

## RANCANG BANGUN ALAT INKUBATOR JAMUR TIRAM BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DENGAN FUZZY LOGIC

### DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN IOT-BASED OYSTER MUSHROOM INCUBATOR USING FUZZY LOGIC

Rifa'i Maulana Muzzaki<sup>1</sup>, Denny Irawan<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik<sup>1,2</sup>

[rifaikulamamuzzaki@gmail.com](mailto:rifaikulamamuzzaki@gmail.com)<sup>1</sup>, [den2mas@umg.ac.id](mailto:den2mas@umg.ac.id)<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

Oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) are a cultivated product that requires careful environmental management, especially during the mycelial growth stage. Irregular suhue and humidity fluctuations can hinder the growth process and reduce the success rate of incubation. The purpose of this research is to design and implement an oyster mushroom incubator device based on the Internet of things (IoT), with an automatic control system using fuzzy logic methods. The system design involves the use of an ESP32 microcontroller, sensors for suhue and humidity, and actors including a heater, humidifier, and exhaust fan. The Mamdani-type fuzzy logic method is used to control the operation of the actors responsive to existing environmental conditions. The system is also connected to the Blynk IoT platform to directly monitor suhue and humidity. The results of the design show that the system can maintain stable suhue and humidity according to requirements during oyster mushroom incubation. This tool is expected to improve efficiency in environmental management and support the success of the oyster mushroom incubation process.

**Keywords:** Oyster Mushroom, Inkubator, Internet Of Things, Fuzzy Logic, Suhue And Humidity.

#### ABSTRAK

Jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) adalah produk budidaya yang memerlukan pengaturan lingkungan yang cermat, terutama selama tahap pertumbuhan miselium. Fluktuasi suhu dan kelembaban yang tidak teratur bisa menghambat proses pertumbuhan serta mengurangi tingkat keberhasilan inkubasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang serta menerapkan perangkat inkubator jamur tiram yang berbasis *Internet of things* (IoT), dengan sistem kontrol otomatis menggunakan metode logika fuzzy. Desain sistem melibatkan penggunaan mikrokontroler ESP32, sensor untuk suhu dan kelembaban, serta aktor yang mencakup pemanas, humidifier, dan exhaust fan. Metode fuzzy logic tipe Mamdani digunakan untuk mengendalikan pengoperasian aktor secara responsif terhadap kondisi lingkungan yang ada. Sistem ini juga terhubung dengan platform IoT Blynk untuk memantau suhu dan kelembaban secara langsung. Hasil dari desain tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat menjaga suhu dan kelembaban tetap stabil sesuai dengan kebutuhan selama inkubasi jamur tiram. Dengan ini, alat ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan lingkungan serta mendukung keberhasilan proses inkubasi jamur tiram.

**Kata Kunci:** Jamur Tiram, Inkubator, Internet Of Things, Fuzzy Logic, Suhu Dan Kelembaban.

#### PENDAHULUAN

Jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) adalah salah satu jenis usaha tani yang memiliki nilai ekonomi yang signifikan dan banyak diusahakan di Indonesia karena nutrisi yang terkandung di dalamnya yang baik serta kebutuhan pasar yang semakin meningkat (Aminah et al., 2020; Fitriawan et al., 2020). Dalam kegiatan budidaya, tahap inkubasi miselium menjadi bagian yang krusial karena berpengaruh besar terhadap keberhasilan perkembangan jamur (Triono,

2020). Pada tahap ini, faktor-faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban perlu dipertahankan agar tetap konsisten demi pertumbuhan miselium yang maksimal. Suhu yang paling tepat untuk proses inkubasi jamur tiram berkisar antara 25–28°C dengan kelembaban sekitar 70–80% RH (Rahman & Muskhair, 2021). Fluktuasi suhu dan tingkat kelembaban dapat mengakibatkan terhambatnya perkembangan miselium serta memperbesar kemungkinan terjadinya

kontaminasi pada media tanam (Wibowo et al., 2021).

Sebagian besar petani jamur tiram masih mengatur kondisi ruang inkubasi dengan cara manual, seperti menyiram air, membuka ventilasi, atau memeriksa suhu dengan alat yang biasa digunakan. Metode ini memiliki berbagai kekurangan, termasuk tidak efektif dalam mempertahankan stabilitas lingkungan, memerlukan pemantauan yang berkelanjutan, serta tidak efisien dalam hal waktu dan sumber daya (Mulyanto et al., 2023). Keadaan ini mengakibatkan mutu perkembangan miselium bervariasi dan berdampak pada hasil panen jamur tiram.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan sistem pemantauan dan kontrol lingkungan dijalankan secara otomatis dan instan. Dengan menggunakan mikrokontroler yang terhubung dengan jaringan internet, informasi mengenai suhu dan kelembapan dapat diakses melalui smartphone tanpa perlu melakukan pemeriksaan langsung ke ruang inkubasi (Pratama et al., 2023; Saputra et al., 2022). Selain itu, penerapan sistem pengendalian cerdas seperti logika fuzzy dapat memperbaiki kemampuan sistem dalam membuat keputusan secara adaptif sesuai dengan perubahan suhu dan kelembapan yang berlangsung. Metode logika fuzzy dianggap lebih efektif dalam mempertahankan kestabilan lingkungan inkubasi dibandingkan dengan pengendalian tradisional karena mampu menangani perubahan kondisi secara berkelanjutan dan langsung.

Metode logika fuzzy Mamdani dipilih karena dapat mengatasi ketidakpastian nilai suhu dan kelembapan dengan cara yang mirip dengan pola pikir manusia. Sistem fuzzy beroperasi melalui langkah-langkah fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi untuk menetapkan tindakan kontrol terhadap perangkat seperti humidifier dan exhaust fan. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk melakukan pengendalian yang lebih adaptif

berdasarkan perubahan kondisi lingkungan dalam ruang inkubasi jamur tiram.

Penerapan fuzzy logic pada sistem kontrol suhu dan kelembapan berbasis IoT dapat meningkatkan kestabilan lingkungan secara real-time. Sistem ini memberikan respons yang lebih halus dibandingkan kontrol konvensional ON/OFF, sehingga fluktuasi suhu dan kelembapan bisa diminimalkan. Ini membantu mempertahankan kondisi optimal untuk pertumbuhan miselium jamur. Integrasi IoT dan fuzzy logic memungkinkan monitoring dan pengendalian otomatis yang lebih efisien (R. & Inayah, 2025). Beberapa studi sebelumnya telah menerapkan sistem pemantauan untuk budidaya jamur yang berbasis Internet of Things (IoT), tetapi banyak di antaranya masih mengandalkan kontrol yang sederhana sehingga stabilitas lingkungan belum mencapai tingkat yang ideal. Di sisi lain, penerapan teknologi IoT untuk pemantauan kondisi lingkungan telah terbukti sangat efektif pada berbagai sektor lain, seperti sistem monitoring dan pendeteksi kebersihan udara pada kandang peternakan sapi (Zulkarnain & Irawan, 2024) serta sistem monitoring kelayakan kandang dan air minum otomatis pada peternakan kambing (Sugiritno & Irawan, 2024).

Keberhasilan implementasi IoT di berbagai bidang tersebut menunjukkan potensinya yang besar, namun aplikasinya pada inkubasi jamur tiram tetap membutuhkan pendekatan kontrol cerdas yang lebih adaptif. Oleh karena itu, penelitian ini merancang suatu alat inkubator untuk jamur tiram yang memanfaatkan IoT dengan pendekatan fuzzy logic Mamdani guna mengatur suhu dan kelembapan secara otomatis. Sistem ini menggunakan sensor DHT22/SHT31, mikrokontroler ESP32, humidifier, dan exhaust fan yang terhubung dengan platform IoT untuk monitoring secara real-time. Diharapkan penelitian ini dapat meningkatkan kestabilan lingkungan dalam proses inkubasi, mengurangi kebutuhan intervensi tangan, dan meningkatkan

tingkat keberhasilan pertumbuhan jamur tiram.

## METODE

### Jenis Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode penelitian dan pengembangan (R&D) dengan pendekatan eksperimen untuk merancang dan merealisasikan sistem inkubator jamur tiram yang terhubung dengan Internet of Things (IoT) menggunakan metode fuzzy logic Mamdani. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya terfokus pada desain perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga melakukan evaluasi kinerja sistem dalam menjaga suhu dan kelembapan di ruang inkubasi secara otomatis. Proses penelitian dilakukan melalui beberapa langkah, termasuk tinjauan literatur, analisis kebutuhan sistem, desain perangkat keras (hardware), desain perangkat lunak (software), penerapan fuzzy logic, integrasi sistem IoT, serta pengujian dan penilaian kinerja alat. Semua langkah dilaksanakan secara bertahap agar sistem yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan kebutuhan inkubasi jamur tiram.

### Studi Literatur

Tahap pengumpulan literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi dan dasar teori yang berkaitan dengan budidaya jamur tiram, pengaturan suhu dan kelembapan, Internet of Things (IoT), mikrokontroler ESP32, serta sensor suhu dan kelembapan, dan juga metode fuzzy logic Mamdani. Sumber literatur diambil dari jurnal akademik, prosiding konferensi, buku, dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan tema penelitian. Dari hasil pengumpulan literatur, diketahui bahwa perkembangan miselium jamur tiram sangat dipengaruhi oleh kestabilan suhu dan kelembapan di ruang inkubasi. Suasana ideal untuk proses inkubasi berkisar pada suhu 25°C hingga 28°C dan kelembapan antara 70% hingga 80% RH. Ketidakstabilan kondisi lingkungan dapat mengganggu pertumbuhan miselium dan

meningkatkan kemungkinan terjadinya kontaminasi pada baglog jamur.



**Gambar 1.** Jamur Tiram

Selain itu, beberapa studi sebelumnya mengindikasikan bahwa penerapan IoT dan logika fuzzy dapat memperbaiki stabilitas sistem pengendalian jika dibandingkan dengan cara manual ataupun pengendalian ON/OFF yang tradisional (Budiarto et al., 2024).

### Perancangan Sistem

Sistem inkubator untuk jamur tiram dibangun dengan menggunakan prinsip kontrol loop tertutup yang didasarkan pada IoT dan logika fuzzy Mamdani. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu komponen input, komponen pengendali, dan komponen output. Komponen input memanfaatkan sensor DHT22/SHT31 untuk mengukur suhu dan kelembapan dalam area inkubasi. Data dari sensor tersebut diteruskan ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pengendali utama. Setelah itu, ESP32 mengelola data menggunakan algoritma logika fuzzy Mamdani untuk menentukan tindakan pengendalian terhadap aktuator.



**Gambar 2.** Diagram Blok Sistem

Aktuator yang digunakan meliputi humidifier untuk menambah kelembapan dan exhaust fan untuk mengatur sirkulasi udara serta menurunkan suhu saat melebihi batas yang diinginkan. Semua aktuator diatur melalui modul relay yang terhubung ke ESP32. Selain itu, sistem juga terhubung dengan platform IoT berbasis Telegram Bot, sehingga pengguna dapat memantau kondisi inkubasi secara langsung melalui smartphone mereka.

Perancangan perangkat keras dilakukan untuk menciptakan sistem fisik inkubator jamur tiram yang dapat melakukan pemantauan dan pengendalian lingkungan secara otomatis. Elemen utama yang digunakan dalam penelitian ini mencakup:

1. Mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pengendali pusat sistem dan komunikasi IoT.
2. Sensor DHT22/SHT31 berfungsi sebagai alat pengukur suhu dan kelembapan dalam ruang inkubasi.
3. Humidifier ultrasonik yang bertugas menghasilkan uap air guna meningkatkan tingkat kelembapan.
4. Exhaust fan berfungsi untuk mengatur sirkulasi udara dan menurunkan suhu.
5. Modul relay berperan sebagai jembatan antara mikrokontroler dan aktuator.
6. Sumber daya 5V dan 12V digunakan sebagai suplai tegangan untuk sistem.
7. Kotak inkubator terbuat dari bahan isolator termal yang berfungsi untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan.



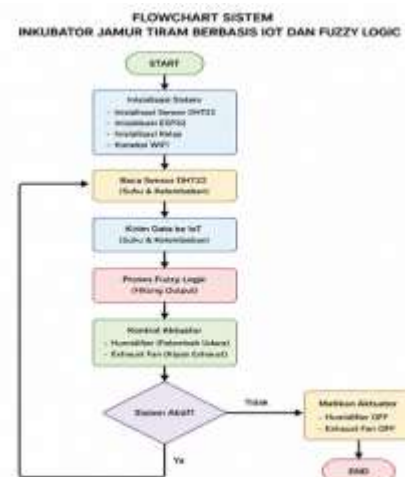
**Gambar 3. Perancangan Sistem Inkubator**

Pemilihan ESP32 diambil karena mikrokontroler ini memiliki modul Wi-Fi bawaan yang memudahkan dalam penerapan sistem IoT dan pengiriman data

secara langsung. Sensor DHT22/SHT31 dipilih karena menawarkan akurasi tinggi dalam mengukur suhu dan kelembapan di lingkungan inkubasi.

### Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak dikerjakan dengan memanfaatkan Arduino IDE sebagai alat untuk memprogram ESP32. Aplikasi ini dibuat untuk mengumpulkan informasi dari sensor, mengolah data dengan metode fuzzy logic Mamdani, mengatur aktuator, dan juga mengirimkan data pemantauan ke platform IoT.



**Gambar 4. Flowchart Sistem**

Library yang digunakan dalam penelitian meliputi:

- Library sensor DHT/SHT31
- Wi-Fi Library ESP32
- Telegram Bot Library
- Fuzzy Logic Library (Fuzzy.h)

Perangkat lunak juga dikembangkan agar sistem dapat beroperasi baik secara otomatis maupun manual lewat Telegram Bot. Selain mengawasi suhu dan kelembapan, sistem ini dapat mengirimkan pemberitahuan jika keadaan lingkungan melewati batas ideal untuk proses inkubasi.

### Perancangan Fuzzy Logic

Metode logika fuzzy Mamdani diterapkan dalam studi ini untuk mengatur suhu dan kelembapan pada area inkubasi jamur tiram. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengatasi ketidakpastian dalam

lingkungan dan memberikan kontrol yang lebih responsif dibandingkan dengan metode ON/OFF. Proses perancangan logika fuzzy melibatkan tiga tahapan:

- Fuzzifikasi
- Inferensi fuzzy
- Defuzzifikasi

Fuzzifikasi mengubah angka suhu dan kelembapan menjadi nilai-nilai dalam bahasa. Inferensi menentukan langkah kontrol yang perlu diambil, sedangkan defuzzifikasi memanfaatkan metode centroid untuk menghasilkan nilai yang jelas dalam pengaturan humidifier dan exhaust fan (Budiarto et al., 2024). Fungsi keanggotaan fuzzy dalam studi ini dibuat dengan menggunakan bentuk segitiga dan trapesium karena proses perhitungannya lebih efisien dan mudah diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32. Variabel suhu dikategorikan menjadi tiga kelompok fuzzy yaitu dingin, normal, dan panas, sedangkan variabel kelembapan dikelompokkan menjadi kering, ideal, dan lembap. Penentuan rentang fungsi keanggotaan diatur berdasarkan kondisi optimal untuk pertumbuhan jamur tiram sesuai dengan hasil penelitian literatur dan studi sebelumnya (Prasetyo et al., 2022).

### Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan fuzzy mengubah nilai masukan suhu dan kelembapan menjadi nilai yang bisa dimengerti oleh sistem fuzzy. Desain fungsi ini menggunakan bentuk segitiga dan trapesium, yang lebih ringan dan mudah diterapkan pada mikrokontroler ESP32. Fungsi ini efektif untuk pengendalian suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things (IoT), memberikan respon cepat terhadap perubahan lingkungan. Variabel suhu terbagi menjadi dingin, normal, dan panas, sedangkan kelembapan terbagi menjadi kering, ideal, dan lembap, dengan rentang berdasarkan kebutuhan optimal pertumbuhan miselium jamur tiram. Suhu yang dibutuhkan antara 25–28°C dan kelembapan 70–80% RH (Budiarto et al.,

2024). Fungsi keanggotaan suhu dirancang pada rentang 20°C–35°C dengan kategori:

- Dingin: 20°C–24°C
- Normal: 24°C–30°C
- Panas: 28°C–35°C

Sedangkan fungsi keanggotaan kelembapan dirancang pada rentang 50%RH–95%RH dengan kategori:

- Kering: 50%RH–70%RH
- Ideal: 65%RH–85%RH
- Lembap: 80%RH–95%RH

Perancangan fungsi keanggotaan tersebut bertujuan agar sistem mampu melakukan pengendalian suhu dan kelembapan secara lebih adaptif sesuai kondisi lingkungan ruang inkubasi jamur tiram.

### Rule Base Fuzzy

Basis aturan fuzzy berfungsi sebagai fondasi dalam proses pengambilan keputusan sistem untuk menentukan tindakan kontrol pada aktuator, yang didasarkan pada nilai suhu dan kelembapan yang diukur oleh sensor. Aturan fuzzy dibuat dengan pendekatan IF-THEN berdasarkan kondisi optimal untuk menginkubasi jamur tiram. Kombinasi dari aturan fuzzy dirancang supaya sistem bisa menjaga kestabilan suhu dan kelembapan di ruang inkubasi secara otomatis dan dalam waktu nyata (Irwanto et al., 2024).

**Tabel 1. Rule Base Fuzzy**

Suhu	Kelembapan	Humidifier	Exhaust Fan
Dingin	Kering	HIGH	OFF
Dingin	Ideal	LOW	OFF
Dingin	Lembab	OFF	LOW
Normal	Kering	HIGH	LOW
Normal	Ideal	OFF	OFF
Normal	Lembab	OFF	HIGH
Panas	Kering	LOW	HIGH
Panas	Ideal	OFF	HIGH
Panas	Lembab	OFF	HIGH

Aturan fuzzy ini berfungsi sebagai pedoman dalam proses penarikan kesimpulan untuk menentukan status aktuator humidifier dan kipas pembuang. Humidifier akan menyala apabila tingkat kelembapan berada di bawah level yang diinginkan, sementara kipas pembuang akan beroperasi saat suhu atau kelembapan melebihi angka maksimal yang disarankan

untuk pertumbuhan jamur tiram. Dengan penerapan basis aturan fuzzy ini, diharapkan sistem dapat memberikan pengelolaan lingkungan yang lebih konsisten dibandingkan dengan metode kontrol tradisional ON/OFF.

### Proses Inferensi dan Defuzzifikasi

Proses inferensi fuzzy dilakukan setelah tahap fuzzifikasi untuk menetapkan tindakan kontrol berdasarkan basis aturan. Metode yang dipakai dalam inferensi adalah Mamdani, karena metode ini mampu menghasilkan keputusan kontrol yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Pada tahap inferensi, sistem menilai aturan fuzzy dengan merujuk pada nilai keanggotaan suhu dan kelembapan yang diperoleh dari sensor. Hasil dari proses inferensi kemudian diproses dalam tahap defuzzifikasi untuk menghasilkan output yang jelas yang digunakan untuk mengatur humidifier dan exhaust fan, dengan memanfaatkan metode centroid agar lebih akurat (Muttaqi et al., 2024).

$$Z = \frac{\int z\mu(z)dz}{\int \mu(z)dz}$$

Keterangan:

- $Z$  = Nilai hasil defuzzifikasi
- $\mu(z)$  = derajat keanggotaan output fuzzy
- $z$  = domain output fuzzy

Dengan mengimplementasikan proses inferensi dan defuzzifikasi, sistem ini dapat secara otomatis mengatur suhu dan kelembapan di ruang inkubasi sesuai dengan perubahan kondisi lingkungan secara langsung.

### Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk menilai kinerja perangkat inkubator jamur tiram yang menggunakan teknologi IoT untuk menjaga suhu dan kelembapan secara otomatis. Semua komponen diuji, termasuk sensor, aktuator, fuzzy logic, dan komunikasi IoT. Tujuan pengujian adalah memastikan sistem berjalan optimal untuk pertumbuhan miselium. Uji coba sensor DHT22/SHT31 mengevaluasi akurasi

dengan membandingkan hasilnya terhadap thermo-hygrometer digital. Parameter yang diperhatikan adalah suhu, kelembapan, dan persentase kesalahan, dengan uji coba rutin di berbagai kondisi lingkungan (Sastra et al., 2023).

Pengujian pada aktuator dilakukan terhadap humidifier dan kipas exhaust untuk memahami respons sistem terhadap perubahan suhu dan kelembapan di ruang inkubasi. Uji humidifier fokus pada peningkatan kelembapan, sedangkan uji kipas exhaust pada penurunan suhu dan aliran udara. Pengujian logika fuzzy mengevaluasi keputusan kontrol berdasarkan perubahan suhu dan kelembapan dengan observasi fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi untuk menilai kesesuaian basis aturan fuzzy. Pengujian sistem IoT dilakukan untuk memastikan data suhu dan kelembapan dapat dikirim melalui Telegram Bot. Pengujian meliputi kestabilan koneksi Wi-Fi, kecepatan pengiriman data, dan notifikasi kondisi lingkungan. Sistem diharapkan dapat bekerja otomatis dan stabil.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Perancangan Sistem

Hasil penelitian ini berupa sistem inkubator jamur tiram berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat memonitor dan mengendalikan suhu serta kelembapan secara otomatis dengan metode fuzzy logic Mamdani. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali, dengan sensor DHT22/SHT31 untuk membaca suhu dan kelembapan, humidifier untuk menghasilkan uap air, dan exhaust fan untuk mengatur sirkulasi udara dan menurunkan suhu. Sistem ini mengintegrasikan semua komponen dalam satu perangkat inkubator yang menjaga kondisi lingkungan untuk pertumbuhan miselium jamur tiram. Data dari sensor diolah oleh ESP32 menggunakan fuzzy logic untuk mengontrol aktuator secara otomatis, dan hasilnya dikirim ke platform

Telegram Bot untuk monitoring real-time melalui smartphone.

Sistem menerapkan kontrol closed-loop, di mana sensor secara berkala membaca kondisi dan mengirimkan data ke mikrokontroler. Jika suhu terlalu tinggi, exhaust fan aktif, dan jika kelembapan rendah, humidifier aktif. ESP32 dapat menjalankan semua fungsi ini secara otomatis tanpa intervensi pengguna.

**Tabel 1. Spesifikasi Komponen Sistem**

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
ESP32	Wi-Fi Dual Core 240 MHz	Pengendali utama
DHT22/SHT31	Sensor suhu & kelembapan	Pembacaan lingkungan
Humidifier	Ultrasonic Mist Maker	Menambah kelembapan
Exhaust Fan	DC Fan 12V	Sirkulasi udara
Relay Module	2 Channel 5V	Kontrol aktuator

**Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan**

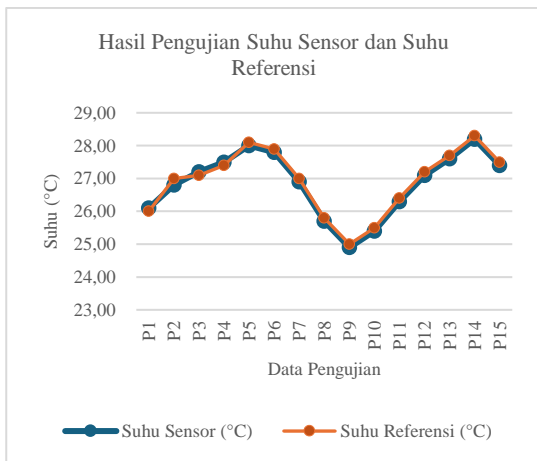
Suhu Sensor (°C)	Suhu Referensi (°C)	Error Suhu (%)	Kelembapan Sensor (%RH)	Kelembapan Referensi (%RH)	Error Kelembapan (%)
26,10	26,00	0,38	74	75	1,33
26,80	27,00	0,74	76	77	1,29
27,20	27,10	0,36	78	79	1,26
27,50	27,40	0,36	80	81	1,23
28,00	28,10	0,35	79	80	1,25
27,80	27,90	0,36	77	78	1,28
26,90	27,00	0,37	75	76	1,31
25,70	25,80	0,39	73	74	1,35
24,90	25,00	0,40	71	72	1,39
25,40	25,50	0,39	72	73	1,37
26,30	26,40	0,37	74	75	1,33
27,10	27,20	0,36	76	77	1,29
27,60	27,70	0,36	79	80	1,25
28,20	28,30	0,35	81	82	1,22
27,40	27,50	0,36	78		

Berdasarkan analisis yang dilakukan, didapatkan rata-rata kesalahan pembacaan suhu sekitar  $\pm 0,39\%$ , sementara untuk kelembapan rata-rata kesalahannya adalah sekitar  $\pm 1,29\%$ . Angka-angka tersebut mengindikasikan bahwa sensor DHT22/SHT31 memiliki akurasi yang memadai untuk digunakan dalam sistem pemantauan dan pengendalian ruang inkubasi jamur tiram yang berbasis Internet of Things (IoT).

Power Supply	5V/12V DC	Sumber tegangan
--------------	-----------	-----------------

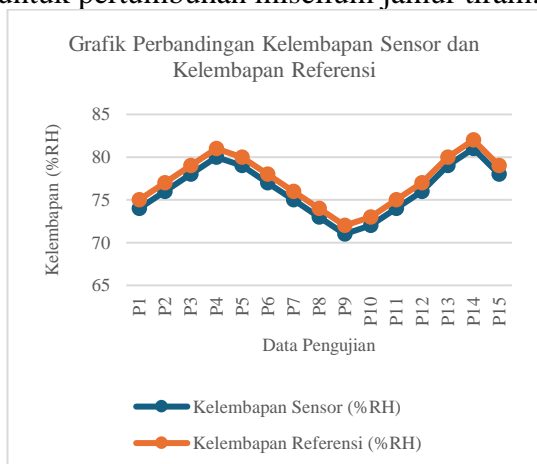
### Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan suhu dan kelembapan pada sensor DHT22/SHT31 yang digunakan pada sistem inkubator jamur tiram. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi berupa thermo-hygrometer digital. Parameter yang diamati meliputi nilai suhu, kelembapan, selisih pembacaan, dan persentase error sensor. Proses pengujian dilakukan secara berkala pada beberapa kondisi lingkungan ruang inkubasi. Data hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan nilai pembacaan alat ukur referensi untuk mengetahui tingkat akurasi sistem monitoring yang dikembangkan.



**Gambar 5. Grafik Perbandingan Suhu Sensor dan Suhu Referensi**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mengirimkan data suhu dan kelembapan secara real-time kepada mikrokontroler ESP32 untuk diproses menggunakan metode fuzzy logic Mamdani. Data yang diperoleh dari sensor berfungsi sebagai parameter utama dalam menentukan tindakan pengendalian untuk humidifier dan kipas exhaust. Selain itu, stabilitas pembacaan sensor merupakan elemen krusial dalam sistem kontrol otomatis karena mempengaruhi cara sistem fuzzy mengambil keputusan. Data sensor yang lebih akurat akan meningkatkan respons sistem dalam mempertahankan suhu dan kelembapan di dalam ruang inkubasi agar tetap dalam kondisi ideal untuk pertumbuhan miselium jamur tiram.



**Gambar 6. Grafik Perbandingan Kelembapan Sensor dan Kelembapan Referensi**

Berdasarkan hasil pengukuran kelembapan oleh sensor DHT22/SHT31 memperlihatkan angka yang hampir sama dengan pengukuran perangkat referensi. Perbedaan pembacaan yang cukup rendah menunjukkan bahwa sensor ini memiliki akurasi yang tinggi saat mengawasi kelembapan dalam ruang inkubasi jamur tiram. Ini menandakan bahwa sensor tersebut dapat berfungsi dengan baik sebagai sumber utama dalam sistem kontrol fuzzy logic Mamdani. Persentase error dihitung dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi. Dengan rumus error sebagai berikut:

$$\%Error = \frac{|Nilai\ Sensor - Nilai\ Referensi|}{Nilai\ Referensi} \times 100\%$$

**Pengujian Fuzzy Logic dan Respon Sistem**

Pengujian logika fuzzy dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam membuat keputusan kontrol berdasarkan perubahan suhu dan kelembapan secara langsung di ruang inkubasi jamur tiram. Pengujian ini melibatkan pemberian beberapa kondisi input dari suhu dan kelembapan untuk melihat bagaimana sistem merespons pengendalian humidifier dan exhaust fan berdasarkan aturan dasar fuzzy Mamdani yang telah disusun.

Dalam penelitian ini, proses logika fuzzy terbagi menjadi tiga langkah utama yaitu fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi. Proses fuzzifikasi dilakukan dengan mengubah nilai suhu dan kelembapan menjadi variabel linguistik dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan. Kemudian, tahap inferensi fuzzy digunakan untuk menentukan tindakan kontrol sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan. Tahap terakhir adalah defuzzifikasi yang menggunakan metode centroid untuk menghasilkan nilai keluaran yang jelas sebagai dasar kontrol aktuator.

**Tabel 3. Hasil Pengujian Fuzzy Logic Mamdani**

Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Kondisi Fuzzy	Humidifier	Exhaust Fan
23	60	Dingin - Kering	HIGH	OFF

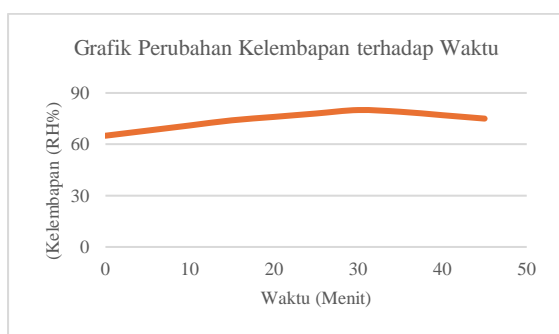
24	65	Dingin - Kering	HIGH	OFF
25	70	Normal - Ideal	LOW	OFF
26	74	Normal - Ideal	LOW	OFF
27	78	Normal - Ideal	OFF	OFF
28	80	Panas - Lembab	OFF	LOW
29	82	Panas - Lembab	OFF	HIGH
30	85	Panas - Lembab	OFF	HIGH
31	88	Panas - Lembab	OFF	HIGH
26	72	Normal - Ideal	LOW	

Berdasarkan evaluasi dalam Tabel 4, sistem fuzzy logic Mamdani efektif dalam keputusan kontrol untuk ruang inkubasi. Saat suhu dan kelembapan turun, humidifier diaktifkan, dan saat melebihi batas optimal, exhaust fan aktif untuk menurunkan suhu. Metode fuzzy logic memberikan respons yang lebih fleksibel dibandingkan kontrol ON/OFF, menyesuaikan tindakan dengan perubahan

suhu dan kelembapan secara bertahap. Sistem ini menjaga stabilitas lingkungan inkubasi dengan kombinasi kondisi sensor, membantu mengurangi fluktuasi suhu dan kelembapan. Untuk memperkuat hasil, disarankan menambahkan grafik yang menunjukkan respons sistem terhadap perubahan suhu dan kelembapan selama inkubasi.

**Tabel 4. Pengujian Respon Sistem**

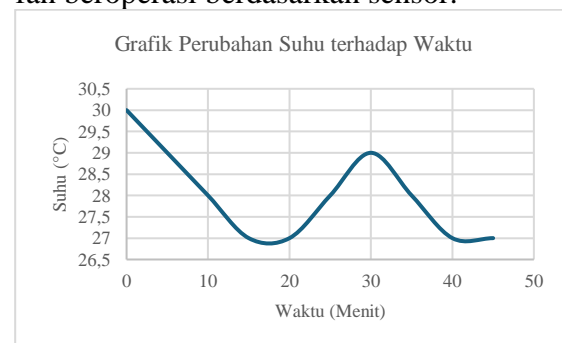
Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Humidifier	Exhaust Fan
0	30	65	ON	OFF
5	29	68	ON	LOW
10	28	71	LOW	LOW
15	27	74	LOW	OFF
20	27	76	OFF	OFF
25	28	78	OFF	LOW
30	29	80	OFF	HIGH
35	28	79	OFF	LOW
40	27	77	OFF	OFF
45	27	75	OFF	OFF



**Gambar 7. Grafik Perubahan Kelembapan Terhadap Waktu pada Ruang Inkubasi**

Pada Gambar 7, tingkat kelembapan meningkat dari 65%RH pada menit pertama hingga 80%RH di menit ke-30 akibat humidifier yang beroperasi dalam mode ON dan LOW. Setelah mencapai puncaknya, kelembapan menurun menjadi

75%RH pada menit ke-45 karena exhaust fan beralih dari mode LOW ke HIGH, memperbaiki sirkulasi udara. Sistem ini otomatis menyesuaikan kelembapan sesuai peraturan, dengan humidifier dan exhaust fan beroperasi berdasarkan sensor.



**Gambar 8. Grafik Perubahan Suhu Terhadap Waktu pada Ruang Inkubasi**

Berdasarkan Gambar 8, suhu turun dari 30°C pada menit pertama menjadi 27°C pada menit kelima belas. Penurunan suhu ini menunjukkan sistem bisa mengatur temperatur ruangan. Suhu sedikit meningkat menjadi 29°C antara menit kedua puluh dan ketiga puluh karena perubahan kondisi serta penggunaan humidifier dan exhaust fan. Setelah menit ketiga puluh, suhu stabil di 27°C hingga akhir percobaan.

### Pengujian Monitoring IoT

Pengujian sistem Internet of Things (IoT) bertujuan untuk menilai kemampuan sistem dalam memantau suhu dan kelembapan ruang inkubasi jamur tiram secara online. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai penghubung yang terintegrasi dengan Wi-Fi dan platform Telegram Bot. Sistem ini mengumpulkan data dari sensor DHT22/SHT31, mengolahnya dengan fuzzy logic Mamdani, dan mengirimkan informasi ke Telegram Bot. Pengguna dapat memantau kondisi secara langsung lewat smartphone. Parameter yang diuji meliputi kestabilan koneksi, keberhasilan pengiriman data, kecepatan monitoring real-time, dan notifikasi otomatis.

**Tabel 5. Pengujian Monitoring**

No	Parameter Pengujian	Hasil Pengujian
1	Koneksi Wi-Fi ESP32	Berhasil Terhubung
2	Pengiriman data ke Telegram Bot	Berhasil
3	Monitoring suhu dan kelembapan	Real-time
4	Delay pengiriman data	1-3 Detik
5	Notifikasi otomatis	Berhasil
6	Monitoring status aktuator	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 6, sistem pemantauan berbasis IoT bekerja dengan baik dalam mengirim data suhu dan kelembapan dari ruang inkubasi ke Telegram Bot. ESP32 terhubung ke Wi-Fi dan mengirimkan data sensor setiap 1 hingga 3 detik, tergantung kondisi internet. Jeda pengiriman yang singkat menunjukkan sistem ini responsif,

memungkinkan pengguna memantau situasi secara cepat. Sistem ini juga memberikan informasi tentang status aktuator seperti humidifier dan exhaust fan. Exhaust fan menyala otomatis saat suhu tinggi, sedangkan humidifier aktif saat kelembapan rendah. Notifikasi otomatis juga dikirim jika suhu dan kelembapan berada di luar rentang optimal untuk inkubasi jamur tiram. Hasil uji coba menunjukkan bahwa ESP32, sensor DHT22/SHT31, dan Telegram Bot mendukung pengawasan ruang inkubasi jamur tiram dari jauh, memudahkan pemantauan kondisi lingkungan.



**Gambar 9. Tampilan Monitoring Telegram Bot pada Sistem Inkubator Jamur Tiram**

Gambar 9 menunjukkan antarmuka Telegram Bot sebagai alat pemantauan untuk sistem inkubator jamur tiram berbasis Internet of Things (IoT). Telegram Bot memberikan informasi suhu, kelembapan, status humidifier, status exhaust fan, dan keadaan ruang inkubasi secara langsung. Data berasal dari pembacaan sensor yang diproses dengan fuzzy logic Mamdani pada mikrokontroler ESP32, memungkinkan pengguna mengawasi kondisi inkubasi jarak jauh melalui smartphone.

Hasil dan pembahasan memaparkan hasil penelitian ataupun analisis yang diperoleh. Berbagai fakta serta fenomena yang dianggap penting dapat dijabarkan lebih lanjut pada bagian ini. Setelah itu, dilanjutkan dengan pembahasan secara mendalam dengan menyebutkan temuan atau kepioniran gagasan beserta signifikansinya.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari desain, penerapan, dan pengujian sistem inkubator jamur tiram berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan metode fuzzy logic Mamdani, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Inkubator jamur tiram berhasil dibuat menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor suhu dan kelembapan DHT22/SHT31, humidifier, exhaust fan, serta Telegram Bot sebagai alat untuk pemantauan jarak jauh.
2. Sensor suhu dan kelembapan yang dipakai mampu membaca data dengan tingkat ketepatan yang baik. Pengujian menunjukkan bahwa kesalahan suhu berada di bawah 1%, sedangkan kesalahan kelembapan antara 1% sampai 2%.
3. Implementasi metode fuzzy logic Mamdani berhasil dilakukan untuk secara otomatis mengatur kondisi lingkungan di ruang inkubasi berdasarkan data suhu dan kelembapan yang diambil oleh sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat memberikan keputusan kontrol yang tepat pada beragam kondisi pengujian.
4. Sistem pemantauan yang berbasis Internet of Things (IoT) dapat mengirimkan informasi mengenai suhu, kelembapan, dan status aktuator ke Telegram Bot secara langsung dengan jeda pengiriman sekitar 1–3 detik.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu menjaga kondisi suhu dan kelembapan di ruang inkubasi tetap dalam batas yang sesuai untuk mendukung pertumbuhan miselium jamur tiram.

## DAFTAR PUSTAKA

Aminah, R. I. S., Hawalid, H., & D. (2020). Budidaya jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) sebagai upaya perbaikan gizi dan meningkatkan pendapatan keluarga. *ALTIFANI*.

*International Journal of Community Engagement*, 1(1), 31–35.

Budiarto, S. P., Sumitro, A. H., & Taufiq, M. (2024). Intelligent system design for oyster mushroom cultivation using Mamdani fuzzy inference with Internet of Things (IoT). *International Journal of Engineering Continuity*, 3(2), 86–104.

Fitriawan, H., Cahyo, K. A. D., Purwiyanti, S., & Alam, S. (2020). Pengendalian suhu dan kelembapan pada budidaya jamur tiram berbasis IoT. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9, 28–37.

Irwanto, F., Hasan, U., Lays, E. S., Croix, N. J. D. L., Mukanyiligira, D., Sibomana, L., & Ahmad, T. (2024). IoT and fuzzy logic integration for improved substrate environment management in mushroom cultivation. *Smart Agricultural Technology*, 8, Article 100427. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100427>

Mulyanto, Y., Idifitriani, F., Susanto, E. S., & Sulastri. (2023). Implementasi sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) pada rumah budidaya jamur tiram. *Digital Transformation Technology*, 3(2), 871–878.

Muttaqi, B., N., & Ningsih, P. W. (2024). Penerapan logika fuzzy Mamdani dalam sistem penyiraman cerdas untuk pertanian. *Generation Journal*, 8(2), 111–120.

Prasetyo, A., Setyawan, M. B., Litanianda, Y., S., & Masykur, F. (2022). Fuzzy method design for IoT-based mushroom greenhouse controlling. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 6(1), 81–91.

Pratama, I. S. P., S., & Agung, M. Z. (2023). Temperature and humidity control system with long range in mushroom barn using fuzzy logic. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 16(2), 93–102.

R., & Inayah, R. (2025). Sistem monitoring dan kontrol suhu dan kelembapan

- kumbung jamur berbasis IoT dengan metode fuzzy logic. *Jurnal RISTER: Riset Sistem Cerdas*, 2(1), 31–35.
- Rahman, R. A., & Muskhir, M. (2021). Monitoring pengontrolan suhu dan kelembaban kumbung jamur tiram. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 2(2), 266–272.
- Saputra, C., Setiawan, R., & Arvita, Y. (2022). Penerapan sistem kontrol suhu dan monitoring serta kelembaban pada kumbung jamur tiram berbasis IoT menggunakan metode fuzzy logic. *Jurnal Sains dan Informatika*, 8(2), 116–126.
- Sastra, I., Ariessaputra, S., & Sasongko, S. M. A. (2023). Rancang bangun sistem monitoring dan kontrol budidaya jamur tiram berbasis Internet of Things (IoT). *JEITECH – Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 1(2), 61–69.
- Sugiritno, H., & Irawan, D. (2024). Sistem monitoring kelayakan kandang dan air minum otomatis peternakan kambing berbasis web. *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika (E-Link)*, 19(2), 255–260.  
<https://doi.org/10.30587/e-link.v19i2.9239>
- Triono, E. (2020). Budidaya jamur tiram dan pengolahannya sebagai upaya meningkatkan ekonomi kreatif Desa Kaulon. *Jurnal Karinov*, 3(2), 64–68.
- Wibowo, Y., Prasetyadana, F. E., & Suryadharma, B. (2021). Implementasi monitoring suhu dan kelembaban pada budidaya jamur tiram dengan IoT. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 10(3), 380–391.
- Zulkarnain, M. R., & Irawan, D. (2024). Sistem monitoring dan pendeteksi kebersihan udara pada kandang peternakan sapi berbasis Internet of Things (IoT). *Elkom: Jurnal Elektronika dan Komputer*, 17(2), 567–579.  
<https://doi.org/10.51903/elkom.v17i2.2188>