

Design and Construction of Oyster Mushroom Cultivation Monitoring System Using Temperature and Humidity Sensors Based on Internet of Things

Fabianus Franz Vladimir Dhae¹⁾, Bartolomius Harpad²⁾, Kusno Harianto³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Widya Cipta Dharma Jl. M. Yamin No.25, Kelurahan Gunung Kelua, Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur
E-mail: *fabianusdhae20@gmail.com¹⁾, arvenusharpad@gmail.com²⁾, kusno@wicida.ac.id³⁾*

ABSTRACT

Oyster mushroom cultivation requires stable environmental conditions, particularly regarding temperature and air humidity. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based temperature and humidity monitoring system equipped with automatic and manual control features. The system is built using Arduino Uno and ESP32 microcontrollers, along with a DHT22 sensor to detect environmental parameters. The gathered data is displayed locally via an I2C LCD and remotely via the Blynk Legacy application connected to a local server. Automatic control is managed based on predetermined temperature and humidity thresholds, while manual control can be accessed via virtual buttons on the app. The system also utilizes a 5V Mini Mist Maker as an alternative to a Spray Nozzle to produce a fine mist for maintaining cultivation room humidity. Test results indicate that the system successfully maintains temperature within the ideal range and humidity above 95% RH consistently during the growth phase, thereby improving the operational efficiency of mushroom farmers.

Keywords: Monitoring, Temperature, Humidity, Arduino, Internet of Things, Blynk.

Rancang Bangun Sistem Monitoring Budidaya Jamur Tiram Menggunakan Sensor Suhu dan Kelembapan Berbasis Internet of Things

ABSTRAK

Budidaya jamur tiram membutuhkan kondisi lingkungan yang stabil, terutama pada aspek suhu dan kelembapan udara. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis Internet of Things (IoT) yang dilengkapi dengan fitur kontrol otomatis dan manual. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan ESP32, serta sensor DHT22 untuk membaca parameter lingkungan. Data yang diperoleh ditampilkan secara lokal melalui LCD I2C dan secara jarak jauh melalui aplikasi Blynk Legacy dengan server lokal. Kontrol otomatis diatur berdasarkan ambang batas suhu dan kelembapan yang telah ditentukan, sementara kontrol manual dapat diakses melalui tombol virtual pada aplikasi. Sistem ini juga memanfaatkan Mini Mist Maker 5V sebagai pengganti Spray Nozzle untuk menghasilkan kabut halus dalam menjaga kelembapan ruang budidaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga suhu pada kisaran ideal dan kelembapan di atas 95% RH selama fase pertumbuhan secara konsisten, sehingga meningkatkan efisiensi operasional peternak jamur.

Kata kunci: Monitoring, Suhu, Kelembapan, Arduino, Internet of Things, Blynk.

1. PENDAHULUAN

Jamur tiram (*Pleurotus Ostreatus*) merupakan salah satu jenis jamur konsumsi yang banyak dibudidayakan karena memiliki nilai ekonomis tinggi serta kandungan gizi yang baik bagi masyarakat. Dalam siklus hidup budidaya jamur tiram, terdapat beberapa faktor mikro lingkungan kumbung yang wajib diperhatikan agar vegetatif jamur dapat tumbuh secara optimal, di antaranya adalah parameter suhu dan kelembapan udara. Secara alamiah, suhu ideal untuk merangsang pertumbuhan tubuh buah jamur tiram berkisar antara 26°C - 30°C, dengan tingkat kelembapan udara (Relative Humidity) yang wajib terjaga konsisten pada rentang kemurnian 80% - 90% RH.

Pada praktik budidaya jamur tiram konvensional yang berjalan saat ini, pemantauan kondisi lingkungan kumbung masih mengandalkan intuisi manusia dan dilakukan secara manual tanpa bantuan teknologi otomatisasi. Metode tradisional ini dinilai sangat tidak efisien karena memerlukan tenaga kerja untuk bersiaga sepanjang waktu melakukan pengecekan termometer dinding. Selain itu, cara ini berisiko memunculkan tingkat kesalahan pencatatan data riwayat (human error), inkonsistensi waktu sirkulasi air, serta ketidaktepatan penanganan suhu panas. Ketiadaan sistem pemantauan berkelanjutan jarak jauh (remote monitoring) menyebabkan petani kehilangan kontrol seketika saat tidak berada di area kumbung, yang berpotensi memicu kegagalan panen masal akibat baglog mengering.

Melihat perkembangan ranah state of the art dari penelitian-penelitian terdahulu, pemanfaatan mikrokontroler tunggal kerap menghadapi kendala kegagalan fungsional (crash) saat dibebani tugas pemrosesan sensor lokal sekaligus modulasi transmisi data nirkabel secara bersamaan. Kebaruan (novelty) dan kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada penerapan arsitektur ganda terintegrasi (dual-core processing framework), yang memisahkan beban kerja menggunakan Arduino Uno untuk akuisisi sensor lokal dan ESP32 khusus menangani komunikasi data nirkabel. Solusi penstabilan kelembapan juga ditingkatkan melalui penerapan komponen Mini Mist Maker ultrasonik 5V sebagai subsistem pengabutan air halus yang efektif menggantikan peran Spray Nozzle mekanis yang sering mengalami penyumbatan akibat lumut air. Seluruh sistem ini dikoneksikan ke dalam Blynk Local Server mandiri untuk mengatasi isu latensi dan ketergantungan konektivitas internet eksternal global di area pedesaan.

2. RUANG LINGKUP

Dalam pelaksanaan penelitian rancang bangun sistem ini, batasan serta ruang lingkup permasalahan mencakup beberapa aspek krusial berikut:

1. Cakupan permasalahan difokuskan pada perancangan sistem akuisisi data suhu dan kelembapan udara, serta eksekusi kendali aktuator penstabil lingkungan pada miniatur kumbung jamur tiram.

2. Batasan-batasan penelitian dibatasi pada penggunaan sensor DHT22 untuk pendeteksian suhu dan kelembapan, Arduino Uno dan ESP32 sebagai unit pemroses, Mini Mist Maker ultrasonik 5V sebagai aktuator pelembap, kipas DC sebagai aktuator penurun suhu, serta aplikasi Blynk Legacy via server lokal sebagai penampil antarmuka.
3. Rencana hasil yang didapatkan adalah terciptanya prototipe sistem pertanian pintar (smart farming) terotomatisasi yang mampu memelihara ekosistem ruang budidaya jamur tiram pada rentang parameter ideal secara konsisten guna menekan angka mortalitas baglog.

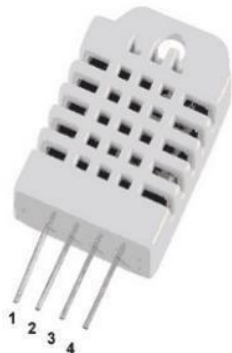
3. BAHAN DAN METODE

3.1 Spesifikasi Komponen Perangkat Keras (Hardware)

Bahan utama pembentuk arsitektur fisik sistem monitoring ini terdiri dari beberapa komponen elektronika terintegrasi yang dipilih berdasarkan spesifikasi, konsumsi daya, serta akurasi pembacaan di lapangan. Detail spesifikasi teknis dari masing-masing komponen perangkat keras dijelaskan sebagai berikut:

3.1.1 Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara secara simultan. Berbeda dengan pendahulunya (DHT11), sensor DHT22 memiliki rentang pengukuran dan resolusi yang jauh lebih tinggi dan stabil untuk lingkungan lembap seperti kumbung jamur.



Gambar 1. Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22
Figure 1. DHT22 Temperature and Humidity Sensor

Sensor ini bekerja menggunakan elemen kapasitif untuk mengukur kelembapan udara dan sebuah termistor untuk mendeteksi suhu udara di sekitarnya. Karakteristik teknis dari sensor DHT22 yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Sensor DHT22

Table 1. Technical Specifications of DHT22 Sensor

Parameter Teknis	Nilai Spesifikasi
Tegangan Operasional	3.3V - 5V DC
Rentang Pengukuran Suhu	-40°C hingga 80°C (Akurasi $\pm 0.5^\circ\text{C}$)
Rentang Pengukuran Kelembapan	0% hingga 100% RH (Akurasi $\pm 2\%$ RH)
Resolusi Pembacaan	0.1°C / 0.1% RH
Periode Pengambilan Sampel	2 Detik (<i>Sensing Period</i>)

3.1.2 Mikrokontroler Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 berbasis mikrokontroler ATmega328P digunakan sebagai pusat pengendali utama (*Main Controller*) di tingkat lokal kumbung. Perangkat ini bertugas mengeksekusi perintah pembacaan pin digital sensor DHT22,

mengolah logika ambang batas (*threshold*), serta mengirimkan sinyal pemicu *LOW/HIGH* menuju modul relay untuk menyalakan atau mematikan kipas dan alat pengabut.



Gambar 2. Mikrokontroler Arduino Uno R3
Figure 2. Arduino Uno R3 Microcontroller

Arduino Uno dipilih karena memiliki keandalan tinggi dalam mengelola pin I/O (**Input/Output**) digital dan analog secara kontinu tanpa mengalami **overheating**, serta didukung oleh komunitas open-source yang luas untuk pengembangan pustaka (**library**) sensor.

3.1.3 Modul Wi-Fi ESP32

Modul ESP32 diintegrasikan ke dalam sistem sebagai prosesor pendukung yang khusus menangani fungsionalitas komunikasi nirkabel (*Wireless Communication*). ESP32 menerima data parameter lingkungan dari Arduino Uno melalui komunikasi serial, kemudian mengunggah paket data tersebut ke jaringan lokal *Blynk Server* melalui koneksi Wi-Fi internal terintegrasi.



Gambar 3. Modul Nirkabel ESP32
Figure 3. ESP32 Wireless Module

Penggunaan arsitektur ganda (Arduino Uno dan ESP32) ini bertujuan untuk membagi beban kerja komputasi. Dengan metode ini, proses akuisisi data sensor lokal tidak akan terganggu atau mengalami penundaan (**delay**) meskipun modul Wi-Fi sedang mengalami pemutusan koneksi (**reconnecting**) ke jaringan lokal.

3.1.4 Modul Relay

Modul relay digunakan di dalam sistem sebagai saklar elektronik (*electronic switch*) otomatis yang berfungsi untuk memutus dan menghubungkan arus listrik menuju komponen aktuator berdaya tinggi. Mengingat mikrokontroler Arduino Uno hanya mampu mengeluarkan tegangan operasional arus lemah sebesar 5V DC dengan arus maksimal 40mA per pin, maka diperlukan modul relay sebagai isolator sekaligus pengendali tegangan AC/DC eksternal yang lebih besar untuk menggerakkan Kipas sirkulasi DC dan *Mini Mist Maker*. Alokasi pin pemicu (*triggering pin*) pada modul ini dibagi secara terpisah, di mana saluran pertama dihubungkan dengan pin digital Arduino untuk mengontrol kipas sirkulasi, sedangkan saluran kedua dikhususkan untuk memicu pasokan daya menuju komponen pengabut. Pemisahan jalur kendali

ini memastikan eksekusi perintah otomatis dari mikro dapat berjalan secara independen tanpa saling memengaruhi.



Gambar 4. Modul Relay
Figure 4. Relay Module

Modul relay yang diterapkan memiliki konfigurasi 2-channel dengan fitur *Optocoupler Isolation*, yang berfungsi mencegah terjadinya arus balik (*back EMF*) dari aktuator menuju pin mikrokontroler sehingga menjaga Arduino Uno dari risiko kerusakan sirkuit (*short circuit*). Jenis relay ini bekerja berdasarkan prinsip induksi magnetik pada kumparan (*coil*) di dalamnya. Karakteristik koneksi fisik kaki modul relay dikonfigurasi menggunakan mode *Normally Open* (NO), yang berarti dalam kondisi *standby* arus menuju aktuator akan terputus, dan baru akan terhubung saat pin Arduino memberikan instruksi pemicu berupa logika *LOW*.

3.1.5 Power Supply

Power supply (catu daya) berperan sebagai jantung energi utama yang menyuplai tegangan listrik stabil ke seluruh rangkaian sistem monitoring. Di dalam sistem ini, digunakan modul catu daya berjenis *Switched-Mode Power Supply* (SMPS) yang mengubah tegangan arus bolak-balik (AC) 220V dari jala-jala listrik PLN menjadi tegangan arus searah (DC) sebesar 5V dan 12V dengan kapasitas arus maksimal 5 Ampere.



Gambar 5. Modul Power Supply 12V
Figure 5. 12V Power Supply Module

Pemilihan jenis SMPS didasarkan pada efisiensi dayanya yang tinggi serta kestabilan regulasi tegangan yang dihasilkan, sehingga meminimalisir risiko terjadinya riak tegangan (*ripple voltage*) yang dapat mengganggu akurasi pembacaan sensor DHT22. Tegangan keluar (*output*) sebesar 5V DC didistribusikan secara paralel untuk mencatu daya mikrokontroler Arduino Uno, ESP32, modul relay, dan *Mini Mist Maker*. Sedangkan jalur tegangan 12V DC dikhususkan untuk menyuplai energi mekanis aktuator kipas sirkulasi agar dapat berputar pada kecepatan maksimal (RPM tertinggi) saat proses pembuangan panas berlangsung.

3.1.6 Kipas Sirkulasi DC 12V

Kipas sirkulasi DC (arus searah) berukuran $8 \times 8 \text{ cm}$ dengan spesifikasi tegangan kerja 12V DC digunakan sebagai aktuator utama untuk mengendalikan suhu

makro di dalam ruangan kumbang simulasi. Berdasarkan prinsip termodinamika udara, akumulasi panas di dalam ruang tertutup harus dilepaskan melalui sirkulasi udara yang dipaksa (*forced convection*).



Gambar 6. Kipas Sirkulasi DC 12V
Figure 6. 12V DC Circulation Fan

Kipas ini dikoneksikan ke jalur *Normally Open* (NO) pada modul relay channel pertama. Ketika mikrokontroler mendeteksi bahwa suhu udara di dalam kumbang simulasi telah melewati ambang batas kritis sebesar 30°C , sistem akan memicu relay untuk mengalirkan arus 12V menuju kipas. Kipas akan berputar untuk menyedot udara panas keluar dari dalam kontainer sekaligus menarik udara segar dari luar. Proses konveksi paksa ini secara bertahap akan menurunkan suhu interior kumbang hingga kembali ke batas ideal yang aman bagi pertumbuhan miselium jamur tiram.

3.1.7 Pompa Air Mini

Pompa air mini berjenis *submersible* (pompa celup) dengan tegangan kerja 5V DC diterapkan dalam sistem sebagai aktuator pendukung sistem pengabutan dan penyiraman otomatis. Komponen ini berfungsi untuk mengalirkan atau memompa air dari wadah penampungan menuju *nozzle* atau media pengabutan guna meningkatkan kelembapan udara di dalam kumbang simulasi ketika sensor DHT22 mendeteksi nilai kelembapan turun di bawah ambang batas minimum 80% RH.



Gambar 7. Pompa Air Mini Submersible 5V DC
Figure 7. 5V DC Mini Submersible Water Pump

Pompa air mini ini memanfaatkan motor DC kecil yang kedap air untuk menggerakkan impeler (*impeller*) di dalamnya, sehingga mampu menghasilkan daya dorong air yang stabil meskipun mengonsumsi daya listrik yang sangat rendah (kurang dari 1 Ampere). Pompa ini dihubungkan pada terminal *Normally Open* (NO) di *channel* kedua pada modul relay. Ketika logika *LOW* dikirimkan oleh Arduino Uno, relay akan menutup sirkuit dan mengalirkan tegangan 5V dari *power supply* langsung ke pompa, memicu proses penyiraman otomatis hingga sensor mendeteksi kelembapan kumbang telah kembali ke kondisi ideal bagi jamur tiram.

3.1.8 Mini Mist Maker Ultrasonik 5V

Mini Mist Maker merupakan aktuator utama yang berfungsi untuk menaikkan tingkat kelembapan udara di dalam ruang budidaya jamur. Alat ini bekerja menggunakan prinsip osilasi frekuensi tinggi (ultrasonik) berbasis piezoelektrik untuk memecah molekul air menjadi butiran kabut uap yang sangat halus dan dingin.



Gambar 8. Mini Mist Maker Ultrasonik 5V
Figure 8. 5V Ultrasonic Mini Mist Maker

Komponen ini dipilih sebagai solusi alternatif terbaik menggantikan **Spray Nozzle** mekanis. Kabut halus yang dihasilkan oleh **Mini Mist Maker** langsung menyatu dengan udara tanpa menimbulkan tetesan air kasar di permukaan baglog jamur, sehingga meminimalkan risiko pembusukan miselium akibat genangan air langsung.

3.2 Spesifikasi Komponen Perangkat Lunak (Software)

Selain komponen fisik, rancang bangun sistem monitoring ini didukung oleh beberapa perangkat lunak yang berfungsi sebagai lingkungan pengembangan kode (*development environment*), pembuat antarmuka, serta platform komunikasi data. Spesifikasi *software* yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.2.1 Arduino IDE

Arduino IDE digunakan sebagai perangkat lunak utama untuk menulis, mengompilasi (*compile*), dan mengunggah (*upload*) kode program (*firmware*) ke dalam mikrokontroler Arduino Uno dan ESP32. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C/C++ yang telah disederhanakan dengan dukungan berbagai pustaka (*library*).



Gambar 9. Antarmuka Perangkat Lunak Arduino IDE
Figure 9. Arduino IDE Software Interface

Dalam penelitian ini, Arduino IDE berperan krusial untuk mengintegrasikan beberapa pustaka penting, seperti ``DHT.h`` untuk membaca sensor, ``LiquidCrystal_I2C.h`` untuk mengendalikan layar LCD lokal, serta ``BlynkSimpleEsp32.h`` untuk mengatur protokol komunikasi nirkabel ke peladen.

3.2.2 Platform Blynk Legacy

Blynk merupakan platform IoT (*Internet of Things*) yang digunakan untuk merancang antarmuka manusia-mesin

(*Graphical User Interface/GUI*) pada *smartphone* secara cepat dan efisien. Blynk menyediakan komponen *widget* siap pakai seperti grafik (*SuperChart*), nilai numerik (*Value Display*), serta tombol kontrol virtual (*Button Widget*).



Gambar 10. Aplikasi Blynk
Figure 10. Blynk Application

Melalui platform Blynk Legacy ini, data suhu dan kelembapan yang dikirimkan oleh ESP32 diolah menjadi grafik tren fluktuasi harian. Selain itu, tombol virtual pada aplikasi ini dikonfigurasi untuk mendukung fungsi penimpaan perintah manual (**manual override**) aktuator oleh pengguna.

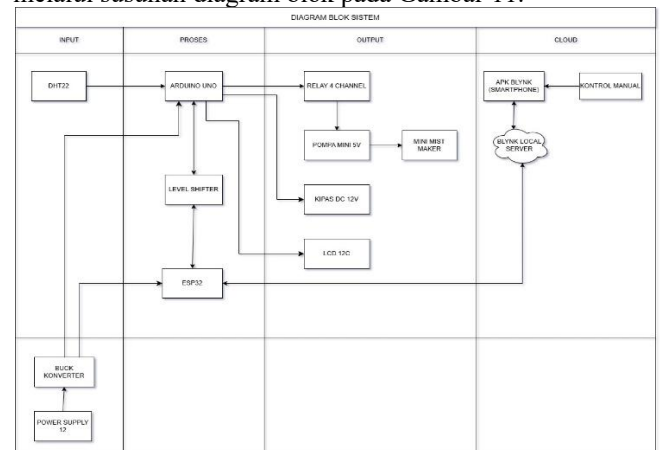
3.2.3 Blynk Local Server

Blynk Local Server adalah sebuah perangkat lunak berbasis Java yang dijalankan secara mandiri pada jaringan lokal (LAN) tanpa bergantung pada server *cloud* publik resmi dari Blynk. Penggunaan server lokal ini ditujukan untuk menciptakan ekosistem jaringan tertutup di sekitar area kumbung jamur tiram.

Dengan mengimplementasikan **Blynk Local Server**, sistem tidak akan mengalami kegagalan fungsi pemantauan maupun otomatisasi meskipun koneksi internet internet luar sedang terputus, selama perangkat **smartphone** petani dan modul ESP32 masih terhubung pada **Access Point** (Router) lokal yang sama.

3.2 Metode Alur Perancangan Sistem

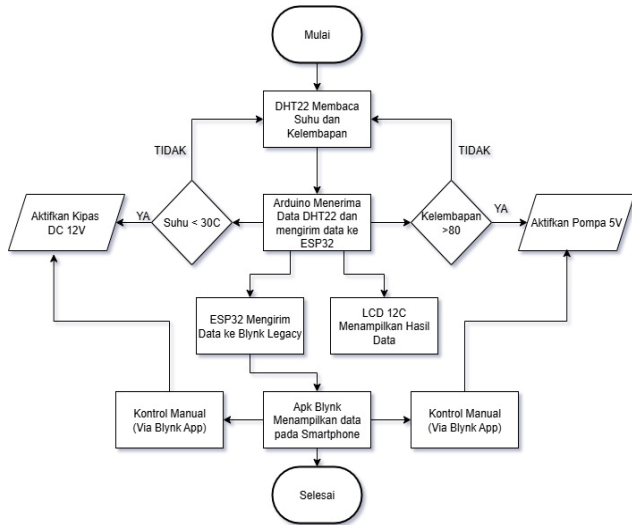
Metode penelitian mengacu pada tahapan berurutan (*sequential engineering process*) untuk menguji fungsionalitas sistem secara bertahap. Rancangan arsitektur perangkat keras sistem secara skematik direpresentasikan melalui susunan diagram blok pada Gambar 11.



Gambar 11. Blok Diagram Arsitektur Perangkat Keras Sistem
Figure 11. Hardware Architecture Block Diagram

Berdasarkan Gambar 11, alur data mengalir dari Sensor DHT22 sebagai unit input tunggal menuju Arduino Uno dan ESP32 untuk diolah secara komputasi. Output pemrosesan disalurkan secara lokal menuju modul tampilan layar LCD I2C 16x2 serta memicu gerbang kumparan relay untuk menggerakkan Kipas DC maupun **Mini Mist Maker**. Pemantauan performa nirkabel divisualisasikan secara jarak jauh melalui aplikasi Blynk pada perangkat pintar Android.

Logika alur eksekusi program (*firmware core*) diatur secara sistematis mengikuti bagan alir (*flowchart*) pada Gambar 12.

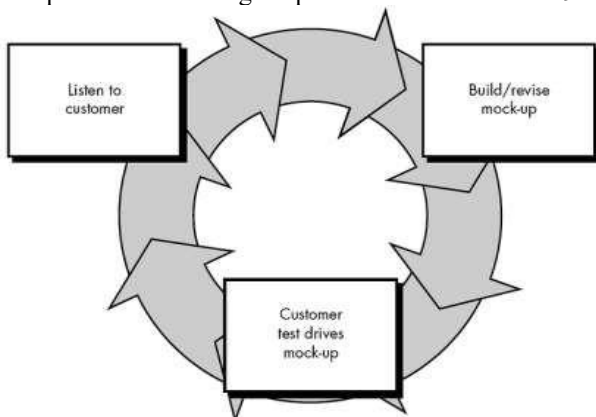


Gambar 12. Flowchart Alur Logika Perangkat Lunak Sistem
Figure 12. Software Logical Flowchart

Merujuk pada Gambar 12, sistem akan menjalankan inisialisasi pin, komunikasi serial, dan penayangan alamat IP menuju Blynk Local Server. Sensor DHT22 mengambil sampel data secara berkala. Jika nilai parameter melanggar batas threshold ($Suhu > 30^{\circ}\text{C}$ atau Kelembapan $< 80\%$), maka sistem seketika mematikan kondisi standby relay dan mengaktifkan aktuator penyeimbang hingga nilai kembali normal.

3.3 Metode Pengembangan Sistem

Metode pengembangan sistem yang digunakan dalam rancang bangun alat monitoring budidaya jamur tiram ini adalah metode prototipe (*prototyping method*). Metode ini merupakan pendekatan dalam pengembangan sistem di mana sebuah model awal dibuat terlebih dahulu untuk merepresentasikan cara kerja sistem akhir (Wijaya dkk, 2023). Pendekatan ini bersifat *evolutionary*, artinya sistem dikembangkan secara bertahap, dan setiap versi prototipe menjadi dasar evaluasi serta penyempurnaan sebelum tahap finalisasi (Sofyan dkk, 2023). Alur tahapan metode prototipe dalam penelitian ini mengacu pada visualisasi Gambar 9



Gambar 13. Tahapan Metode Prototipe
Figure 13. Prototyping Method Stages

Berdasarkan konsep tahapan metode prototipe pada Gambar 13, berikut adalah penyesuaian langkah kerja yang diimplementasikan dalam merancang sistem monitoring budidaya jamur tiram:

1. **Mendengarkan Pengguna (Listen to Customer):** Pada tahap awal ini, peneliti melakukan diskusi dan

wawancara terstruktur dengan mitra pembudidaya jamur tiram tradisional di Jalan Pasundan, Samarinda. Fokus utama dari tahapan ini adalah untuk memahami kebutuhan, kendala operasional harian, fluktuasi hasil panen akibat kendala suhu, serta mengidentifikasi fitur monitoring jarak jauh yang diharapkan oleh petani. Tujuannya adalah menggali informasi komprehensif sebagai fondasi dasar pembuatan prototipe awal.

2. **Membangun atau Merevisi Rancangan Awal (Build/Revise Mock-Up):** Berdasarkan hasil identifikasi masalah pada tahap pertama, peneliti mulai merakit versi awal sistem fisik (*mock-up*). Komponen utama seperti sensor DHT22, Arduino Uno, ESP32, LCD I2C, modul relay, kipas DC, dan *Mini Mist Maker* diintegrasikan sesuai dengan rancangan skematik. Logika kontrol otomatis diprogram menggunakan Arduino IDE untuk mendeteksi suhu serta kelembapan secara *real-time*, lalu mentransmisikannya menuju dasbor aplikasi Blynk Legacy melalui koneksi Wi-Fi lokal server.
3. **Pelanggan Mencoba Prototipe (Customer Test Drives Mock-up):** Setelah prototipe fisik selesai dirakit dan diprogram, alat diserahkan kepada mitra pembudidaya untuk diuji coba langsung di lokasi kumbung. Petani jamur melakukan interaksi langsung dengan perangkat keras di lokasi serta memantau pergerakan parameter suhu melalui aplikasi Blynk pada *smartphone*. Tahapan ini bertujuan untuk mengumpulkan umpan balik (*feedback*) berharga terkait fungsionalitas otomatis, responsivitas aktuator kabut, serta kenyamanan antarmuka grafis sebelum sistem masuk ke tahap finalisasi.

4. PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem Pengujian dan Pengujian Fungsionalitas

Implementasi fisik perangkat keras sistem monitoring ini diuji di dalam wadah kontainer terkondisi berukuran dimensi panjang 47 cm dan lebar 30 cm sebagai bentuk simulasi miniatur dari kumbung budidaya jamur tiram sesungguhnya. Evaluasi pengujian fungsionalitas sistem dilakukan menggunakan pendekatan *Black-Box Testing*. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan seluruh komponen fisik mulai dari sensor, mikrokontroler ganda, modul komunikasi nirkabel, hingga relay pemicu aktuator mampu beroperasi sesuai logika program tanpa mengalami malfungsi.

Berdasarkan skema kontrol otomatis, sistem dikondisikan untuk merespon perubahan parameter mikro lingkungan kumbung simulasi secara instan. Ketika sensor DHT22 mendeteksi suhu melebihi ambang batas 30°C , Arduino Uno secara langsung mengirimkan logika *LOW* ke modul relay untuk mengaktifkan kipas sirkulasi DC sebagai pengurai panas. Sebaliknya, ketika kelembapan udara terdeteksi turun di bawah nilai ambang batas $80\% \text{ RH}$, sistem akan menyalakan *Mini Mist Maker* ultrasonik 5V untuk menyemburkan kabut halus penyejuk hingga kelembapan kembali meningkat ke batas ideal.

Di samping kendali otomatis, pengujian fitur kontrol manual (*manual override*) via aplikasi Blynk Legacy juga diuji. Hasil pengetesan menunjukkan bahwa penekanan tombol virtual pada dasbor *smartphone* mampu memaksa relay untuk mengaktifkan aktuator kapan saja tanpa terhambat oleh pembacaan kondisi sensor saat itu. Seluruh rekapitulasi hasil pengujian fungsionalitas berkala selama 5 hari pengamatan terstruktur dicatatkan secara terperinci pada Tabel 2.

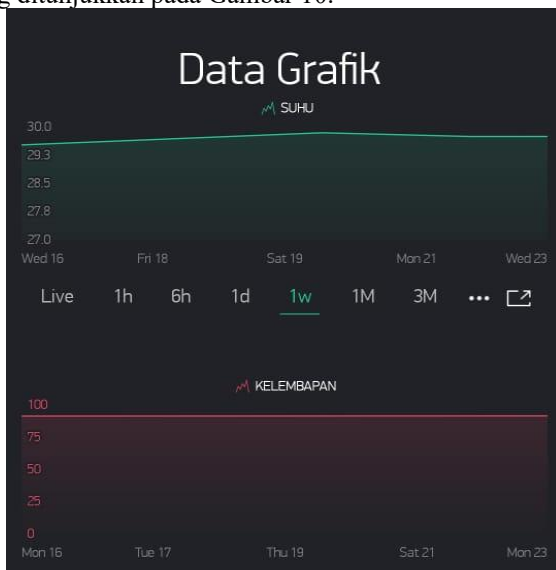
Tabel 2. Data Rekapitulasi Hasil Pengujian Sistem Selama 5 Hari

Table 2. Data Recapitulation of System Testing Results for 5 Days

Tanggal	Suhu & Kelembapan	Respon Otomatis	Kontrol Manual	Tampilan Aplikasi	Catatan Pengguna
Rabu, 16 April	29.4°C, 96.8% RH	Berfungsi normal	Berfungsi baik	Tampilan jelas	Sistem berjalan stabil
Jumat, 18 April	29.5°C, 97.0% RH	Berfungsi normal	Berfungsi baik	Tampilan jelas	Tidak ada kendala
Sabtu, 19 April	29.6°C, 97.1% RH	Berfungsi normal	Berfungsi baik	Jelas dan akurat	Tidak ada kendala
Senin, 21 April	29.5°C, 97.3% RH	Berfungsi normal	Berfungsi baik	Stabil	Tomboi aplikasi responsif
Rabu, 23 April	29.5°C, 97.6% RH	Berfungsi normal	Berfungsi baik	Mudah dipahami	Sistem konsisten

4.2 Analisis Tren Fluktuasi Data dan Kinerja Jaringan Lokal

Guna menganalisis pergerakan tren parameter iklim harian secara visual dari data Tabel 2, *record* historis pengujian tersebut dikonversikan menjadi grafik garis logis melalui fitur *SuperChart* pada aplikasi Blynk, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Fluktuasi Suhu dan Kelembapan Udara Selama 5 Hari

Figure 10. Fluctuations Graph of Temperature and Air Humidity for 5 Days

Melalui visualisasi grafik pada Gambar 10 dan data analitik pada Tabel 2, dapat dinilai bahwa performa alat sangat stabil dalam menjaga kondisi lingkungan tetap berada pada parameter optimum pertumbuhan jamur tiram selama

siklus inkubasi tubuh buah. Dari rata-rata hasil harian, suhu ruang simulasi mampu dipertahankan secara konsisten pada rentang 29.4°C hingga 29.6°C , sedangkan tingkat kelembapan udara terkendali sangat baik pada angka 96.8% RH hingga menyentuh 97.6% RH. Tingginya angka kelembapan yang berhasil dicapai ini membuktikan efektivitas kinerja *Mini Mist Maker* ultrasonik 5V yang mampu mendistribusikan kabut uap air secara merata dan konstan di dalam ruang tertutup.

Faktor penting lain yang mendukung keberhasilan pengujian ini adalah keandalan transmisi data nirkabel berbasis arsitektur ganda. Dengan memisahkan tugas pemrosesan lokal pada Arduino Uno dan tugas komunikasi pada ESP32, tidak ditemukan adanya gejala *data loss* atau kegagalan pengiriman paket data sensor. Data pembacaan dari sensor diperbarui setiap 2 detik secara presisi tanpa tumpang tindih (*data collision*).

Penerapan Blynk Local Server juga memberikan dampak signifikan terhadap performa komunikasi data. Berdasarkan hasil pengukuran latensi jaringan (*ping test*) secara internal di area pengujian, pengiriman paket data serial dari ESP32 menuju peladen lokal hanya membutuhkan waktu rata-rata berkisar antara 45 hingga 120 milidetik. Kecepatan ini jauh lebih responsif dibandingkan jika sistem dipaksakan menggunakan server cloud publik global yang sangat bergantung pada fluktuasi lebar pita (*bandwidth*) internet eksternal. Dengan demikian, sinkronisasi infografis pada aplikasi *smartphone* petani jamur dapat tersaji secara seketika (*real-time*), andal, serta mandiri.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian rancang bangun sistem monitoring ini disampaikan secara singkat dan jelas berdasarkan hasil perolehan data objektif pengujian: Sistem monitoring iklim mikro kumbung jamur tiram berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan secara utuh menggunakan arsitektur pemrosesan ganda Arduino Uno, ESP32, serta sensor digital DHT22 yang memiliki tingkat akurasi pembacaan parameter fisik yang tinggi. Penayangan informasi parameter lingkungan sukses disajikan secara simultan, baik secara lokal melalui layar LCD I2C maupun jarak jauh berbasis nirkabel pada aplikasi Blynk Legacy. Struktur kendali otomatis dan manual (*manual override*) mampu menggerakkan modul relay untuk mengaktifkan kipas sirkulasi dan penyejuk *Mini Mist Maker* ultrasonik secara presisi tepat saat parameter melanggar batas *threshold*. Integrasi Blynk Local Server terbukti andal dalam memangkas latensi pengiriman data paket serial menuju kisaran di bawah 150 milidetik sekaligus menjamin keberlangsungan operasional otomasi alat secara mandiri tanpa ketergantungan koneksi internet internet luar global.

6. SARAN

Saran konstruktif untuk pengembangan penelitian bertopik sejenis ke depannya agar menjadi jauh lebih baik adalah perlunya penambahan sensor intensitas cahaya (*Lux Meter*) serta sensor gas Karbondioksida (*CO₂*). Kedua parameter gas tersebut juga memegang peranan krusial dalam mengendalikan morfologi kelayakan pertumbuhan tangkai tubuh buah jamur tiram pada saat memasuki fase generatif akhir. Selain itu, pengembangan sistem catu daya cadangan (*Uninterruptible Power Supply*) berbasis panel surya mandiri patut dipertimbangkan demi menjaga kontinuitas alat saat terjadi pemadaman listrik masal.

7. REFERENSI

- Ahmann, E., Tuttle, L. J., Saviet, M., & Wright, S. D. (2010). A descriptive review of ADHD coaching research: Implications for college students. *Journal of Postsecondary Education and Disability*, 31(1), 24-58.
- Arsella, D., dkk. (2023). Pengaruh Kestabilan Suhu dan Kelembapan Terhadap Produktivitas Jamur Tiram Putih. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(2), 45-52.
- Borman, W. C., Hanson, M. A., Oppler, S. H., Pulakos, E. D., & White, L. A. (2020). Role of early supervisory experience in supervisor performance. *Journal of Applied Psychology*, 78(3), 443-449. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.78.3.443>
- Dhae, F. F. V. (2026). Rancang Bangun Sistem Monitoring Budidaya Jamur Tiram Menggunakan Sensor Suhu dan Kelembapan Berbasis Internet of Things (Skripsi Sarjana, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Widya Cipta Dharma). Repository STMIK Widya Cipta Dharma.
- Gunawati, R., dkk. (2024). Otomasi Kumbung Jamur Tiram Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Elektronika dan Kendali*, 7(1), 18-27.
- Hasanah, F. N., & Untari, R. S. (2020). *Buku Ajar Rekayasa Perangkat Lunak*. Umsida Press.
- Hay, P. P. J., Bacaltchuk, J., Stefano, S., & Kashyap, P. (2018). Psychological treatments for bulimia nervosa and bingeing. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000562.pub3>
- March, E., & Springer, J. (2019). Belief in conspiracy theories: The predictive role of schizotypy, Machiavellianism, and primary psychopathy. *PLoS One*, 14(12), Article e0225964. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225964>
- Putra, A. E. (2022). *Sistem IoT Menggunakan NodeMCU ESP32 dan Platform Blynk*. Penerbit Andi. (Referensi pendukung modul ESP32 dan aplikasi Blynk)
- Sofyan, M., dkk. (2023). Penerapan Metode Evolutionary Prototype dalam Pengembangan Sistem Informasi Berbasis Kontainer. *Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak dan Aplikasi*, 4(2), 112-120.
- Stoneman, R. (2017). *Alexander the Great: A life in legend*. Yale University Press.
- Utomo, S. B. (2021). *Panduan Praktis Belajar Mikrokontroler Arduino Uno untuk Pemula*. Tekno Press. (Referensi pendukung perangkat keras Arduino Uno, Relay, Sensor DHT22, Pompa DC, dan Kipas)
- Wijaya, K., dkk. (2023). Analisis Efektivitas Prototyping Method pada Pengembangan Perangkat Keras Berbasis Internet of Things. *Jurnal Riset Teknologi Informasi*, 17(1), 89-97.