

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Prospek budidaya jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) memiliki permintaan pasar yang terus meningkat, didorong oleh permintaan dan kesadaran konsumen akan sumber protein nabati membuat jamur tiram menjadi salah satu komoditas budidaya yang paling diminati dan berkembang pesat di dunia karena memiliki nilai ekonomis tinggi. Laporan riset oleh More, A. B. (2025) menyatakan kebutuhan pasar akan jamur tiram pada tahun 2025, mencapai nilai USD 2,1 miliar dan diproyeksikan akan tembus mencapai nilai USD 4,1 miliar pada tahun 2034 didukung oleh permintaan jamur tiram terhadap jenis produk (Jamur Tiram Abu-Abu, Jamur Tiram Putih, dan lainnya) serta pengaplikasian untuk makanan, medis ataupun produk lainnya. Namun, tantangan muncul pada proses budidaya jamur tiram yang menuntut untuk dapat menjaga kuantitas hasil panen. Fluktuasi hasil panen akibat ketidakstabilan iklim mikro dalam ruang tumbuh menjadi hambatan utama dalam proses budidaya jamur tiram.

Faktor utama keberhasilan budidaya komoditas komersial sangat bergantung pada stabilitas iklim mikro di dalam ruang kumbung, khususnya selama fase generatif (*fruiting body*). Pengendalian variabel ruang tumbuh menjadi krusial karena suhu udara optimum pertumbuhan jamur tiram berada pada rentang 20,0–25,0 °C untuk fase *fruiting body*. Pengontrolan suhu ruangan budidaya jamur tiram dilakukan secara berkala, sehingga suhu dalam ruangan tetap stabil, dikarenakan berdampak pada pertumbuhan dan perkembangan. Suhu di luar rentang optimal menyebabkan stres termal yang menghambat pembentukan *pinhead*, ketidakstabilan suhu terbukti menyebabkan jamur mengeras serta berwarna kuning yang menandakan stres fisiologis (Utami, 2022; Eteruddin dkk., 2024).

Kelembapan udara relatif berkisar antara 80,0–95,0 %RH. Penurunan kelembapan di bawah 80,0 %RH dapat menyebabkan kegagalan pembentukan *primordia* bahkan gagal panen. Kelembapan optimal pada kisaran 82,0 %RH terbukti menghasilkan produktivitas maksimal mencapai 55 kg/hari (Suswanto & Hernowo, 2024; Eteruddin dkk., 2024).

Jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) memerlukan intensitas penerangan rendah pada batas 300–500 *lux* . Intensitas penerangan sekitar 300 *lux* bertindak sebagai stimulan. Cahaya dengan intensitas terlalu rendah (0,5 *lux* atau kondisi hampir gelap) tidak memberikan stimulus yang cukup, menyebabkan tangkai tumbuh memanjang abnormal (hingga 12 cm) dengan tudung yang besar (14 cm) yang merupakan morfologi tidak ideal untuk produksi komersial (Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Teknologi Pertanian, 2018; Okon dkk., 2025).

Tantangan budidaya jamur tiram muncul ketika kumbung ditempatkan di wilayah dataran rendah tropis seperti Jabodetabek Berdasarkan analisis dinamika atmosfer resmi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk periode 2025–2026, suhu rata-rata permukaan di wilayah Jabodetabek berkisar antara 24,0°C hingga 28,0°C, dengan potensi lonjakan suhu maksimum harian yang dapat mencapai 33,0°C–34,0°C (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika [BMKG], 2025). Kelembapan harian yang dapat turun hingga di bawah 60,0 %RH pada siang hari serta suhu udara yang dapat naik hingga di atas 29,0 °C, menciptakan kondisi lingkungan yang tidak optimal bagi perkembangan *miselium* dan pembentukan tubuh buah jamur.

Observasi sesaat yang dilakukan di lokasi budidaya jamur tiram HanaRa Agrofarm, Kabupaten Bekasi bertujuan untuk mengamati kondisi iklim mikro dari pengelolaan kumbung (ruang budidaya) secara manual. Berdasarkan hasil observasi sesaat pada tanggal 16 Juli 2025 pukul 10:00 WIB, parameter suhu mikro ruang budidaya mencapai 30,4 °C (melebihi batas atas suhu optimal sebesar +5,4 °C). Sebaliknya, tingkat kelembapan udara turun hingga mencapai 73 %RH (berada di bawah ambang batas minimum optimal sebesar -7 %RH) dan intensitas penerangan yang didapat hanya menyentuh angka 4 *lux* (berada di bawah ambang batas minimum optimal sebesar -296 *lux*).

Data lapangan menunjukkan rekayasa bangunan kumbung konvensional ataupun pengelolaan ruang budidaya secara manual belum mampu mempertahankan parameter suhu, kelembapan dan intensitas penerangan dalam rentang parameter yang optimal untuk kebutuhan budidaya jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*). Sebagai solusi alternatif, peneliti melakukan riset dan membangun sebuah sistem berskala prototipe mengenai sistem pemantauan dan pengendalian

lingkungan berbasis *Internet of Things* (IoT). Beberapa penelitian relevan telah dilakukan berkaitan dengan pengembangan rancang bangun ruang pertumbuhan jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan kontrol suhu, kelembapan, dan intensitas penerangan. Penelitian relevan pertama dilakukan oleh Sulasmoro dkk., (2024) dengan judul “Analisis Kinerja Sensor DHT22 Dan Sensor LM35 Pada Suhu Ruangan Server”. Hasil penelitian menunjukkan sensor DHT22 lebih akurat dibandingkan dengan sensor suhu LM35, dimana tingkat akurasi DHT22 94,69% sedangkan LM35 71,80%.

Penelitian relevan kedua dilakukan oleh Hidayat & Broto, (2025) dengan judul “Analisis Karakteristik Sensor BH1750 Berbasis Mikrokontroler pada Pengukuran Intensitas penerangan”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor BH1750 memiliki respons yang linear terhadap peningkatan intensitas penerangan dengan nilai akurasi maksimum mencapai 92,28% dibandingkan dengan *lux* meter standar non-kalibrasi serta nilai presisi sebesar 95,17%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor BH1750 layak digunakan sebagai alternatif *lux* meter digital berbiaya rendah untuk pemantauan penerangan berbasis *Internet of Things* (IoT).

Penelitian relevan ketiga dilakukan oleh Erdani & Ramdani, (2024) dengan judul “*Data Logger* Suhu dan Kelembapan Relatif Udara dengan *Timestamp* Berbasis *Network Time Protocol* (NTP)”. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan NTP memastikan sinkronisasi waktu yang akurat dengan server waktu global untuk kepastian *timestamp* pada setiap data hasil pengukuran.

Penelitian keempat dilakukan oleh (Kadri dkk., 2026) dengan judul “Rancang Bangun Purwarupa Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Pada *Speedboat* Tenaga Surya”. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan *duty cycle* PWM dari 10% hingga 80% meningkatkan tegangan motor dari 1,2 V DC menjadi 10,2 V DC dan kecepatan dari 761,6 RPM menjadi 7.664,4 RPM.

Penelitian kelima dilakukan oleh (Harris dkk., 2022) dengan judul “Perancangan Sistem Kontrol Suhu dan *Monitoring* Serta Kelembapan Kumbung Jamur Tiram Menggunakan *Mist maker ultrasonic* Berbasis IoT (*Internet of Things*)”. Hasil penelitian pada miniatur kumbung berukuran 70 cm × 40 cm × 50 cm menunjukkan bahwa penggunaan *mist maker ultrasonic* dan kipas DC berbasis

ambang batas 23,0 °C mampu menurunkan suhu dari 34,0 °C menjadi 28,0 °C dalam 10 menit pertama, serta mampu mempertahankan suhu rata-rata pada 24,0–26,0 °C.

Meskipun kelima penelitian terdahulu telah memberikan kontribusi, masih terdapat celah penelitian (*research gap*) yang dapat dikembangkan. Penelitian oleh Sulasmoro dan kawan-kawan pada tahun 2024, Hidayat dan Broto pada tahun 2025, Erdani dan Ramdani pada tahun 2024, serta Kadri dan kawan-kawan pada tahun 2026 masih berfokus secara parsial pada kalibrasi sensor, pencatatan data statis, maupun kendali motor DC di luar ekosistem budidaya jamur. Sementara penelitian oleh Harris dan kawan-kawan pada tahun 2022 yang berfokus pada kumbung jamur tiram hanya menerapkan kendali satu arah berupa pendinginan dan pelembapan tanpa kendali dua arah, serta belum memanfaatkan sinkronisasi waktu jaringan *Network Time Protocol* untuk otomasi sirkulasi dan penerangan.

Celah penelitian terdahulu melandasi pengembangan sistem kontrol otomatis dua arah berbasis histeresis pada boks prototipe berbahan triplek 8 mm dengan dimensi total 47 cm x 40 cm x 40 cm, yang memiliki ruang pertumbuhan dalam (*internal chamber*) berbahan *styrofoam* berdimensi 30,8 × 30,8 × 12,3 cm. Mekanisme aktuator diimplementasikan melalui kontrol dua arah berpasangan, yakni kombinasi elemen pendinginan aktif (Peltier TEC-12706 dan kipas pendingin) serta kipas *inhaust* dan *exhaust* untuk pertukaran udara luar yang lebih hangat (pemanas pasif) pada variabel suhu. sistem pengabutan aktif (*mist maker ultrasonic*) dan dehumudifikasi menggunakan kipas pendingin untuk variabel kelembapan udara. Batasan nilai target (*setpoint*) operasional pada boks prototipe dikondisikan pada rentang suhu siang (22,0–24,0 °C), suhu malam (20,0–22,0 °C), kelembapan udara (80,0–90,0 %RH), serta intensitas penerangan (300–400 *lux*). Penetapan rentang *setpoint* yang lebih sempit dipilih sebagai batas aman (*safety margin*) untuk mengompensasi penundaan (*delay*) respons termal dan kelembapan pada ruang prototipe, serta mencegah fluktuasi parameter lingkungan yang akan dikondisikan agar tidak melewati ambang batas bawah maupun batas atas dari kondisi lingkungan ideal yang direkomendasikan.

Selain kendali histeresis, diterapkan logika pewaktuan aktivasi sistem berbasis server *Network Time Protocol* (NTP) dengan kombinasi perhitungan

waktu lokal `millis()` untuk mengatur jadwal sistem penerangan terjadwal (pukul 06:00–18:00 WIB) serta jadwal sistem sirkulasi terjadwal (menit ke-05 hingga menit ke-20) untuk pergantian udara baru. Pada sistem penerangan terjadwal, tingkat intensitas penerangan lampu LED strip diatur melalui nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) tetap yang dikonfigurasi pada program, sedangkan penggunaan sensor BH1750 difungsikan hanya sebagai fungsi *monitoring* intensitas penerangan secara *real-time*. Sistem dilengkapi dengan LCD TFT 2,4 inci sebagai *monitoring* lokal serta Telegram sebagai *monitong* jarak jauh melalui Telegram Bot API. Guna membatasi ruang lingkup penelitian pada ranah rekayasa sistem tertanam (*embedded system*), variabel biologis luar seperti kadar gas karbon dioksida (CO₂), kandungan nutrisi media tanam (baglog), kualitas sterilisasi pembibitan, serta kontaminasi penyakit pada media jamur ditetapkan sebagai faktor yang tidak dikendalikan.

Urgensi pengembangan ditinjau dari bidang teknik elektronika berfokus pada pemanfaatan sistem tertanam dan instrumentasi digital. Pembahasan ditekankan pada aspek integrasi sirkuit pengolah data mikrokontroler ESP32, kalibrasi sensor (DHT22 dan BH1750), pengendalian saklar elektronik menggunakan modul MOSFET D4814, perancangan antarmuka visual grafik lokal, serta perancangan protokol komunikasi berbasis *Internet of Things* (IoT).

Kondisi riil di lapangan menunjukkan bahwa pemantauan manual yang tidak kontinu, ketiadaan rekam data historis, serta keterlambatan respons tindakan pembudidaya menjadi akar penyebab tidak stabilnya parameter iklim mikro di dalam kumbung. Keterbatasan pengelolaan budidaya jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) secara manual melandasi pentingnya sebuah solusi otomasi dan *monitoring*, melalui penelitian “Rancang Bangun Ruang Pertumbuhan Jamur Tiram Berbasis *Internet of Things* (IoT) Dengan Kontrol Suhu, Kelembapan, dan Intensitas Penerangan” yang mengintegrasikan kendali aktuator otomatis berbasis histeresis dan pewaktuan serta dilengkapi dengan sistem *monitoring* ganda. Implementasi rekayasa perangkat keras dan perangkat lunak diharapkan dapat memberikan rancangan awal kontrol lingkungan skala laboratorium, sekaligus dapat menjadi bagian dari pengembangan teknologi untuk otomatisasi kumbung jamur tiram pada skala yang lebih besar di masa mendatang.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi masalah yang melatarbelakangi penelitian sebagai berikut:

1. Ketidakstabilan parameter suhu, kelembapan udara, dan intensitas penerangan pada kumbung akibat fluktuasi iklim dataran rendah Jabodetabek selama fase *fruiting body* berpotensi mengganggu ketercapaian batas iklim ideal bagi pertumbuhan biologis jamur tiram.
2. Risiko kesalahan operasional (*human error*) yang masih mengandalkan perkiraan subjektif pembudidaya semata. Praktik manual menyebabkan aktivitas penyiraman tidak terjadwal, pengukuran parameter ruang tumbuh tidak rutin, serta munculnya keterlambatan respons ketika terjadi fluktuasi cuaca ekstrem.
3. Ketiadaan rekam data historis parameter lingkungan secara berkala dan dokumentasi data menyulitkan pembudidaya dalam menganalisis serta mengevaluasi secara objektif faktor penyebab kegagalan pertumbuhan jamur tiram, seperti gejala *pinhead* kerdil, menguning, ataupun layu.
4. Keterbatasan fisik dan waktu pembudidaya untuk melakukan pemantauan serta pengendalian iklim mikro ruang kumbung selama 24 jam di lokasi secara langsung, menuntut tersedianya mekanisme pemantauan dan kendali otomatis.

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam penelitian, agar tidak menyimpang dari tujuan yang akan dicapai pembahasan masalah dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Objek pengujian dibatasi pada boks prototipe berbahan triplek 8 mm dengan dimensi luar 47 cm x 40 cm x 40 cm, yang memiliki ruang pertumbuhan di bagian dalam (*internal chamber*) berbahan *styrofoam* berdimensi 30,8 × 30,8 × 12,3 cm untuk fase *fruiting body*. Boks pengendalian digunakan khusus untuk pengujian skala terbatas laboratorium.
2. Batasan target parameter pengendalian mencakup rentang suhu siang (22,0–24,0 °C), suhu malam (20,0–22,0 °C), kelembapan udara (80,0–90,0 %RH),

serta intensitas penerangan (300–400 *lux*) diterapkan sebagai acuan kerja sistem kendali otomatis.

3. Perangkat sensor dibatasi pada penggunaan modul sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, serta modul sensor BH1750 untuk pemantauan intensitas penerangan. Sensor BH1750 difungsikan murni untuk pemantauan tingkat cahaya dan tidak digunakan sebagai umpan balik kendali otomatis.
4. Pusat pengolah data menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan tampilan antarmuka lokal berupa LCD TFT 2,4 inci. Pemantauan jarak jauh memanfaatkan layanan Telegram Bot pada aplikasi Telegram.
5. Aktuator yang digunakan dibatasi pada lima jenis perangkat, yaitu modul Peltier TEC-12706, kipas pendingin *heatsink*, kipas sirkulasi udara luar (*inhaust* dan *exhaust*), *mist maker ultrasonic*, serta LED strip. Seluruh beban aktuator dikendalikan menggunakan saklar elektronik modul MOSFET D4814.
6. Logika pemrograman mikrokontroler mencakup tiga fungsi utama, yaitu sistem penerangan terjadwal, sistem sirkulasi terjadwal, serta pengendalian suhu dan kelembapan berbasis kendali histeresis. Sistem penerangan beroperasi pada pukul 06:00–18:00 WIB berbasis nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) tetap, sedangkan sistem sirkulasi aktif secara berkala pada menit ke-05 hingga menit ke-20 setiap jamnya.
7. Komunikasi data dan sinkronisasi waktu awal via server *Network Time Protocol* (NTP) membutuhkan koneksi Wi-Fi. Apabila jaringan internet terputus, fungsi pemantauan Telegram akan terhenti, namun sistem pengendalian otomatis lokal tetap berjalan dengan menghitung acuan waktu menggunakan fungsi `millis()`.
8. Rancang bangun prototipe tidak dilengkapi dengan sirkuit atau baterai cadu daya cadangan (*backup power*). Oleh karena itu, pengujian sistem tidak dilakukan pada kondisi listrik padam.
9. Pengujian tidak mengukur maupun mengendalikan variabel biologis luar seperti kadar gas karbon dioksida (CO₂), nutrisi media tanam (baglog), tingkat sterilisasi, serta kontaminasi penyakit pada jamur. Faktor-faktor tersebut ditetapkan sebagai variabel luar yang tidak dikendalikan oleh sistem instrumen.

10. Ruang lingkup pengujian dibatasi pada uji fungsionalitas komponen, uji akurasi pembacaan sensor setelah kalibrasi, uji respon kerja aktuator, serta pengamatan pertumbuhan fisik biologis secara deskriptif pada tiga buah baglog jamur. Pengamatan membandingkan satu baglog di dalam boks otomatis, satu baglog dengan penyemprotan manual 1 sampai 2 kali sehari, dan satu baglog tanpa perlakuan tambahan.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan permasalahan dalam penelitian adalah:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem *monitoring* serta kontrol otomatis suhu, kelembapan, dan intensitas penerangan ruang budidaya jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT)?
2. Bagaimana menguji sistem *monitoring* serta kontrol otomatis suhu, kelembapan, dan intensitas penerangan ruang budidaya jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT)?
3. Bagaimana mengamati karakteristik pertumbuhan fisik objek jamur tiram pada fase *fruiting* setelah mendapatkan pengendalian iklim mikro ruangan terkontrol?

1.5. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan masalah yang telah dirumuskan dan diidentifikasi, maka tujuan penelitian adalah:

1. Merancang dan merealisasikan rancang bangun ruang boks prototipe berbahan triplek 8 mm dengan dimensi total luar $47 \times 40 \times 30$ cm dan ruang pertumbuhan dalam (*internal chamber*) berbahan *styrofoam* berdimensi $30,8 \times 30,8 \times 12,3$ cm berbasis mikrokontroler ESP32, yang menjalankan fungsi sistem penerangan terjadwal, sistem sirkulasi terjadwal, serta pengendalian suhu dan kelembapan berbasis kendali histeresis.
2. Menguji kinerja teknis fungsional sistem yang mencakup pengujian akurasi

pembacaan sensor, ketepatan respons kerja aktuator, persentase ketercapaian batas target (*setpoint*) suhu siang (22,0–24,0 °C), suhu malam (20,0–22,0 °C), kelembapan udara (80,0–90,0 %RH), dan intensitas penerangan (300–400 *lux*), serta keandalan pemantauan lokal pada LCD TFT 2,4 inci dan pemantauan jarak jauh via Telegram Bot API pada aplikasi Telegram.

3. Mengamati karakteristik perkembangan fisik jamur tiram secara deskriptif dari fase *primordia* hingga fase panen pada satu sampel media tanam (*baglog*) sebagai data observasi pendukung tanpa melakukan pengujian efektivitas pertumbuhan biologis secara statistik.

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain:

1. Manfaat Teoritis

- a) Bagi Ranah Pendidikan Teknik Elektronika: Memberikan kontribusi ilmiah mengenai penerapan sirkuit terintegrasi dengan menggabungkan pembacaan sensor, penggunaan *driver* penggerak atau saklar otomatis aktuator, pemrosesan data mikrokontroler, sistem kendali berbasis histeresis, serta sistem komunikasi data nirkabel berbasis *Internet of Things* (IoT).
- b) Bagi Peneliti Selanjutnya: Menjadi referensi awal pengembangan sistem kendali iklim mikro jamur tiram yang dapat menjadi rujukan awal untuk dikembangkan lebih lanjut, baik untuk pengujian dengan jumlah media tanam (*baglog*) yang lebih banyak, integrasi parameter gas karbon dioksida (CO₂), sistem kontrol nutrisi otomatis, penambahan sirkuit daya, maupun pengujian lapangan pada skala kumbung yang sebenarnya.
- c) Bagi Peneliti: Sebagai sarana untuk mengimplementasikan ilmu pengetahuan, baik secara teori maupun praktik, yang telah diperoleh selama masa perkuliahan.

2. Manfaat Praktis

- a) Bagi Pembudidaya: Hasil penelitian dapat menjadi referensi awal

mengenai penerapan teknologi otomatisasi lingkungan mikro pada budidaya jamur tiram. Namun, sistem masih berupa prototipe sehingga memerlukan pengembangan dan pengujian lebih lanjut sebelum diterapkan pada kumbung atau ruang pertumbuhan yang sebenarnya.

- b) Bagi Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika: Menjadi contoh penerapan sistem *monitoring* dan pengendalian parameter lingkungan skala prototipe berbasis IoT, yang dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu pembelajaran interaktif pada mata kuliah elektronika terapan maupun sistem kendali.
- c) Bagi Institusi Pendidikan: Menjadi contoh pembuktian aplikasi metode pengembangan sistem Model V dalam menyelaraskan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak untuk kebutuhan pemantauan serta pengendalian parameter lingkungan mikro pada ruang uji berskala prototipe secara objektif.

