kumbung secara akurat
4	Pengaturan Batas	Konfigurasi ambang batas suhu, kelembaban, dan CO ₂	Menyesuaikan parameter ideal sesuai kondisi kumbung
5	Kontrol Aktuator	Kendali otomatis humidifier via fuzzy Mamdani	Menjaga stabilitas lingkungan kumbung secara otomatis
6	Laporan Panen	Input dan riwayat laporan hasil panen	Evaluasi produktivitas dan pertumbuhan jamur tiram
7	Notifikasi	Peringatan otomatis saat kondisi di luar batas ideal	Membantu petugas merespons kondisi abnormal dengan cepat

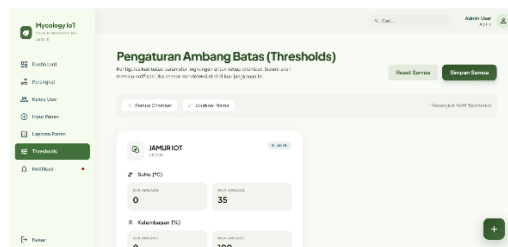
Aplikasi web menjalankan proses *subscriber MQTT* secara background sehingga setiap data yang masuk dari ESP32 — berupa status sensor maupun kondisi aktuator — langsung disimpan ke database dan memperbarui tampilan dashboard secara real-time. Alur kerja antar modul berjalan otomatis: modul Pemantauan Sensor memproses data dari ESP32, modul Kontrol Aktuator mengeksekusi keputusan *fuzzy*, dan hasilnya dapat diakses melalui modul Laporan Panen untuk evaluasi pertumbuhan jamur tiram.

C. Tampilan Antarmuka Sistem

Antarmuka sistem dirancang dengan prinsip kesederhanaan dan kemudahan navigasi. Terdapat dua halaman utama yang digunakan dalam operasional sehari-hari, yaitu halaman Dashboard dan halaman Pemantauan Sensor.



Gambar 3. Halaman Dashboard



Gambar 4. Halaman Pemantauan Sensor

Halaman dashboard seperti Gambar 1 menampilkan empat ringkasan utama di bagian atas (status kumbung, suhu terkini, kelembaban terkini, kadar CO₂), diikuti kartu kondisi setiap kumbung dengan indikator status Normal/Peringatan dan nilai sensor yang diperbarui setiap 60 detik. Halaman pemantauan sensor seperti Gambar 2 menampilkan grafik historis perubahan suhu, kelembaban, dan CO₂ dalam periode tertentu sehingga petugas dapat menganalisis tren kondisi lingkungan kumbung jamur tiram.

D. Hasil Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor DHT22 dan MQ-2 terhadap alat ukur referensi pada enam kondisi berbeda. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Akurasi Sensor

No	Parameter	Alat Ukur Referensi	Hasil Sensor	Selisih	Status
1	Suhu (°C)	28,0°C	28,3°C	±0,3°C	Sesuai (toleransi ±0,5°C)
2	Suhu (°C)	30,0°C	30,4°C	±0,4°C	Sesuai (toleransi ±0,5°C)
3	Kelembaban (%)	85%	84,2%	±0,8%	Sesuai (toleransi ±2%)
4	Kelembaban (%)	65%	65,5%	±0,5%	Sesuai (toleransi ±2%)
5	CO ₂ (ppm)	900 ppm	920 ppm	±20 ppm	Sesuai (toleransi ±10 ppm)
6	CO ₂ (ppm)	1.400 ppm	1.435 ppm	±35 ppm	Sesuai (toleransi ±10 ppm)

Seluruh pembacaan sensor berada dalam batas toleransi spesifikasi: DHT22 dengan toleransi suhu ±0,5°C dan kelembaban ±2%, serta MQ-2 dengan toleransi ±10% dari pembacaan. Hasil ini sejalan dengan temuan Gitakarma dkk. [9] yang menyatakan bahwa ESP32 sangat stabil dalam mengelola pembacaan sensor real-time, serta Rahman & Sutanto [3] yang mengkonfirmasi bahwa ESP32 cocok untuk sistem monitoring lingkungan berbasis cloud.

E. Validasi Algoritma *Fuzzy Mamdani*

Validasi metode *fuzzy Mamdani* dilakukan dengan menguji lima skenario kondisi lingkungan berbeda. Perbandingan keputusan sistem dengan perhitungan manual ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Algoritma Fuzzy Mamdani

No.	Suhu (C)	Kelembaban (%)	CO2 (ppm)	Nilai Defuz	Kategori	Aktuator
1	28	85	900	20,00	Normal	Semua OFF
2	30	65	1.400	57,69	Peringatan	Humidifier ON
3	32	55	1.600	78,40	Peringatan Tinggi	Humidifier ON
4	25	90	800	18,50	Normal	Semua OFF
5	29	72	1.100	45,20	Peringatan Sedang	Humidifier ON

Seluruh skenario menunjukkan keputusan aktuator yang konsisten sesuai rule base yang dirancang. Metode *fuzzy Mamdani* terbukti mampu menangani variabel linguistik yang tidak presisi dengan baik, sesuai dengan pernyataan Sharma dkk. [10] bahwa penggunaan fungsi keanggotaan yang tepat dapat meningkatkan akurasi keputusan sistem fuzzy secara signifikan.

F. Perbandingan Sistem Manual vs Sistem IoT

Tabel 7 merangkum perbandingan antara sistem manual yang sebelumnya digunakan dengan sistem IoT yang dikembangkan.

Tabel 7. Perbandingan Sistem Manual vs Sistem Berbasis IoT

Aspek	Sistem Manual	Sistem Berbasis Iot
Pemantauan Suhu & Kelembaban	Termometer/hygrometer manual; tidak konsisten dan terbatas waktu tertentu	Otomatis via sensor DHT22, dipantau real-time 24 jam dari jarak jauh
Pemantauan CO₂	Tidak tersedia	Otomatis via sensor MQ-2, data tersimpan di database
Kontrol Aktuator	Manual oleh petugas; risiko keterlambatan penanganan	Otomatis berbasis fuzzy Mamdani dengan waktu respons <2 detik
Pencatatan Data	Buku catatan; rentan kesalahan dan kehilangan data	Tersimpan otomatis di database cloud, dapat diakses kapan saja
Laporan Panen	Dicatat manual; tidak terstruktur	Input digital dengan riwayat laporan terstruktur di sistem

G. Pembahasan

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi ESP32, MQTT, sensor DHT22, sensor MQ-2, dan metode *fuzzy Mamdani* mampu membentuk ekosistem IoT yang responsif dan andal untuk pengendalian lingkungan kumbung jamur tiram. Waktu respons pengiriman data melalui MQTT yang kurang dari 2 detik mengkonfirmasi keunggulan protokol MQTT dalam komunikasi IoT real-time sebagaimana dinyatakan oleh Zamzami [2] dan Sima dkk. [8].

Dibandingkan dengan sistem manual, sistem IoT ini memberikan peningkatan signifikan pada konsistensi pemantauan, kecepatan respons pengendalian, dan ketersediaan data historis. Penambahan metode *fuzzy Mamdani* memberikan nilai tambah nyata karena mampu menangani ketidakpastian kondisi lingkungan secara adaptif, jauh lebih presisi dibandingkan kontrol on/off konvensional [10]. Temuan ini sejalan dengan Maulana dkk. [6] yang membuktikan efektivitas MQTT untuk monitoring jamur tiram dan Bitari dkk. [5] yang mengkonfirmasi pentingnya sistem kontrol iklim otomatis pada kumbung.

Satu keterbatasan yang perlu diperhatikan adalah ketergantungan sistem terhadap koneksi internet yang stabil untuk komunikasi MQTT. Penelitian ke depan disarankan untuk mengimplementasikan broker MQTT lokal sebagai cadangan, menambahkan prediksi pertumbuhan berbasis data historis, serta memperluas pengujian pada skala kumbung yang lebih besar.

I. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem monitoring dan pengendalian otomatis kumbung jamur tiram berbasis IoT menggunakan ESP32, sensor DHT22, sensor CO₂ MQ-2, protokol MQTT, dan metode *fuzzy Mamdani*. Tiga tujuan penelitian telah tercapai: (1) sistem mampu memantau suhu, kelembaban, dan kadar CO₂ secara real-time dengan akurasi dalam batas toleransi spesifikasi sensor; (2) metode *fuzzy Mamdani* berhasil diimplementasikan untuk pengendalian aktuator otomatis dengan keputusan yang konsisten pada seluruh skenario pengujian; serta (3) dashboard web dan sistem notifikasi berhasil menyediakan pemantauan jarak jauh yang efektif,

Pengujian fungsional black-box terhadap 12 fitur membuktikan seluruh fitur sistem berjalan sesuai rancangan. Untuk pengembangan lanjutan disarankan penambahan broker MQTT lokal sebagai *failover*, integrasi prediksi pertumbuhan jamur berbasis data historis, serta perluasan pengujian pada skala kumbung yang lebih besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Nusantara PGRI Kediri atas dukungan akademik, kepada dosen pembimbing pertama Julian Sahertian, S.Pd., M.T dan dosen pembimbing kedua Ratih Kumalasari Niswatin, S.ST., M.Kom. atas bimbingan yang diberikan, serta kepada pemilik kumbung budidaya jamur tiram di Desa Kalipang yang telah memberikan izin dan kemudahan selama proses observasi dan pengujian sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Setiawan, J. Sahertian, A. Dusea, and W. Dara, "Rancang Bangun Sistem Monotoring Penyiram Tanaman Padi Berbasis IoT (Internet Of Things)," Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi), vol. 5, no. 2, pp. 166–173, 2021.
- [2] M. Nabil Zamzami, "Integrasi WSN dan IoT Untuk Sistem Monitoring Rumah Cerdas Berbasis MQTT," Karapan Network S Journal, vol. I, no. 1, 2025, doi: 10.20473/KNJ.I.I.612-623.
- [3] M. S. Gitakarma, K. U. Ariawan, and I. G. M. S. B. Pracasitaram, "Peran Mikrokontroler Dalam Pengembangan Aplikasi IoT: Tinjauan Konseptual dan Implementasi," Jurnal KOMTEKS, vol. 3, no. 2, pp. 18–24, 2024..
- [4] M. I. Alfarizi, D. F. Brillyansyah, L. Mualimin, and L. Perdnasari, "Desain Kumbung dan Kinerja Sistem Kontrol Iklim Otomatis untuk Jamur Tiram," Technologica, vol. 4, no. 2, pp. 159–169, 2025..
- [5] D. Bitari Mei Yuana et al., "Penerapan Sistem Kontrol Suhu Dan Kelembaban Otomatis Pada Kumbung Jamur Di UD Mitra Jamur Jember," National Conference for Community Service, 2022.
- [6] M. A. Maulana, Harianto, Musayyanah, and W. I. K., "Monitoring Dan Controlling Pemberi Pakan Ikan Otomatis Pada Akuarium Menggunakan MQTT," Journal of Advances in Information and Industrial Technology, vol. 4, no. 2, pp. 69–80, Nov. 2022, doi: 10.52435/jaiit.v4i2.248.
- [7] M. A. Makhrus, R. S. Pradini, and N. Rikatsih, "Implementasi Internet Of Things (IoT) Dengan Protokol Komunikasi MQTT Pada Sistem Kontrol Lampu Ruangan," Journal of Informatics and Advanced Computing (JIAC), vol. 6, no. 1, 2025.
- [8] B. A. Sima, R. Buaton, and M. Sihombing, "IOT Based Automatic Light Control System Using MQTT Protocol," International Journal of Informatics, Economics, Management and Science, vol. 3, no. 1, p. 1, Jan. 2024, doi: 10.52362/ijiems.v3i1.1213.
- [9] N. A. Faqih Ardiantoro, E. Rizki Dalimunthe, and N. Utami Putri, "Implementasi Internet Of Things (IOT) Pada Kumbung Jamur Merang Untuk Pemantauan Suhu Dan Kelembaban," vol. 19, no. 01, 2025.
- [10] R. Sharma, A. Malik, C. Pawar, and D. Singh, "Empowering Healthcare Transformation Through IoT and Big Data Integration in Remote Real-time Patient Monitoring," International Research Journal, 2024.