IMPLEMENTASI SISTEM OTOMATIS PENYIRAMAN JAMUR TIRAM BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32 DAN DATABASE FIREBASE

Disusun Oleh:

N a m a : Abimanyu Dika Saputra

NIM : 18523259

PROGRAM STUDI INFORMATIKA – PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

IMPLEMENTASI SISTEM OTOMATIS PENYIRAMAN JAMUR TIRAM BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32 DAN DATABASE FIREBASE

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

N a m a : Abimanyu Dika Saputra

NIM : 18523259

Yogyakarta, 4 Agustus 2025

Pembimbing,

(Arrie Kurniawardhani, S.Si, M.Kom.)

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

IMPLEMENTASI SISTEM OTOMATIS PENYIRAMAN JAMUR TIRAM BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32 DAN DATABASE FIREBASE

TUGAS AKHIR

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer dari Program Studi Informatika – Program Sarjana di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 4 Agustus 2025

Tim Penguji

Arrie Kurniawardhani, S.Si, M.Kom. _____

Anggota 1

Elyza Gustri Wahyuni, S.T., M.Cs. _____

Anggota 2

Kholid Haryono, S.T., M.Kom. _____

Mengetahui,
Ketua Program Studi Informatika – Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

(Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D.)

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	:	Abimanyu Dika Saputra
NIM	:	18523259

Tugas akhir dengan judul:

IMPLEMENTASI SISTEM OTOMATIS PENYIRAMAN JAMUR TIRAM BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32 DAN DATABASE FIREBASE

Menyatakan bahwa seluruh komponen dan isi dalam tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, tugas akhir yang diajukan sebagai hasil karya sendiri ini siap ditarik kembali dan siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun.

Demikian surat pernyataan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 4 Agustus 2025

(Abimanyu Dika Saputra)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya mengucapkan puji syukur dan berterima kasih kepada Sang Pencipta, Allah SWT, atas izin dan kehendaknya-Nya selama pengerjaan tugas akhir. Terima kasih ini saya berikan kepada keluarga, teman, dan para pengajar yang telah memberikan saya ilmu dan pengalaman yang bermanfaat selama ini.

HALAMAN MOTO

Berusaha untuk mencapai hidup dalam kedamaian, ketentraman, ketenangan, dan kesehatan bagi dan bersama seluruh keluarga.

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan” (QS. Al-Insyirah: 5-6).

"Dan sesungguhnya Kami telah menjadikan gugusan bintang-bintang di langit dan Kami telah menghiasinya bagi orang-orang yang memandangnya." (Al-Hijr · Ayat 16).

"dan menganugerahkan kepadanya rezeki dari arah yang tidak dia duga. Siapa yang bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan)-nya. Sesungguhnya Allahlah yang menuntaskan urusan-Nya. Sungguh, Allah telah membuat ketentuan bagi setiap sesuatu” (At-Thalaq · Ayat 3).

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warakhmatullahi Wabarakatuh

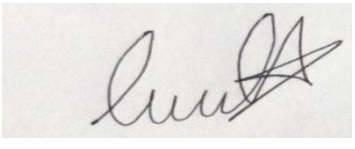
Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada sang Maha Kuasa dan Segalanya Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat dan nikmat yang diberikan selama ini. Penulis panjatkan syukur atas yang amat sangat tinggi kerana dapat menyusun dan menyelesaikan tugas akhir "IMPLEMENTASI SISTEM OTOMATIS PENYIRAMAN JAMUR TIRAM BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32 DAN DATABASE FIREBASE".

Dalam penyusunan Tugas Akhir menjadi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana di jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Penyusunan ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dosen Pembimbing Ibu Arrie Kurniawardhani, S.Si, M.Kom. yang telah membimbing penulis selama penyusunan tugas akhir.
2. Ibu Dr. Rina Mulyati, S.Psi., M.Si. yang telah membantu penulis dari sisi psikologis dalam memberikan percabangan solusi.
3. Para Dosen yang memberikan ilmu dan pengalaman kepada penulis selama perkuliahan berlangsung.
4. Keluarga yang telah bersama penulis selama ini.
5. Teman-teman saya yang menjadi tempat untuk merileksasikan pikiran.

Adapun selama penulis menyusun tugas akhir ini, penulis mengalami teknis dalam hal non ilmiah dari sisi dana sehingga penulis tidak dapat membuat perangkat dengan lebih baik. Oleh karena itu, penulis berharap untuk di masa depan, penulis dapat berinovasi dari sisi teknologi pertanian dan robotik lebih jauh lagi karena penulis ingin dapat membuat banyak hal yang dapat dimanfaatkan dan sesuai dengan kondisi negara tercinta yang sangat penulis cintai dan berharap negara tercinta penulis dapat menjadi negara maju dalam waktu dekat dan termasuk ***The Great Power in the Global Arena*** yaitu Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Yogyakarta, 1 Nopember 2017



(Abimanyu Dika Saputra)

SARI

Jamur tiram putih merupakan salah satu komoditas pertanian yang dibudidayakan oleh masyarakat di Bakalan, Ngaglik, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Budidaya ini bergantung pada kestabilan suhu dan kelembapan yang masih dikendalikan manual tanpa indikator real-time. Pertumbuhan jamur tiram memerlukan suhu pada rentang 25–30°C dan tingkat kelembapan antara 70–95%. Penelitian ini merancang sistem otomatis untuk menjaga suhu dan kelembapan optimal dalam kumbung secara efisien. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan, sementara sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi kapasitas air. Sistem mengendalikan aktuator berupa pompa air dengan pendekatan logika rule-based yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan aktual dan dual jalur penyiraman yang dikendalikan oleh katup solenoid untuk membuka dan menutup aliran air ke atas baglog. Sistem dilengkapi antarmuka web menggunakan SPIFFS dan Firebase untuk pemantauan data real-time. Pengujian sistem menunjukkan hasil dalam mempertahankan kondisi kumbung pada keadaan optimal untuk pertumbuhan jamur dan dapat menjadi solusi efisien dan terjangkau dalam mendukung produktivitas budidaya jamur tiram.

Kata kunci: jamur tiram, penyiraman otomatis, ESP32, suhu, kelembapan, Database Firebase

GLOSARIUM

Aktuator	Komponen yang bekerja berdasarkan sinyal dan perintah yang diberikan dari mikrokontroller sebagai pusat kontrol.
Anomali	Sesuatu yang menyimpang dari kebiasaan, pola, atau aturan yang umum.
Baglog	Wadah atau media tanam jamur tiram.
Homobasidiomycetes	Kelompok besar jamur yang mencakup sebagian besar spesies yang dikenal, ditandai oleh ukuran tubuh buahnya yang relatif besar dan bentuknya yang mudah dikenali.
JSON	JavaScript Object Notation adalah format file berbasis teks yang digunakan dalam pertukaran data antar server dan klien.
Katup Solenoid	keran otomatis yang bekerja dengan prinsip elektromagnetik.
Konvensional	Sesuatu yang diterima secara umum dengan pendekatan tradisional.
Kumbung	Tempat budidaya untuk merawat dan menumbuhkan jamur.
Layu	Tidak segar dan tidak layak konsumsi.
Mekanisme	Cara kerja dari suatu sistem.
Miselium	Dikenali dengan ciri akar putih yang merambat pada Baglog jamur tiram.
NoSQL	Komponen yang bekerja berdasarkan sinyal dan perintah yang diberikan dari mikrokontroller sebagai pusat kontrol.
Pinhead	Bakal jamur yang baru tumbuh dan memiliki bentuk seperti kepala peniti.
Proof-of-concept	Membuktikan bahwa solusi tersebut memungkinkan untuk dikembangkan.
Rak	Pada penelitian ini, tempat bertingkat yang digunakan untuk meletakkan baglog jamur.
REST API	Antarmuka yang digunakan dalam sistem komputer dalam bertukar informasi secara aman melalui internet.
Rule-Based	Pendekatan logika sistem yang menggunakan “IF-THEN” dalam mengambil keputusan.
Sejuk	Suasana sejuk pada penelitian ini, mengarah kepada suhu yang tepat untuk pertumbuhan jamur tiram.

Sprinkle	Pemecah air yang akan keluar dengan menggunakan alat khusus guna menjadi percikan air seperti gerimis atau hujan.
Tangkai	Pada penelitian ini, bagian yang mirip batang untuk menopang tudung buah jamur tiram.
Timestamp	Informasi waktu yang direkam dan dicatat pada sistem untuk menandakan suatu peristiwa.
Tunas	Calon buah jamur tiram.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
HALAMAN MOTO vi
KATA PENGANTAR vii
SARI viii
GLOSARIUM ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR GAMBAR xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 4
BAB II DASAR TEORI 6
2.1 Jamur Tiram 6
2.1.1 Karakteristik Jamur Tiram 6
2.1.2 Manfaat Jamur Tiram 6
2.2 Mikrokontroller ESP32 7
2.3 Firebase Realtime Database 8
2.4 Serial Peripheral Interface Flash File System (SPIFFS) 8
2.5 Teori Protokol (HTTP, REST API, WebSocket) 9
2.5.1 HTTP 9
2.5.2 HTTPS 9
2.5.3 WebSocket 10
2.6 Sensor dan Aktuator 10
2.6.1 DHT22 10
2.6.2 Pompa Air Sprayer Pump ASSY 11
2.6.3 Katup Selenoid 12

2.6.4 Fan Mini 12
2.6.5 Adaptor 13
2.6.6 LCD 20x4 14
2.6.7 L298N 14
2.6.8 Relay 15
2.6.9 Sensor Ultrasonik HC SR04 16
2.6.10 Network Time Protokol (NTP) 17
2.7 Perangkat Lunak dan Bahasa Pemrograman 17
2.7.1 Arduino IDE 17
2.7.2 JavaScript 17
2.7.3 Hypertext Markup Language (HTML) 18
2.7.4 Cascading Style Sheets (CSS) 18
2.8 Pendekatan Rule-Based 19
2.9 BlackBlox Testing 19
2.10 Penelitian Terdahulu 19
2.11 Gap Penelitian 27
2.11.1 Kontribusi Penelitian 27
2.12 Kerangka Berpikir 28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 31
3.1 Observasi Lokasi Penelitian 32
3.2 Analisis Kebutuhan 32
3.2.1 Analisis Kebutuhan Sistem 32
3.2.2 Analisis Kebutuhan Data 33
3.2.3 Kondisi Sistem 35
3.3 Penerapan Rule-Based 35
3.3.1 Algoritma Sistem 37
3.4 Diagram Alir Sistem Otomatis 38
3.5 Perancangan Sistem Otomatis 39
3.5.1 Komponen Otomatis Penyiraman jamur tiram 39
3.5.2 PIN Terhubung dengan ESP32 39
3.5.3 Perancangan Kumbung Jamur Tiram 40
3.5.4 Penerapan Sistem Otomatis 41
3.6 Diagram Arsitektur Sistem Otomatis 44
3.7 Perancangan Database 45

3.8 Perancangan Aplikasi Web....46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN....48
4.1 Gambaran Umum Sistem....48
4.2 Logika Program....48
4.3 Validasi Fungsi Sistem dengan BlackBox Testing....50
4.4 Hasil Monitoring....53
4.4.1 Hasil Monitoring Kumbung Secara Real-time....53
4.4.2 Analisis Data Real-time....55
4.5 Dokumentasi Visual Pertumbuhan Jamur Tiram....59
4.6 Implementasi dan Kinerja Sistem....62
4.7 Visualisasi monitoring sistem otomatis....65
4.7.1 Grafik garis Kelembapan Kumbung....65
4.7.2 Histogram Distribusi Kelembapan Kumbung....67
4.7.3 Grafik Pie Kelembapan Kumbung....68
4.7.4 Grafik garis Suhu Kumbung....69
4.7.5 Histogram Distribusi Suhu Kumbung....70
4.7.6 Grafik Pie Suhu Kumbung....70
4.7.7 Penelusuran Lanjutan Data Lapangan....71
4.8 Tampilan Antar Muka Aplikasi Web....72
4.8.1 Tampilan Halaman Utama....73
4.8.2 Tampilan Visualisasi Data....73
4.8.3 Tampilan Halaman Data Tabel....74
4.8.4 Anomali Sistem dan Data....75
4.8.5 Anomali Data Hilang....75
4.8.6 Data tidak Terbaca....75
4.8.7 Anomali Penurunan Kelembapan dan Suhu Ekstrem....76
4.8.8 Anomali Penaganan Sistem Saat Penampung Kehabisan Air....77
4.9 Evaluasi Kinerja Sistem....78
4.9.1 Evaluasi Keterbatasan Sistem....78
4.9.2 Evaluasi Aplikasi Web....78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN....80
5.1 Kesimpulan....80
5.2 Saran....81
DAFTAR PUSTAKA....83

LAMPIRAN.....89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor DHT22 11
Tabel 2.2 Spesifikasi Sprayer Pump ASSY 11
Tabel 2.3 Spesifikasi Katup Solenoid 12
Tabel 2.4 Fan Mini 13
Tabel 2.5 Spesifikasi Adaptor 13
Tabel 2.6 Spesifikasi I2C LCD 20x4 14
Tabel 2.7 Spesifikasi L298N 15
Tabel 2.8 Spesifikasi Relay Single Channel 15
Tabel 2.9 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 16
Tabel 2.10 Tabel Penelitian Terdahulu 24
Tabel 3.1 Nilai Rentang Aktivasi Pompa Air pada Kategori Kelembapan 35
Tabel 3.2 Nilai Rentang Aktivasi Fan Mini pada Kategori Suhu 35
Tabel 3.3 Aturan Rule-Based untuk Pengendalian Aktuator Suhu pada Fan Mini 36
Tabel 3.4 Aturan Rule-Based untuk Pengendalian Aktuator Kelembapan pada Pompa Air 36
Tabel 3.5 Jumlah Kebutuhan Komponen Dalam Perangkat 39
Tabel 3.6 PIN Terhubung dengan ESP32 39
Tabel 3.7 Keterangan Suhu dan Kelembapan pada LCD 20x4 43
Tabel 4.1 BlackBox Skenario Pengujian 51
Tabel 4.2 Hasil Pengujian BlackBox 51
Tabel 4.3 Contoh Hasil Pengambilan Data 53
Tabel 4.4 Statistik Deskriptif Kinerja Sistem Otomatis 55
Tabel 4.5 Dokumentasi Perkembangan Tunas Jamur 59
Tabel 4.6 Presentase Frekuensi Data Setiap Kategori Kelembapan 68
Tabel 4.7 Presentase Frekuensi Data Setiap Kategori Suhu 71
Tabel 4.8 Anomali Data Hilang 75
Tabel 4.9 Anomali Data Tidak Terbaca 75
Tabel 4.10 Anomali Penurunan Ekstrem Kelembapan dan Suhu 76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pembudidayaan Jamur Tiram. 2
Gambar 2.1 ESP32 7
Gambar 2.2 Susunan file dari SPIFFS 9
Gambar 2.3 Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22. 10
Gambar 2.4 Pompa Air Sprayer Pump ASSY. 11
Gambar 2.5 Katup Solenoid Sebagai Penutup Distribusi Air. 12
Gambar 2.6 Fan Mini untuk Menghisap dan Mengeluarkan Udara dari Kumbung. 12
Gambar 2.7 Adaptor Sebagai Daya DC Perangkat Otomatis. 13
Gambar 2.8 LCD 20x4 I2C Menampilkan Informasi Alfanumerik. 14
Gambar 2.9 L298N Mengatur Kecepatan PWM Fan Mini 14
Gambar 2.10 Relay Single Channel sebagai Saklar Digital. 15
Gambar 2.11 Sensor Ultrasonik HC-SR04. 16
Gambar 2.12 Contoh Contoh Code JavaScript. 18
Gambar 2.13 Contoh Contoh Code HTML. 18
Gambar 2.14 Contoh Contoh Code CSS 19
Gambar 2.15 Diagram Kerangka Berpikir. 29
Gambar 2.16 Dual jalur selang di bagian atas dan di bagaian bawah. 29
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian. 31
Gambar 3.2 Kondisi baglog sisi kiri. 34
Gambar 3.3 Kondisi baglog sisi tengah. 34
Gambar 3.4 Kondisi baglog sisi kanan. 34
Gambar 3.5 Diagram Alir Mekanisme Perangkat Otomatis. 38
Gambar 3.6 Desain Kumbung Jamur Tiram. 40
Gambar 3.7 Tata letak baglog dari depan. 42
Gambar 3.8 Tata letak baglog dari atas. 42
Gambar 3.9 Penempatan Fan Mini pada Kumbung Jamur Tiram. 42
Gambar 3.10 Katup Solenoid. 42
Gambar 3.11 Penampung dan Sensor HC-SR04. 42
Gambar 3.12 Instalasi selang di atas baglog. 42
Gambar 3.13 Instalasi selang di bawah baglog. 42
Gambar 3.14 Informasi pada LCD 20x4 Mengenai Kondisi Kumbung. 43
Gambar 3.15 Diagram Block Rancangan Sistem. 44

Gambar 3.16 Contoh hubungan akses Mikrokontroller dan Web. 46
Gambar 3.17 Struktur data pada Firebase. 46
Gambar 3.18 Struktur data pada firebase. 46
Gambar 4.1 kode program Nilai Rentang Suhu dan Kelembapan. 49
Gambar 4.2 Kode aktivasi pompa air dan fan mini. 50
Gambar 4.3 Kondisi jamur yang baik. 56
Gambar 4.4 Hasil jamur setelah tiga hari pengamatan di sisi kiri. 60
Gambar 4.5 Hasil jamur setelah tiga hari pengamatan di sisi tengah. 61
Gambar 4.6 Hasil jamur setelah tiga hari pengamatan di sisi kanan. 61
Gambar 4.7 (a) Hasil panen jamur tiram dari sisi kiri, (b) Hasil panen jamur tiram dari sisi kanan, (c) Hasil panen jamur tiram dari sisi kiri. 62
Gambar 4.8 (a) Jamur Basah dan terlihat berair, (b) Jamur Basah dan terlihat berair. 62
Gambar 4.9 Seluruh Fan Mini Berfungsi 62
Gambar 4.10 Seluruh Fan Mini Berfungsi dari Dilihat Dari Dekat. 63
Gambar 4.11 Grafik Garis contoh 30 Data Suhu Kumbung 63
Gambar 4.12 Penyiraman dari Atas Baglog dan Bawah Baglog Baglog saat Telah Panen. ...64
Gambar 4.13 Penyiraman dari Bawah Baglog. 64
Gambar 4.14 Grafik Garis Kelembapan Kumbung 65
Gambar 4.15 Grafik Garis Kelembapan Kumbung selama tiga hari. 66
Gambar 4.16 Grafik histogram Kelembapan Kumbung Selama tiga Hari. 67
Gambar 4.17 Grafik Pie Menunjukkan Frekuensi Klasifikasi Kelembapan Kumbung. 68
Gambar 4.18 Grafik Garis Suhu Kumbung Selama tiga Hari. 69
Gambar 4.19 Grafik Histogram Suhu Kumbung Selama tiga Hari. 70
Gambar 4.20 Contoh Grafik Pie Menunjukkan Frekuensi Klasifikasi Kelembapan Kumbung. 71
Gambar 4.21 Tampilan Halama Utama pada Aplikasi Web. 73
Gambar 4.22 Tampilan Aplikasi Web Halaman Visualisasi Data Web. 74
Gambar 4.23 Tampilan Aplikasi Web Halaman Data Tabel. 74
Gambar 4.24 Grafik Garis Kelembapan Kumbung Sebelum Diolah. 77
Gambar 4.25 Grafik Garis Suhu Kumbung Sebelum Diolah. 77

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) merupakan salah satu komoditas pangan yang banyak diminati masyarakat untuk kegiatan wirausaha, termasuk di Dusun Bakalan, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Komoditas ini relatif mudah dibudidayakan, memiliki nilai ekonomi tinggi, waktu panen singkat (1–3 bulan), benih yang mudah diperoleh, dan tidak memerlukan lahan luas (Inayah and Prima 2022; Machfudi et al. 2021).

Pertumbuhan jamur tiram putih memerlukan kondisi lingkungan yang sesuai. Selama fase pertumbuhan miselium, suhu ideal berkisar antara 22–28 °C dan kelembapan 60–80% selama 30–40 hari. Miselium ditandai oleh pertumbuhan serabut putih pada permukaan baglog, biasanya muncul dalam dua minggu pertama (Bate'e et al. 2020; Hunaepi et al. 2019; Ratnaningtyas et al. 2020; Wicaksana and Rachman 2018).

Setelah masa inkubasi, baglog membutuhkan suhu udara antara 25–30 °C dengan tingkat kelembapan 70–95% untuk mendukung pertumbuhan tubuh buah jamur tiram(Miah et al. 2017; Riski et al. 2021; Wibowo et al. 2021). Baglog memiliki masa produktif selama empat bulan, kemudian harus diganti dengan baglog baru untuk menjaga kontinuitas produksi (Rahman Abdul, Wardani Dwika Karima 2023).

Berdasarkan hasil pemantauan, suhu rata-rata minimum di lokasi budidaya adalah 20,82 °C, sedangkan suhu rata-rata maksimum mencapai 33,10 °C. Rata-rata kelembapan minimum tercatat sebesar 48,25%, sementara kelembapan maksimum mencapai 97,25%. Kondisi lingkungan tersebut tidak ideal untuk budidaya jamur tiram putih. Perawatan menjadi lebih sulit karena mempertahankan kondisi lingkungan yang optimal secara konsisten agar baglog dan jamur tidak mengalami kerusakan, seperti buah jamur yang layu, mengecilnya ukuran, dan penurunan produksi.

Gambar 1.1 Pembudidayaan Jamur Tiram.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem penyiraman otomatis pada budidaya jamur tiram guna menjaga kestabilan suhu dan kelembapan lingkungan kumbung. Sistem memanfaatkan sensor DHT22 untuk mengukur parameter suhu dan kelembapan secara berkala, kemudian data yang diperoleh diproses oleh mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengendali utama. Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut, sistem mengendalikan dua jenis aktuator penyiraman, yaitu katup solenoid dan pompa air.

Pompa air berfungsi mendistribusikan air ke kumbung ketika sensor mendeteksi penurunan kelembapan, sehingga kelembapan ruang dapat meningkat. Distribusi air dibagi menjadi dua jalur, yaitu penyiraman pada bagian atas rak baglog dan penyiraman pada bagian bawah rak baglog. Penyiraman pada bagian atas rak baglog dikendalikan oleh katup solenoid yang berfungsi membuka atau menutup jalur distribusi air, sedangkan penyiraman pada bagian bawah rak baglog tidak memiliki mekanisme pengendalian aliran, sehingga air mengalir secara langsung.

Penyiraman dilakukan menggunakan teknik pengkabutan yang menyerupai rintikan hujan dan difokuskan pada permukaan tanah untuk menghindari penyiraman langsung pada tubuh buah jamur, yang dapat meningkatkan risiko pembusukan. Penyiraman yang dilakukan secara teratur pada area budidaya membantu mempertahankan suhu dalam kisaran 25–30°C dan kelembapan 70–95%, yaitu kondisi optimal untuk pembentukan dan pertumbuhan tubuh buah jamur tiram.

tidak hanya itu, aktivitas aktuator dan kondisi kumbung direkam serta disimpan di dalam database Firebase. Firebase merupakan layanan penyimpanan data NoSQL yang memungkinkan penyimpanan tanpa harus membuat struktur dan tipe data secara ketat,

sehingga memiliki fleksibilitas tinggi untuk pengembangan sistem (Madaminov, Uktam A., Allaberganova and R. 2023). Data direkam secara real-time dengan interval penyimpanan 5–10 detik.

Penyimpanan ini bertujuan untuk evaluasi lanjutan terhadap kondisi kumbung dan efektivitas penerapan sistem pada budidaya jamur tiram. Selain itu, data yang tersimpan dapat dimanfaatkan untuk pengembangan lanjutan guna mencapai kondisi optimal dan meningkatkan efektivitas budidaya. Dengan penerapan sistem ini, pemantauan dan pengendalian lingkungan kumbung dapat dilakukan secara efisien, sehingga produktivitas terjaga dan risiko kerusakan jamur dapat diminimalkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan membangun sistem otomatis berbasis mikrokontroler yang mampu memantau serta mengatur suhu dan kelembapan pada budidaya jamur tiram putih. Sistem ini juga dirancang untuk mengendalikan pompa air dan katup solenoid guna menghindari penyiraman langsung pada tubuh buah jamur.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang penelitian, maka untuk memfokuskan ruang lingkup penelitian. Batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

a. Sistem ini diperuntukan untuk menjaga suhu dan kelembapan kumbung budidaya jamur tiram.
b. Memisahkan mekanisme penyiraman saat sebelum panen dan setelah panen guna menjaga buah jamur tiram tetap pada kondisi baik.
c. Perangkat tersebut diharapkan dapat menjalankan perintah program dalam mengendalikan suhu dan kelemban pada kumbung serta mekanisme aktuator.
d. Data penelitian yang digunakan adalah hasil dari pengumpulan data real-time dari sensor serta observasi pertumbuhan jamur tiram putih berdasarkan tiga kategori tunas yaitu:
    - Tunas kecil adalah tunas jamur yang baru muncul dari miselium, berukuran sangat kecil, dan tudung jamur masih tertutup.

- Tunas sedang adalah tunas jamur yang berukuran lebih besar dari tunas kecil, namun tudung jamur masih tertutup.
- Tunas menjelang panen adalah tunas jamur yang sudah membuka tudung sebagian, tetapi belum layak dipanen karena tudung belum terbuka secara menyeluruh.

Pembagian tiga bentuk tunas dilakukan untuk mengetahui kondisi akhir pertumbuhan jamur tiram saat lingkungan budidaya dikendalikan oleh sistem otomatis. Dengan pembagian ini, dapat diamati apakah setiap bentuk tunas mampu tumbuh optimal atau mengalami kerusakan.

Pemilihan tiga bentuk tunas juga bertujuan memastikan bahwa sejak tunas mulai muncul, pertumbuhannya hingga fase panen tetap optimal dan memenuhi standar penjualan jamur. Tahap kemunculan tunas menjadi faktor penting dalam menilai kinerja sistem karena kondisi pada fase ini sangat menentukan hasil panen.

Selain itu, penggunaan tiga bentuk tunas kecil, tunas sedang, dan tunas menjelang panen memungkinkan waktu penelitian dipadatkan sekaligus memberikan gambaran menyeluruh mengenai respons sistem pada tiap bentuk tunas jamur tiram. Pendekatan ini membantu menilai konsistensi kinerja sistem dalam mendukung pertumbuhan optimal pada berbagai kondisi tunas.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah:

a. Menganalisis efektivitas sistem otomatis berbasis mikrokontroler dalam mengendalikan suhu dan kelembapan pada kumbung budidaya jamur tiram.
b. Perangkat dapat menjalankan mekanisme pengendalian suhu serta kelembapan dan mengontrol mekanime pompa air dan katup air secara otomatis.
c. Menerapkan mekanisme distribusi air dua jalur untuk mencegah penyiraman langsung pada tubuh buah jamur, sehingga kelembapan tetap terjaga tanpa menyebabkan jamur basah berlebih.

Tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah untuk mendukung otomatisasi sistem budidaya jamur tiram guna meningkatkan produktivitas dan mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual.

BAB II
DASAR TEORI

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif melalui eksperimen terhadap prototipe alat penyiraman otomatis untuk budidaya jamur tiram putih. Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang menggunakan fokus pendekatan dengan angka yang dikumpulkan menjadi kumpulan data kemudian dilakukan analisis dan menampilkan hasil dari analisis data untuk menarik sebuah kesimpulan(Charismana et al. 2022; Pipit Muliyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu 2020).

2.1 Jamur Tiram

Jamur tiram putih (Pleurotus ostreatus) merupakan salah satu jenis jamur kayu yang termasuk dalam kelompok Basidiomycota dan kelas Homobasidiomycetes dan dapat dikonsumsi (Rosmiah et al. 2020). Komoditas pangan ini bergantung pada kondisi lingkungan tropis dengan suhu dan kelembapan ideal untuk pertumbuhannya. Kondisi lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan dan produksi maksimal dari komoditas ini dibutuhkan suhu antara 22°C–28°C dan kelembapan 70%–90% (Saputra et al. 2022).

2.1.1 Karakteristik Jamur Tiram

Jamur Tiram memiliki ciri-ciri umum tubuh berwarna putih lonjong dan menyurupai lengkungan cangkang tiram (ostreatus) dengan bentuk tudung jamur yang membulat (Aini et al. 2018). Selain itu, tangkai yang tumbuh menyamping disebut pleurotus yang tergolong saprofit dan dapat hidup pada jaringan tumbuhan berkayu masih hidup maupun sudah mati (Nauval et al. 2024).

Media tanam jamur tiram saat ini memiliki beragam variasi yang digunakan sebagai wadah budidaya. Media tanam yang lebih ekonomis dapat diperoleh dari hasil limbah seperti serbuk kayu, jerami padi, dan alang-alang, di mana serbuk kayu dan jerami padi menjadi pilihan utama pembudidaya jamur sehingga proses budidaya tidak lagi bergantung pada batang pohon yang kurang efisien (Lubis 2020).

2.1.2 Manfaat Jamur Tiram

Jamur tiram bermanfaat bagi masyarakat, baik sebagai komoditas bernilai ekonomis maupun sebagai sumber gizi. Dari sisi ekonomi, budidaya jamur tiram melibatkan berbagai

kegiatan usaha, seperti pengadaan bahan baku, pemasaran, pengolahan produk, dan proses produksi jamur tiram itu sendiri (Rahmawati et al. 2022).

Selain itu, dari sisi gizi, jamur tiram mengandung berbagai zat gizi penting. Setiap 100 gram jamur tiram kering mengandung protein sebesar 10,5–30,4%, lemak 1,7–2,2%, karbohidrat 56,6%, tiamin 0,2 mg, riboflavin 4,7–4,9 mg, niasin 77,2 mg, kalsium 314 mg, dan energi 367 kkal (Giawa 2023).

2.2 Mikrokontroller ESP32

Gambar 2.1 ESP32

Mikrokontroler ESP32, seperti ditampilkan pada Gambar 2.1, merupakan modul berbasis *System on Chip* (SoC) yang mendukung pengembangan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) (Imran & Rasul, 2020). Modul ini dilengkapi dengan pin GPIO (*General Purpose Input Output*) yang memungkinkan integrasi dengan berbagai komponen, seperti sensor dan aktuator.

Selain itu, ESP32 mendukung konektivitas nirkabel melalui Wi-Fi 802.11 dan Bluetooth versi 4.2, sehingga memungkinkan komunikasi data secara real-time tanpa memerlukan kabel. Dalam konteks sistem otomatisasi, ESP32 berperan sebagai unit kendali dan pemrosesan data dari berbagai sensor yang saling terintegrasi (Ridho'i et al. 2023) .

Dalam pengembangan sistem otomatisasi penyiraman jamur tiram, ESP32 berperan sebagai pusat kendali utama yang mengatur seluruh perangkat yang terhubung. Fungsi utama ESP32 meliputi pemrosesan data dari sensor suhu dan kelembapan (DHT22) serta sensor ultrasonik (HC-SR04), pengendalian katup solenoid, pengaktifan dan penonaktifan modul relay, serta pemicu pompa air berdasarkan parameter lingkungan yang telah ditentukan.

Selain itu, ESP32 juga berfungsi sebagai server lokal (localhost) yang mengirimkan data sensor ke Firebase Realtime Database untuk keperluan penyimpanan dan pemantauan jarak jauh. Berkas antarmuka web disimpan secara lokal pada memori ESP32 menggunakan pustaka SPIFFS, sehingga pengguna dapat mengakses tampilan data sensor secara real-time melalui jaringan lokal tanpa memerlukan koneksi ke server eksternal.

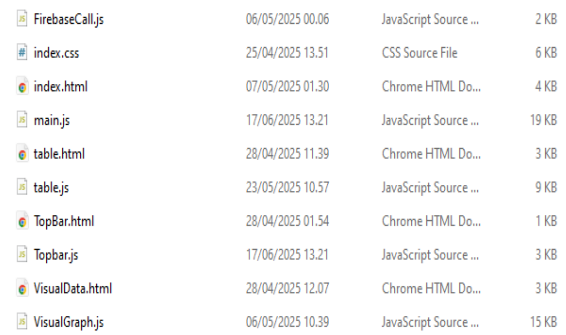
2.3 Firebase Realtime Database

Firebase Realtime Database merupakan basis data daring yang memungkinkan pengguna aplikasi untuk mengakses dan memperbarui data secara real-time. Setelah data diperbarui oleh salah satu pengguna, sistem Firebase secara otomatis akan menyinkronkan pembaruan tersebut ke seluruh pengguna yang terhubung dalam waktu yang sama (Firebase realtime database) (Gunadi et al. 2020; Payara and Tanone 2018). Firebase Realtime Database bekerja menggunakan sistem *cloud-based NoSQL* yang memungkinkan sinkronisasi dan penyimpanan data antar pengguna secara waktu nyata (Gaikwad 2022). Basis data ini memudahkan integrasi antara aplikasi mobile dan web, serta memungkinkan pengembangan aplikasi berbasis real-time tanpa memerlukan infrastruktur server yang kompleks (Asvin Mahersatillah Suradi et al. 2024).

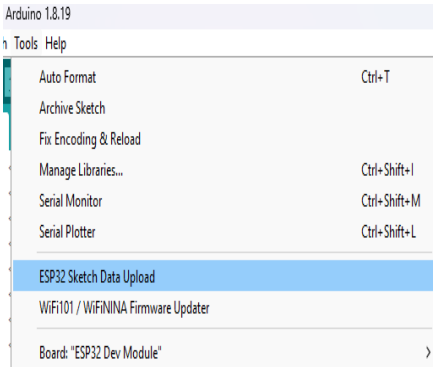
2.4 **Serial Peripheral Interface Flash File System (SPIFFS)**

Serial Peripheral Interface Flash File System (SPIFFS) merupakan sistem manajemen berkas berbasis memori internal pada ESP32 yang berfungsi layaknya sistem file konvensional. SPIFFS memungkinkan pengguna untuk membaca, menulis, dan menghapus berkas secara langsung di dalam perangkat, sehingga file tersebut dapat digunakan secara terintegrasi selama sistem berjalan. (Pereira et al. 2019).

Pada Arduino IDE versi 1.8.19, proses pemanggilan pustaka SPIFFS dapat dilakukan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2. Selanjutnya, untuk mengunggah seluruh berkas yang terdapat pada folder *script* ke dalam memori ESP32, digunakan fitur ESP32 Sketch Data Upload sebagaimana terlihat pada pada Gambar 2.2 bagian (b). Seluruh berkas antarmuka web yang akan diunggah harus disimpan terlebih dahulu ke dalam folder khusus bernama data, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2 bagian (c). Struktur berkas website tersebut ditampilkan Gambar 2.2 bagian (a).



(a) Susunan File Web pada Folder Data.



(b) Upload File SPIFFS.

(c) Contoh Folder Data Pada Folder Arduino Teruplоad.

(d) Akses Library.

Gambar 2.2 Susunan file dari SPIFFS

(a) File Web pada Folder Data, (b) Upload File SPIFFS, (c) Contoh Folder Data Pada Folder Arduino Teruplоad, (d) Akses Library.

2.5 Teori Protokol (HTTP, REST API, WebSocket)

2.5.1 HTTP

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) merupakan protokol komunikasi yang digunakan untuk mentransfer data antara klien dan server (Justus and Jaeger 2022). Dalam sistem ini, HTTP digunakan oleh ESP32 untuk mengakses antarmuka web melalui SPIFFS, sehingga memungkinkan komunikasi antara mikrokontroler dan pengguna melalui jaringan lokal.

2.5.2 HTTPS

HTTPS REST API merupakan standar arsitektur komunikasi berbasis web yang menggunakan protokol HTTPS sebagai media pertukaran data. Arsitektur ini bersifat *client-server decoupling* dan menerapkan prinsip antar muka umum (*uniform interface*), yang menjadikan sistem lebih sederhana, fleksibel, dan mudah diintegrasikan, sekaligus meningkatkan visibilitas interaksi antar komponen. (Prasetyawan, D. and Rahmanto 2024) (Yuda Syahidin and Randy Ramadhan 2021). *HTTPS REST API* digunakan untuk mengirimkan data dari ESP32 ke Firebase Realtime Database secara aman melalui protokol HTTPS. Melalui

arsitektur ini, ESP32 dapat melakukan permintaan data seperti POST, GET, atau DELETE dengan format JSON yang sesuai, sehingga memungkinkan proses integrasi data sensor secara real-time dan efisien Websocket.

2.5.3 WebSocket

WebSocket merupakan protokol komunikasi yang dikembangkan melalui standar HTML5 untuk memungkinkan pertukaran data dua arah (*bidirectional full-duplex*) antara klien dan server. Protokol ini memungkinkan pengembang membuat aplikasi yang responsif dan interaktif secara real-time tanpa perlu membangun ulang koneksi setiap kali terjadi perubahan data yang dikirim atau diterima (Eka Putra et al. 2024). *WebSocket* digunakan saat aplikasi web diakses melalui alamat lokal (contoh: http://192.168.x.x/) untuk membaca data secara real-time dari Firebase Realtime Database.

2.6 Sensor dan Aktuator

Komponen yang digunakan dalam sistem otomatis pengatur suhu dan kelembapan kumbung dijelaskan pada bagian ini, meliputi spesifikasi serta fungsi masing-masing komponen yang berperan dalam mekanisme kerja sistem.

2.6.1 DHT22

Gambar 2.3 Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22.

Sensor DHT22, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3, merupakan sensor digital yang terhubung ke mikrokontroler dan berfungsi untuk membaca serta menghasilkan keluaran berupa suhu dan kelembapan relatif. (Puspasari et al. 2020). Sensor ini, dengan spesifikasi yang tercantum pada Tabel 2.1 , digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan di dalam kumbung. Sensor DHT22 digunakan tanpa proses kalibrasi ulang karena telah dikalibrasi dari pabrik dengan tingkat akurasi ±2 °C untuk suhu dan ±5% untuk kelembapan.

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor DHT22

Tegangan Input	3,3 – 6 VDC
Sistem Komunikasi	Serial (single – Wire Two way)
Range Suhu	-40°C – 80°C
Range Kelembapan	0% – 100% RH
Akurasi	±2^{0}C (temperature) ±5% RH (humidity)

2.6.2 Pompa Air Sprayer Pump ASSY

Gambar 2.4 Pompa Air Sprayer Pump ASSY.

Sprayer Pump ASSY, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan memiliki spesifikasi teknis pada Tabel 2.2 , merupakan pompa air mini yang berfungsi untuk mengalirkan air ke selang sprayer guna meningkatkan kelembapan di dalam kumbung jamur tiram putih. Perangkat ini bekerja pada tegangan DC 12 V dengan arus 5 A, dan mendistribusikan air dari penampung ke ruang kumbung secara terarah.

Tabel 2.2 Spesifikasi Sprayer Pump ASSY

Ampere	5.0A
Water Flows	5.5 LPM
Volts	12V DC
Max Pressure	160 PSI

2.6.3 Katup Selenoid

Gambar 2.5 Katup Solenoid Sebagai Penutup Distribusi Air.

Katup solenoid, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.5, merupakan keran otomatis yang bekerja dengan prinsip elektromagnetik, yaitu membuka atau menutup aliran air melalui pergerakan plunger atau piston yang digerakkan oleh medan magnet. Spesifikasi teknis katup ini disajikan pada Tabel 2.3. Perangkat ini digunakan untuk mengatur distribusi air, khususnya dalam mengendalikan aliran menuju bagian atas baglog dengan mekanisme buka-tutup otomatis.

Tabel 2.3 Spesifikasi Katup Solenoid

Power	12V DC 5W
Coil Resistence	27.7 Ω
Working Pressure	0.02Mpa – 0.8Mpa
Medium Temperature	0℃ - 100℃
Product Size	78 * 34 * 60mm (L * W * H)

2.6.4 Fan Mini

Gambar 2.6 Fan Mini untuk Menghisap dan Mengeluarkan Udara dari Kumbung.

Fan mini, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan memiliki spesifikasi pada Tabel 2.4 , merupakan kipas berukuran kecil yang digunakan untuk mengalirkan udara di dalam kumbung. Perangkat ini bekerja dengan mekanisme hisap guna mengeluarkan udara panas dari

dalam ruang budidaya jamur tiram putih, sehingga membantu menjaga kestabilan suhu lingkungan.

Tabel 2.4 Fan Mini

Power	12V DC
Ampere	0.12A
Watt	1.44W

2.6.5 Adaptor

Gambar 2.7 Adaptor Sebagai Daya DC Perangkat Otomatis.

Adaptor merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi mengubah tegangan AC menjadi DC (Zahwa et al. 2022). Pada sistem ini, adaptor yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan memiliki spesifikasi pada Tabel 2.5 digunakan sebagai sumber daya eksternal untuk mengoperasikan pompa air, fan mini, dan katup solenoid.

Tabel 2.5 Spesifikasi Adaptor

Input Voltage	100-200V 50-60Hz
Output Voltage	12V DC & 8A
Power	96W
Dimensi	135 x 55 x 40 mm

2.6.6 LCD 20x4

Gambar 2.8 LCD 20x4 I2C Menampilkan Informasi Alfanumerik.

LCD (Liquid Crystal Display) 20x4 merupakan perangkat tampilan yang digunakan untuk menampilkan data berupa karakter teks dalam format 20 kolom dan 4 baris dari hasil pengolahan sensor (Sulistyawan 2021). LCD yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 , dengan spesifikasi pada Tabel 2.6, digunakan untuk menampilkan informasi kondisi kumbung secara digital agar mudah dibaca oleh pengguna.

Tabel 2.6 Spesifikasi I2C LCD 20x4

Interface	I2C
I2C Address	0x27
Pin Definition	GND, VCC, SDA, SCL
Back Lit	Green with Black char Color
Supplay Voltage	5V
Pcb Size	60mm x 99mm

2.6.7 L298N

Gambar 2.9 L298N Mengatur Kecepatan PWM Fan Mini.

L298N, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan memiliki spesifikasi pada Tabel 2.7, merupakan driver motor tipe dual H-Bridge yang dapat mengoperasikan hingga dua motor DC secara bersamaan. Modul ini mampu mengatur kecepatan dan arah putaran motor melalui kombinasi logika HIGH-LOW dan teknik modulasi lebar pulsa (PWM) (Yoski and Mukhaiyar 2020).

Tabel 2.7 Spesifikasi L298N

Application Type	2x DC Motor Driver, Stapper Motor Driver Module
Logic Voltage	5V
Input Voltage	5-35 DC
Ouput Current	2A
Dimension	43 x 43 mm
Weight	32g

2.6.8 Relay

Gambar 2.10 Relay Single Channel sebagai Saklar Digital.

Relay, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.10 dan memiliki spesifikasi pada Tabel 2.8, merupakan sakelar elektronik yang berfungsi untuk mengalirkan atau menghentikan arus listrik secara digital melalui kendali mikrokontroler. Komponen ini digunakan untuk mengontrol beban arus bolak-balik (AC) dengan menggunakan rangkaian arus searah (DC), di mana tegangan beban dan tegangan rangkaian kontrol berasal dari sumber yang berbeda (Pratika et al. 2021).

Tabel 2.8 Spesifikasi Relay Single Channel

Maximum Load	AC 250V/10A, DC 30V/10A
Channel	1
Working Voltage	5V, active LOW atau active HIGH
Weight	18g

2.6.9 Sensor Ultrasonik HC SR04

Gambar 2.11 Sensor Ultrasonik HC-SR04.

Sensor ultrasonik HC-SR04, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.11 dan dengan spesifikasi pada Tabel 2.9, merupakan sensor jarak yang bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik melalui transmitter. Gelombang tersebut dipantulkan oleh objek di depannya, kemudian diterima kembali oleh receiver (Pradana et al. 2024).

Dalam penelitian ini, tidak dilakukan proses kalibrasi manual terhadap sensor HC-SR04 karena sensor ini telah dikalibrasi oleh pabrik dan digunakan dalam lingkungan yang tidak memerlukan tingkat presisi tinggi.

Tabel 2.9 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

Voltage	3.3 – 5V DC
Current	2mA
Angular induction	Tidak lebih dari 15 derajat
Deteksi Jarak	2cm-400cm
Presisi tinggi	3mm

2.6.10 Network Time Protokol (NTP)

Network Time Protocol (NTP) merupakan protokol waktu real-time yang digunakan oleh ESP32 untuk memperoleh waktu terkini melalui koneksi jaringan internet. Sinkronisasi waktu secara daring ini memastikan bahwa waktu pada perangkat ESP32 tetap akurat dan tidak mengalami deviasi signifikan dari waktu sebenarnya (Rendeiro et al. 2023).

2.7 Perangkat Lunak dan Bahasa Pemrograman

Sistem ini dikembangkan menggunakan beberapa perangkat lunak dan bahasa pemrograman yang berfungsi untuk pemrograman mikrokontroler, pengelolaan database, serta antarmuka web. Uraian berikut menjelaskan perangkat lunak dan bahasa yang digunakan.

2.7.1 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak teks editor berbasis open source yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengunggah, dan memprogram mikrokontroler seperti ESP32, Arduino UNO, dan lainnya, dengan menggunakan bahasa pemrograman C/C++ (Fezari and Al Zaytoona 2018; Ismailov and Jo‘rayev 2022; R. G. Vidhya et al. 2022). Pengembangan otomatis menggunakan Arduino IDE versi 1.8.19 karena mendukung library SPIFFS secara lebih jelas.

2.7.2 JavaScript

JavaScript adalah bahasa pemrograman yang populer digunakan untuk pengembangan aplikasi bagi klien dan server yang saat ini digunakan hampir seluruh situs website(Kluban, M.; Mannan, M.; Youssef 2022).

```
const firebaseConfig = {
  apiKey: "AIzaSyC47hmI0AhAaCHIfFZlgpLmkR0Ps_uaMqM",
  authDomain: "imamfarmjamur.firebaseapp.com",
  databaseURL: "https://imamfarmjamur-default-rtdb.asia-
    southeast1.firebasedatabase.app",
  projectId: "imamfarmjamur",
  storageBucket: "imamfarmjamur.appspot.com",
  messagingSenderId: "645996935913",
  appId: "1:645996935913:web:bae6ebea1dbedf0c55ce78",
  measurementId: "G-8D68DN7B40"
};
```

Gambar 2.12 Contoh Contoh Code JavaScript.

Javascript berfungsi untuk mengakses data pada Firebase Realtime Database seperti contoh code pada Gambar 2.12 yang digunakan untuk memantau sistem. Selain itu, ini digunakan untuk implementasi dan pengolahan kumpulan data kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel, visualisasi grafik, akses waktu secara realtime, dan pemantauan sistem secara realtime.

2.7.3 Hypertext Markup Language (HTML)

Hypertext Markup Language (HTML) merupakan bahasa markup standar modern yang digunakan untuk membuat elemen-elemen penyusun halaman web, yang dituliskan dalam bentuk singkatan umum yang disebut “tag” (McGrath 2020). Antar muka web pada sistem otomatis menggunakan HTML seperti contoh code pada Gambar 2.13 yang terintegrasi dengan CSS dan Javascript.

```
<div class="column-Box2">
<p style="align-items: center;"> Kelembapan </p>
<div id="myProgress">
<div id="barKelembapanTerkini"></div>
<div id="labelTextKelembapanTerkini">0</div>
</div>
</div>
```

Gambar 2.13 Contoh Contoh Code HTML.

2.7.4 Cascading Style Sheets (CSS)

CSS merupakan bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengatur, menampilkan, dan mendeskripsikan tampilan visual halaman web. (Kuparinen 2023). Tampilan antarmuka web diatur menggunakan CSS seperti contoh code pada Gambar 2.14 untuk menentukan gaya visual. Selain itu, CSS juga digunakan untuk mengatur tampilan perubahan suhu, kelembapan, dan kapasitas air yang ditampilkan pada halaman web.

```
.column-Box1 {
    float: left;
    width: 50%;
    height: 350px;
    display: flex;
    flex-direction: column;
    align-items: center;
    justify-content: center;
    }
```

Gambar 2.14 Contoh Contoh Code CSS.

2.8 Pendekatan Rule-Based

Rule-Based adalah pendekatan pada suatu sistem berdasarkan aturan yang disajikan dalam bentuk domain tertentu untuk menyelesaikan suatu permasalahan (Cahyanto et al. 2022; Juanda and Yadi 2020). Sistem Rule-Based menyatakan suatu kondisi yang ditangkap berdasarkan aturan yang ditetapkan sebagai contoh dalam pernyataan "IF-THEN" (Silva et al. 2023). Selain itu, Rule-Based dapat dipetakan berdasarkan pengamatan kemudian menentukan tindakan dalam mengambil keputusan berdasarkan aturan yang akan ditetapkan oleh manusia (Kierner et al. 2023).

2.9 BlackBlox Testing

Validasi Sistem menggunakan BlackBox testing untuk pengujuan pada setiap kompoenen. BlackBox testing adalah sebuah metode yang digunakan untuk menguji suatu sistem tanpa harus memperhatikan detail sistem tersebut (Febriyanti and Sudana 2021; Shadiq et al. 2021).

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dibutuhkan untuk melakukan perbandingan dan upaya mencari solusi terbaru untuk mendapatkan inspirasi terhadap penelitian selanjutnya. Penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini akan dicantumkan sebagai berikut.

Penelitian dengan judul "Alat Penjaga Kestabilan Suhu Pada Tumbuhan Jamur Tiram Putih Menggunakan Arduino UNO R3" oleh Muhammad Riski, Asri Alawiyah, Muhammad Bakri, Novia Utami Putri, Jupriyadi, dan Leny Melissa. Metode penelitian pada karya ilmiah tersebut adalah kuantitatif berdasarkan pada pengambilan sample data yang dikumpulkan kemudian diproses dan disajikan dalam bentuk data yang terstruktur. Pengumpulan data

dilakukan dengan cara membuat sebuah alat untuk menjaga kestabilan suhu pada ruangan jamur tiram putih melalui mekanisme mendeteksi keadaan suhu ruangan berdasarkan sensor suhu yang terhubung dengan alat.

Penelitian tersebut memberitahukan mengenai perlengkapan alat seperti mikrocontroller Arduino UNO R3 sebagai pusat yang mengontrol seluruh alat, sensor suhu DHT11 untuk memberikan informasi mengenai suhu dan kelembapan ruangan, kipas fan untuk mengatur suhu ruangan, dan pompa mini dan nozzle air untuk penyiraman. Selain itu, terdapat sebuah kumbung kecil untuk tempat eksperimen serta ilustrasi tentang posisi peletakan alat DHT11, kipas fan, nozzle, dan pompa mini.

Pada karya ilmiah dengan judul "Implementasi Monitoring Suhu dan Kelembapan pada Budidaya Jamur Tiram dengan IOT" oleh Yuli Wibowo, Febriansah Eka Prasetyadana, dan Bertung Suriadharma menggunakan metode penelitian *blackbox testing* atau *behavioral testing*. Metode *blackbox testing* adalah metode untuk melakukan pengujian yang fokus terhadap input dan output terhadap perangkat tanpa mengetahui struktur dalamnya(Fahrezi et al. 2022; Rambe et al. 2020). Pada karya ilmiah ini melakukan pengujian dengan menggunakan nodeMCU ESP8266 sebagai kontroller, DHT22 sebagai sensor suhu dan kelembapan, dan dua lampu indikator sebagai peringatan jika kumbung tidak merespons suhu dan kelembapan yang ideal, selain itu perangkat ini terhubung dengan aplikasi antarmuka Blynk yang menampilkan data yang dikumpulkan oleh sensor DHT22 serta peringatan jika kondisi kumbung tidak ideal.

Pada Karya Ilmiah dengan judul "Implementasi IoT (*Internet of Things*) pada Rumah Budidaya Jamur Tiram Putih" oleh Tareh Rozzaq Adzdziqri, Yosep Agus Pranoto, Deddy Rudhistiar (Adzdziqri et al. 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengatur kondisi ideal kumbung jamur tiram putih secara jarak jauh. Sistem monitoring menggunakan mikrokontroller NodeMcu dan Arduino Uno sebagai pusat pengelola data. Selain itu, terdapat sensor pengukur pH tanah dan sensor ultrasonic untuk mengukur kapasitas air dengan satuan centimeter. Data dari sensor yang diambil diterima oleh NodeMcu kemudian akan proses oleh arduino uno setelah itu akan disimpan kedalam database melalui ESP8266. Data yang disimpan akan ditampilkan dalam bentuk luaran website yang menampilkan informasi berupa suhu, kelembapan, kadar pH, kapasitas air asam dan basa, serta tampilan informasi kondisi dan aktuator. Hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa pengujian sensor suhu DHT22 memiliki rata-rata error sebesar 1,28%, sensor kadar pH dengan rata-rata 3,46%, dan sensor ultrasonik dengan wadah asam dan basa dengan rata-rata 1,59%. Selain itu pengujian website untuk

kontrol jarak jauh dapat dengan menggunakan ESP8266 (NodeMcu) dengan mengirimkan sepuluh data dapat terhubung dengan delay sebesar sepuluh detik.

Pada penelitian dengan judul "Pengatur Suhu dan Kelembapan Otomatis Pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan Mikrokontroler ATMega16" oleh Anggi Triyanto dan Nurwijayanti K.N.(Triyanto and Nurwijayanti N 2016). Penelitian ini bertujuan mengatur suhu dan kelembapan secara otomatis dengan menggunakan mikrokontroller ATMega16 serta adalah membandingkat perangkat otomatis suhu dengan thermometer digital. Pada penelitian ini menggunakan ATMega16 sebagai pusat kontrol untuk menerima data dari sensor DHT11 kemudian hasil dari data sensor tersebut akan memberikan output berupa tampilan pada LCD 16x2, kipas fan, serta alat penghasil kabut (*mist maker*). Pengujian alat dilakukan dengan tujuan untuk mencapai kondisi suhu 26 – 28 °C dengan kelembapan 89%. Oleh karena itu, terdapat tiga kondisi pengujian yaitu 26 °C, 27 °C, dan 28 °C dengan kelembapan 89%. Hasil pengujian pertama yaitu menurunkan suhu dari 31 °C ke 26 °C memerlukan waktu 12,2 menit, kemudian pengujian kedua dari suhu 31 °C ke 27 °C memerlukan waktu 10 menit, dan pengujian ketiga dari 31°C ke 28 °C memerlukan waktu 8,5 menit. Selain itu kelembapan berhasil dipertahankan sesuai keinginan antar 81% sampai dengan 92%.

Pada penelitian dengan judul "Desain IoT untuk Smart Kumbung dengan Thinkspeak dan NodeMCU" oleh Sampurna Dadi Riskiono, Muhammad Iqbal, dan Purwono Prasetyawan (Wajiran et al. 2020) bertujuan untuk membuat sistem kumbung pintar dalam mengkondisikan suhu dan kelembapan. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian menggunakan mikrokontroller NodeMCU dan modul WIFI ESP8266 yang menggunakan koneksi TCP/IP yang dapat dihubungkan dan menyimpan data di cloud. Pengujian dilakukan melalui mekanisme membaca sensor suhu dan kelembapan DHT22 dan digital hygrometer sebagai perbandingan terhadap galat error pada sensor DHT22. Cara kerja sistem pada penelitian yaitu mempertahankan suhu tidak lebih dari 29 °C serta kelembapan tidak kurang dari 90% apabila jika suhu diatas 29 °C dan kelembapan diatas 90% maka blower dan sprayer akan menyala untuk menurunkan suhu serta menaikkan kelembapan pada kumbung.

Pada penelitian dengan judul "Design of temperature and humidity control system on oyster mushroom plant house based on Internet of Things (IoT)" oleh D.A. Setiawan, S.G. Utomo, Murad dan G.M.D. Putra (Setiawati et al. 2021) bertujuan untuk membangun sebuah sistem kontrol suhu dan kelembapan pada rumah tanam jamur tiram dengan menggunakan IoT. Penelitian ini menggunakan metode ekperimen dengan melakukan pengamatan langsung di

lapangan prototipe kumbung. Peralatan yang digunakan dalam membuat sistem kontrol suhu dan kelembapan adalah sensor suhu dan kelembapan DHT11 untuk mendeteksi keadaan suhu dan kelembapan pada ruangan, humidifier untuk meningkatkan kelembapan, kipas fan, pompa air untuk memompa air. Cara kerja pada sistem ini dengan membaca suhu jika lebih dari 28 ceclius dan kelembapan kurang dari 85% yang didapatkan dari input sensor DHT11 maka pompa air dan humidifier akan aktif hingga suhu telah turun mencapai kurang dari 28 °C dan kelembapan telah meningkat mencapai lebih dari 85% setelah aturan dari nilai yang telah didapatkan telah tercapai maka secara otomatis pompa air dan humidifier akan tidak aktif.

Pada penelitian "Development of automatic temperature and humidity control system in kumbung (oyster mushroom) using fuzzy logic controller" oleh K. Agustianto, R. Wardana, P. Destarianto, E. Mulyadi, I. G. Wiryawan bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol suhu dan kelembapan pada kumbung jamur tiram.

Logika fuzzy merupakan logika yang akan mengambil nilai sebenarnya tidak hanya berdasarkan *true or false*(Jane and Ganesh 2019). Oleh karena itu, pengambilan keputusan dengan menggunakan logika fuzzy akan mengacu pada pengambilan keputusan berdasarkan batas acuan yang ditetapkan antara konsep dan logika itu sendiri(Fayek 2020). Berdasarkan penjelasan mengenai logika fuzzy tersebut maka pada penelitian ini aturan yang ditetapkan pada suhu adalah batas bawah pada pengaturan suhu kurang dari sama dengan 20 °C dengan nilai optimal 16-30 °C dan batas atas lebih dari sama dengan 28 °C. Selain itu, pada kelembapan ruangan batas bawah kurang dari sama dengan 82.5% dengan nilai optimal 80-95% dan batas atas lebih dari sama dengan 90%. Perlengkapan yang digunakan sebagai berikut arduino sebagai mikrokontroller yang mengatur seluruh kinerja dari alat lainnya, sensor temperatur, sensor kekuruhan, dan semprotan. Kinerja dari alat ini dapat dipantau melalu android yang terhubung dengan mikrokontroller yang menyimpan data dengan menggunakn mysql. Pengujian fungsionalitas dan fitur pada alat ini menggunakan *black box testing* untuk mendapatkan hasil dari fitur dan juga output yang dikeluarkan dari alat. Pengujian black box testing merupakan pengujian yang fokus terhadap fungsionalitas perangkan lunak dengan tujuan menemukan kesalah fungsi, struktur data, performansi, inisialisasi, dan terminasi pada suatu perangkat(Setiyani 2019).

Pada penelitian dengan judul "Oyster Mushrooms Humidity Control Based On Fuzzy Logic By Using Arduino ATMega238 Microcontroller"(Cikarge and Arifin 2018) oleh G. P. Cikarge dan F. Arifin bertujuan untuk membuat otomatis sistem pada perawatan jamur tiram

dengan menggunakan logika fuzzy untuk memastikan sistem perawatan jamur tiram tidak tergantung pada musim atau cuaca.

Mikrokontroller ATMega238 adalah alat yang digunakan sebagai pusat kontrol, SHT11 sebagai sensor kelembapan, servo motor yang terhubung dengan sprayer untuk menyemprotkan air, lcd sebagai antarmuka yang menunjukan keadaan suhu dan kelembapan yang dideteksi oleh SHT11, kipas fan sebagai alat untuk mengurangi jumlah uap yang mana berhubungan dengan kelembapan untuk dikeluarkan dari ruangan, power supply unit sebagai daya untuk seluruh alat yang terhubung langsung dengan mikrkontroller ATMega238. Cara kerja alat ini memanfaatkan logika fuzzy untuk menghasilkan keputusan yang tepat dalam mengontrol sistem pengaturan kelembapan bagi ruangan budidaya jamur tiram.

Pengaturan suhu pada penelitian ini tidak digunakan karena lokasi penelitian berada di negara Indonesia yang merupakan negara tropis dengan rata-rata iklim suhu sebesar 25-32 °C dimana sangat sesuai untuk pertumbuhan jamur tiram. Proses pengambil keputusan menggunakan dua input variable yaitu error dan d_error dengan jarak error adalah -3 dan 3 dan jarak d_error adalah -6 dan 6. Variable error merupakan nilai selisih kelembapan terukur dikurangi dengan nilai set point, sedangankan variable d_error merupakan nilai selisih erorr dikurangi dengan nilai error sebelumnya (Husein and Kharisma 2020).

Pada penelitian dengan judul “Microcontroller based automatic temperature control for oyster mushroom plants”(Sihombing et al. 2018) oleh P. Sihombing, T. P. Astuti, dan D. Sitompul berutujuan untuk mengembangkan alat kontrol otomatis suhu dengan menggunkan mikrokontroller untuk pertumbuhan jamur tiram.

Peralatan yang digunakan untuk pengembangan alat kontrol otomatis suhu menggunakan AT89S52 sebagai mikrokontroller, SHT10 sebagai sensor suhu dan kelembapan, dan TC35i GSM untuk komunikasi wireless. Cara kerja alat pada penelitian ini yaitu dengan mendeteksi keadaan suhu ruangan dari SHT10 dengan batas atas suhu adalah 28 °C dan batas bawah suhu adalah 22 °C. Saat sensor suhu mendeteksi keadaan suhu ruangan diatas 28 °C maka pompa air akan aktif untuk menyiram ruangan hingga temperatur menurun dan jika sensor suhu mendeteksi ruangan keadaan suhu ruangan dibawah 22 °C maka lampu akan menyala untuk menaikan suhu ruangan.

Pada penelitian dengan judul “IoT based monitoring and environment control system for indoor cultivation of oyster mushroom”(Mohammed et al. 2018) oleh M. F. Mohammed, A. Azmi, Z. Zakaria, M. F. N. Tajuddin, Z. M. Isa, dan S. A. Azmi bertujuan mengimplementasikan monitoring dan kontrol ruangan untuk pertumbuhan jamur tiram

dengan menggunakan Internet of Things (IoT). Peralatan yang digunakan untuk monitoring dan kontrol ruangan jamur tiram yaitu Arduino Mega sebagai mikrokontroller, Sensor DHT22 untuk mendeteksi keadaan suhu dan ruangan, sensor BH1750 untuk mendeteksi intensitas cahaya, modul wifi ESP8266-01, dan Layar Nokia 5110 Graphic LCD untuk menampilkan hasil suhu, kelembapan, dan intesitas cahaya yang terdeksi oleh sensor.

Cara kerja sistem pada penelitian ini menggunakan tiga parameter yaitu suhu, kelembapan, dan intesitas cahaya dari sensor yang akan mendeteksi serta menampilkan keadaan ruangan setiap 5 menit. Batasan yang ditetapkan untuk kinerja yaitu suhu dengan jarak 26-29 °C yana akan menyalakan kipas fan, intesitas cahaya dengan jarak 50-300 lux yang menyalakan lampu, dan kelembapan dengan jarak 80-90% yang akan menyalakan humidifier.

Tabel 2.10 Tabel Penelitian Terdahulu

Judul	Karakteristik data	metode	fitur	Performa
Alat Penjaga Kestabilan Suhu Pada Tumbuhan Jamur Tiram Putih Menggunakan Arduino UNO R3(Riski et al. 2021)	Data primer	-	Mendeteksi suhu dan kelembapan. Antarmuka berupa lcd 16x2. Penyemprotan air otomatis.	Bekerja optimal sebagai sistem otomatis penyiraman kumbung.
Implementasi Monitoring Suhu dan Kelembapan pada Budidaya Jamur Tiram dengan IoT	Data primer yang telah diolah menjadi grafik garis.	Metode blackbox testing	Mendeteksi suhu dan kelembapan. Monitoring yang terhubung dengan smartphone. Lampu peringatan.	Kualitas jamur kurang idea mengalami penurunan sebesar 1,82% sehingga meningkatkan kualitas jamur tiram saat dipanen.

Implementasi IoT (*Internet of Things*) pada Rumah Budidaya Jamur Tiram Putih	Informasi data secara *real time*.	-	Sensor pendekteksi ph, suhu, dan kelembapan. Penyiraman dengan menggunakan pompa air 12v. penyimpanan data dengan menggunakan antarmuka website.	Penyajian data pada alat tidak ditampilkan dengan baik sehingga performa alat tidak diketahui. Selain itu, tujuan menggunakan sensor ph tanah tidak dijelaskan manfaat yang didapatkan oleh log jamur tiram.
Pengatur Suhu dan Kelembapan Otomatis Pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan Mikrokontroler ATMega16	Data infografis	-	Mendeteksi suhu dan kelembapan. Alat pengkabutan. Pengaturan kecepatan kipas fan.	Pengukuran suhu hanya dilakukan dengan rentan waktu dalam menit. Tidak dipaparkan data mengenai performa alat terhadap kenaikan timbangan panen terhadap jamur tiram.
Desain IoT untuk Smart Kumbung dengan Thinkspeak dan NodeMCU	-	eksperimental dengan pedekatan kuantitatif	Mendeteksi suhu dan kelembapan. Kipas fan untuk mendinginkan ruangan dan pompa air untuk melembabkan ruangan.	Performa dari alat yang dikembangkan tidak dipaparkan secara jelas mengenai perubahan timbangan pada jamur tiram. Namun, terdapat

			monitoring secara realtime melalui server Thingspeak.	server untuk monitoring keadaan kumbung secara realtime.
Design of temperature and humidity control system on oyster mushroom plant house based on Internet of Things (IoT)	-	Metode experimen dengan observasi secara langsung	Mendeteksi suhu dan kelembapan. Alat pengkabutan. Pengaturan suhu ruangan dengan kipas fan. Tampilan suhu dan kelembapan terhubung dengan antarmuka pada smartphone	Fungsionalitas pada alat yang dikembang telah dipaparkan dengan baik, akan tetapi tidak ada data mengenai dampak alat terhadap kenaikan bobot jamur setelah dipanen dalam rentan waktu tertentu.
Development of automatic temperature and humidity control system in kumbung (oyster mushroom) using fuzzy logic controller	Data Primer	Metode blackbox testing	Android App, Sensor Temperature, Turbidity Sensor, Spray Nozzle	Menunjukkan hasil dari perangkat yang berhasil bekerja dengan akurasi sebesar 86%.
Oyster Mushrooms Humidity Control Based On Fuzzy Logic	Data Primer	Fuzzy Logic Modelling	Fan, Sprayer, Sensor Kelembapan, Servo Motor	Sistem dapat bekerja dengan baik dan sistem dapat menjaga kelembaban jamur

By Using Arduino ATMega238 Microcontroller				tiram agar tumbuh optimal.
Microcontroller based automatic temperature control for oyster mushroom plants	Data Primer	-	Sensor HMG 20G, Sprayer Nozzle, Modul Bluetooth HC-05, Arduino Uno, Pompa mini	Sistem berfugnsi dalam menjaga kelembaban dan suhu tumbuh optimal. bluetooth dapat bekerja.

2.11 Gap Penelitian

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dikaji, sistem yang dikembangkan sebelumnya umumnya hanya berfokus pada pemantauan suhu dan kelembapan serta mekanisme kontrol air, tanpa mempertimbangkan fase pertumbuhan tubuh buah jamur tiram, khususnya dalam menjaga kondisi tetap kering menjelang panen. Padahal, pada fase tersebut, penyiraman dengan metode pengkabutan di seluruh ruangan tidak disarankan karena dapat menyebabkan jamur menjadi basah, menurunkan kualitas, dan tidak diterima pasar. Akibatnya, tujuan otomatisasi budidaya jamur tiram menjadi tidak optimal.

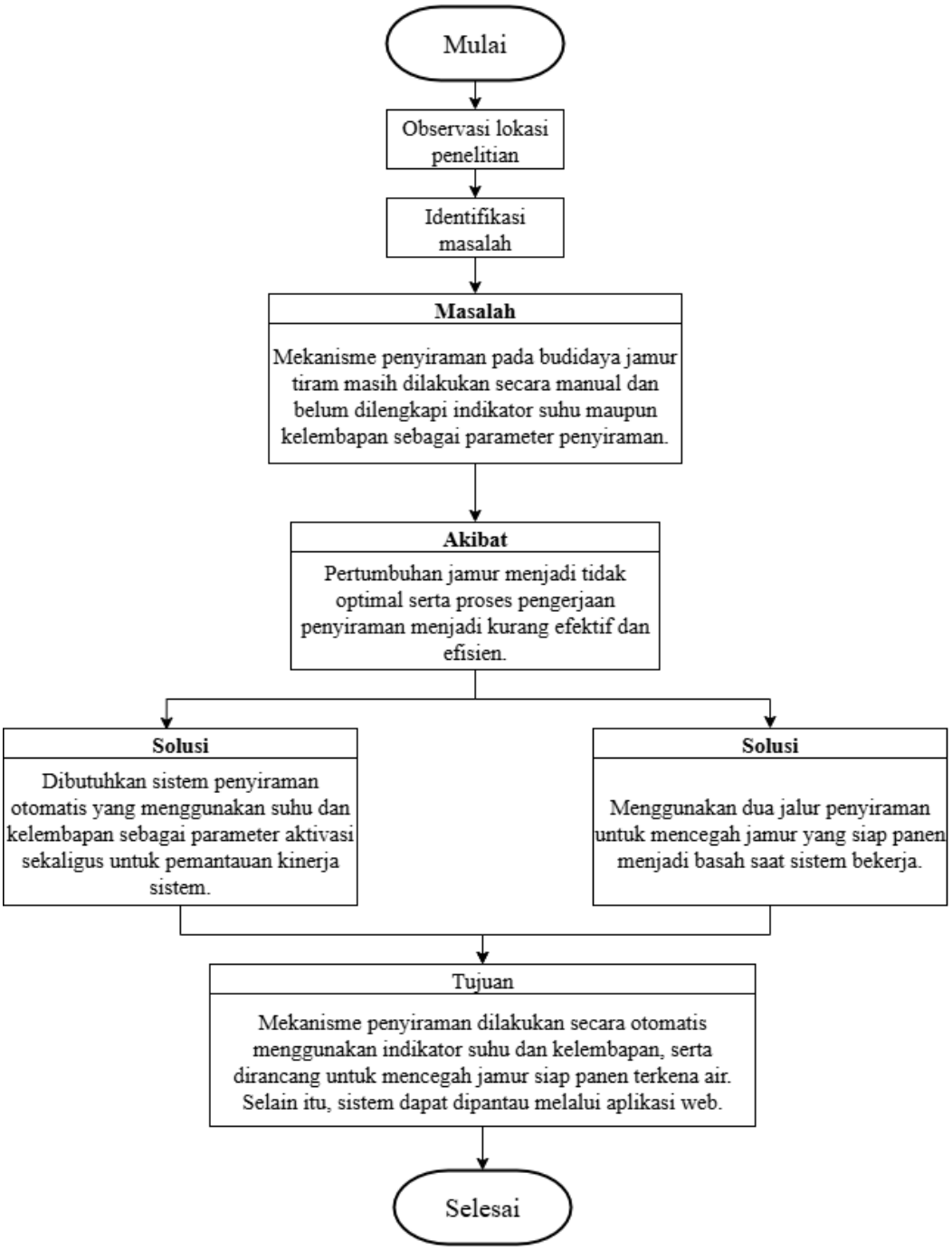
2.11.1 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini mengembangkan sistem dengan menambahkan dua jalur distribusi air yang dikendalikan oleh katup solenoid pada aliran air menuju bagian atas baglog. Katup ini dikendalikan secara manual melalui tombol untuk mengaktifkan atau menonaktifkan penyiraman atas, disesuaikan dengan fase pertumbuhan jamur. Selain itu, sistem dilengkapi fitur otomatis yang mematikan katup secara default setiap pukul 00.00 sebagai upaya pencegahan terhadap kelalaian pengguna.

Selain itu, sistem juga mengintegrasikan penyimpanan data sensor ke Firebase Realtime Database serta aplikasi web berbasis SPIFFS sebagai antarmuka lokal, sehingga kondisi kumbung dapat dipantau secara real-time. Dengan demikian, sistem ini diharapkan menjadi lebih adaptif, efisien, dan sesuai untuk mendukung otomatisasi budidaya jamur tiram.

Secara singkat, sistem penyiraman otomatis ini dirancang dengan dua jalur distribusi air yang terpisah. Jalur atas berada di bagian atas rak baglog dan diatur menggunakan katup solenoid untuk membuka atau menutup aliran air, sedangkan jalur bawah berada di bagian bawah rak baglog dan dibiarkan terbuka tanpa pengaturan. Penelitian ini juga mengevaluasi efektivitas aplikasi pemantauan berbasis SPIFFS untuk memantau kinerja sistem dan kondisi kumbung, serta menilai keberlanjutan dan keandalannya.

2.12 Kerangka Berpikir



Gambar 2.15 Diagram Kerangka Berpikir.

Pengaturan suhu dan kelembapan budidaya jamur tiram yang ditunjukkan kerangka berpikir pada Gambar 2.15 masih dilakukan secara manual dan tanpa menggunakan parameter yang tepat untuk mengetahui kondisi kumbung jamur secara presisi. Keadaan ini menyebabkan perawatan dalam berbudidaya kurang optimal dan berisiko merusak jamur itu sendiri terutama pada saat fase masa panen.

Oleh karena itu, dikembangkanlah sebuah sistem otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dapat memantau dan mengatur suhu dan kelembapan secara real-time dengan mekanisme penyiraman otomatis dan menggunakan DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembapan pada kumbung jamur tiram.

Mekanisme otomatis ini menggunakan mikrokontroller ESP32 sebagai pusat kontrol untuk memproses data serta mengontrol aktuator pompa air mini, katup solenoid, dan fan mini. Selain itu, ESP32 juga berperan sebagai server local (localhost) yang menerima data hasil dari sensor kemudian mengirimkannya ke database firebase untuk disimpan. Hasil penyimpanan data pada Database akan ditampilkan pada antar muka web melalui SPIFFS sehingga data dapat diakses dan diamati.

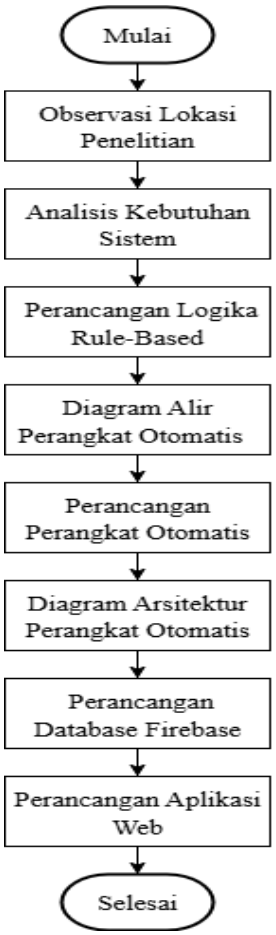
Sistem ini dapat mengontrol keadaan kumbung secara otomatis berdasarkan status suhu dan kelembapan aktual. Sistem ini juga memiliki dua jalur pengairan antara dibagian atas baglog dan dibagian bawah baglog atau permukaan tanah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.16 guna menghindari penyiraman langsung pada jamur tiram yang sudah masuk fase panen dengan menggunakan katup solenoid untuk menutup atau membuka jalur pengairan ke atas Baglog.

Gambar 2.16 Dual jalur selang di bagian atas dan di bagaian bawah.

Katup solenoid pada sistem ini tidak dikendalikan berdasarkan parameter suhu dan kelembapan, melainkan diatur secara manual melalui tombol panen. Sebagai upaya pencegahan terhadap kelalaian pengguna, sistem dilengkapi fitur otomatis yang akan menonaktifkan katup solenoid secara default setiap pukul 00.00 apabila belum dinonaktifkan secara manual. Selain itu, sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi tingkat keisian air dalam penampung, sehingga pengisian ulang dapat dilakukan sebelum air habis.

Dengan adanya sistem ini, proses budidaya jamur tiram diharapkan menjadi lebih efisien, presisi, dan terotomatisasi, sehingga dapat meningkatkan produktivitas serta mempermudah pembudidaya dalam mengelola kumbung.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian.

Tahapan metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 yang menggambarkan alur pengerjaan penelitian ini. Proses diawali dengan observasi lokasi untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem. Hasil observasi dianalisis pada tahap analisis kebutuhan sistem.

Berdasarkan hasil analisis, dilakukan perancangan logika rule-based sebagai dasar kerja sistem. Setelah logika ditentukan, dibuat diagram alir sistem otomatis untuk menjelaskan mekanisme kerja sistem. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem otomatis, yang mencakup penentuan jumlah dan jenis komponen, serta desain kumbung jamur yang digunakan dalam penelitian.

Hubungan antar komponen digambarkan melalui diagram arsitektur sistem otomatis yang menunjukkan alur input, pemrosesan, dan output sistem. Data yang diperoleh dari proses ini disimpan pada database Firebase Realtime sebagai bahan evaluasi.

Seluruh data yang tersimpan dapat diakses melalui aplikasi antarmuka web yang berfungsi sebagai media pemantauan kinerja sistem dan kondisi kumbung. Pemantauan dilakukan secara real-time berdasarkan tahapan pengambilan data yang telah ditentukan sebelumnya.

3.1 Observasi Lokasi Penelitian

Observasi dalam penelitian ini dilakukan di Dusun Bakalan, Donoharjo, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta. Berdasarkan data dari BPS (2024), lokasi tersebut memiliki suhu rata-rata minimum sebesar 20,82 °C dan suhu rata-rata maksimum mencapai 33,10 °C. Selain itu, kelembapan relatif minimum tercatat sebesar 48,25%, sedangkan kelembapan maksimum mencapai 97,25%. Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada kondisi suhu dan kelembapan sebagai parameter kinerja sistem di dalam kumbung jamur.

3.2 Analisis Kebutuhan

Dalam perancangan sistem penyiraman air otomatis untuk kumbung jamur tiram, diperlukan rancangan yang tidak mengubah tata letak baglog pada rak. Selain itu, sistem harus mengumpulkan dan menyimpan data sebagai bahan evaluasi kinerja sistem dan kondisi kumbung.

3.2.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Sistem dapat digunakan pada kumbung jamur secara luas serta menghindari kontak langsung dengan jamur terutama yang siap panen. Selain itu, sistem mampu mengendalikan kondisi suhu dan kelembapan yang ideal pada kumbung jamur sehingga memudahkan pelaku budidaya jamur tiram.

Oleh karena itu, perangkat sistem yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan dual jalur pengairan selang yaitu selang di bagian atas baglog dan selang di bagian bawah baglog di atas permukaan tanah. Pembagian jalur distribusi air menggunakan pipa tiga jalur sebagai penghubung pengairan. Selain itu, jalur pengairan yang diarahkan ke bagian atas baglog jamur dilengkapi dengan katup solenoid sebagai pengatur aliran air otomatis.

Katup solenoid dirancang untuk membuka saat tombol ditekan dan menutup kembali ketika tombol ditekan ulang. Sebagai fitur keamanan tambahan, katup ini akan tertutup secara otomatis pada pukul 00.00 untuk mencegah kelalaian pengguna dalam mematikan katup setelah proses panen selesai Penjelasan lebih lanjut mengenai alur kerja katup solenoid disajikan pada subbab 3.4 Diagram Alir Sistem Otomatis dan Gambar 3.6.

3.2.2 Analisis Kebutuhan Data

Skenario pengambilan data dibutuhkan untuk memberikan batasan pada eksperimen sehingga data yang diambil merupakan data yang terukur. Pengambilan data dilakukan selama tiga hari berturut-turut dengan sistem berjalan secara kontinu.

Penyimpanan data sistem dilakukan dengan merekam informasi penting yang dihasilkan dari kinerja komponen, perangkat, dan respons sistem. Data sensor dicatat oleh ESP32 dengan interval 5–10 detik, kemudian dikirim dan disimpan pada Firebase Realtime Database. Data yang dikumpulkan meliputi:

a. Waktu pencatatan data (timestamp)
b. Kapasitas air
c. Kelembapan
d. Status kelembapan
e. Suhu (°C)
f. Status suhu
g. Status Tombol Panen (Dalam penyimpanan adalah ‘panen’ atau ‘belum panen’)

Pengujian dilakukan menggunakan 10 baglog dengan tiga bentuk tunas jamur tiram (*pinhead*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 hingga Gambar 3.4 , yaitu tunas kecil, tunas sedang, dan tunas menjelang panen. Tujuan pengujian ini adalah memastikan jamur tiram tumbuh optimal dan terhindar dari penyiraman langsung ketika sistem bereaksi terhadap penurunan kelembapan atau kenaikan suhu di dalam kumbung. Dengan demikian, jamur tetap kering dan tidak rusak saat dipanen. Selain itu, pengambilan data ini bertujuan untuk mengamati respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan di kumbung jamur serta mengevaluasi efektivitas kendali otomatis berbasis logika rule-based yang diterapkan.

Gambar 3.2 Kondisi baglog sisi kiri.

Gambar 3.3 Kondisi baglog sisi tengah.

Gambar 3.4 Kondisi baglog sisi kanan.

3.2.3 Kondisi Sistem

Pengamatan kondisi sistem selama pengujian dilakukan untuk mengetahui respons dan kinerja sistem, khususnya pada beberapa aspek utama dalam mekanisme kerjanya. Oleh karena itu, saat sistem berjalan, ada beberapa kondisi penting yang harus diperhatikan, meliputi:

a. Respon sistem saat peningkatan suhu terutama pada siang hari
b. Aktifasi pompa air dalam menangani perubahan kelembapan yang menurun
c. Perlindungan pada jamur tiram untuk tetap kering dengan penerapan status Tombol Panen yang mengendalikan aktif/nonaktif katup solenoid
d. Perubahan status Tombol Panen dari aktif menjadi nonaktif Katup Solenoid saat pukul 00.00

Mekanisme kerja sistem selama beroperasi diamati untuk memastikan semua fungsi berjalan sesuai perancangan. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis dan dibahas lebih lanjut pada Bab IV guna menilai kinerja serta akurasi sistem yang telah dirancang.

3.3 Penerapan Rule-Based

Logika berbasis aturan (rule-based) digunakan dalam pengambilan keputusan untuk mengatur mekanisme aktuator dalam mengendalikan kelembapan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan suhu pada Tabel 3.2. Setiap rentang nilai yang ditetapkan akan dikategorikan sebagai input data dan disimpan oleh sistem sebagai bagian dari proses pemantauan.

Tabel 3.1 Nilai Rentang Aktivasi Pompa Air pada Kategori Kelembapan

Kategori	Nilai Rentang
Terlalu Lembab	Kelembapan > 90%
Lembab	Kelembapan >= 80%
Kurang Lembab	Kelembapan >= 70%
Kering	Kelembapan < 70%

Tabel 3.2 Nilai Rentang Aktivasi Fan Mini pada Kategori Suhu

Kategori	**Nilai Rentang**
Dingin	Suhu < 25℃
Sejuk	Suhu >= 25℃
Hangat	Suhu >= 28℃
Panas	Suhu > 30℃

Nilai ambang batas suhu serta kelembapan pada kinerja sistem ini, didasarkan pada penelitian dengan judul “Perancangan Sistem Kontrol Suhu dan Kelembaban Ruangan pada

Budidaya Jamur Tiram Berbasis Internet of Things" dan "Implementasi Monitoring Suhu dan Kelembaban pada Budidaya Jamur Tiram dengan IOT" (Wahyu et al. 2018; Wibowo et al. 2021).

Input suhu yang telah diklasifikasikan ke dalam kategori linguistik seperti 'dingin', 'sejuk', 'hangat', atau 'panas'. Sedangkan kelembapan diklasifikasikan menjadi 'kering', 'kurang lembab', 'lembab', atau 'terlalu lembab'. Klasifikasi tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 digunakan untuk menentukan status kerja aktuator secara proporsional dan responsif terhadap kondisi lingkungan di dalam kumbung.

Tabel 3.3 Aturan Rule-Based untuk Pengendalian Aktuator Suhu pada Fan Mini

Suhu	**Fan Mini (V)**
Panas	100%
Hangat	75%
Sejuk	50%
Dingin	25%

Tabel 3.4 Aturan Rule-Based untuk Pengendalian Aktuator Kelembapan pada Pompa Air

Kelembapan	**Pompa Air (V)**
Kering	Aktif
Kurang Lembab	Aktif
Lembab	Tidak Aktif
Terlalu Lembab	Tidak Aktif

Sebagai contoh, **fan mini** hanya bekerja berdasarkan suhu sebagaimana dijelaskan pada Tabel 3.3 Jika suhu berada pada kategori 'panas', fan diaktifkan dengan kecepatan maksimal (100%). Apabila suhu termasuk kategori 'hangat', fan beroperasi pada 75% dari kecepatan maksimal. Selanjutnya, jika suhu berada pada kategori 'sejuk', fan beroperasi pada 50% kecepatan, atau pada kategori 'dingin', fan beroperasi pada 25% kecepatan. Pengaturan ini bertujuan untuk menjaga kestabilan suhu kumbung serta mengurangi risiko kerusakan dan pemborosan daya.

Pompa air dikendalikan oleh sistem berdasarkan pembacaan kelembapan dari sensor DHT22 sebagaimana dijelaskan pada Tabel 3.4. Pompa akan aktif jika kelembapan berada pada

kategori ‘kering’ atau ‘kurang lembab’, atau otomatis nonaktif ketika kelembapan mencapai kategori ‘lembab’ atau ‘terlalu lembab’.

Oleh karena itu, pompa air hanya bekerja berdasarkan parameter kelembapan, sedangkan fan mini hanya bekerja berdasarkan parameter suhu. Meskipun keduanya menggunakan pembacaan dari sensor yang sama, yaitu DHT22, kinerja kedua aktuator tersebut tetap terpisah sesuai parameter yang digunakan untuk mengaktifkannya.

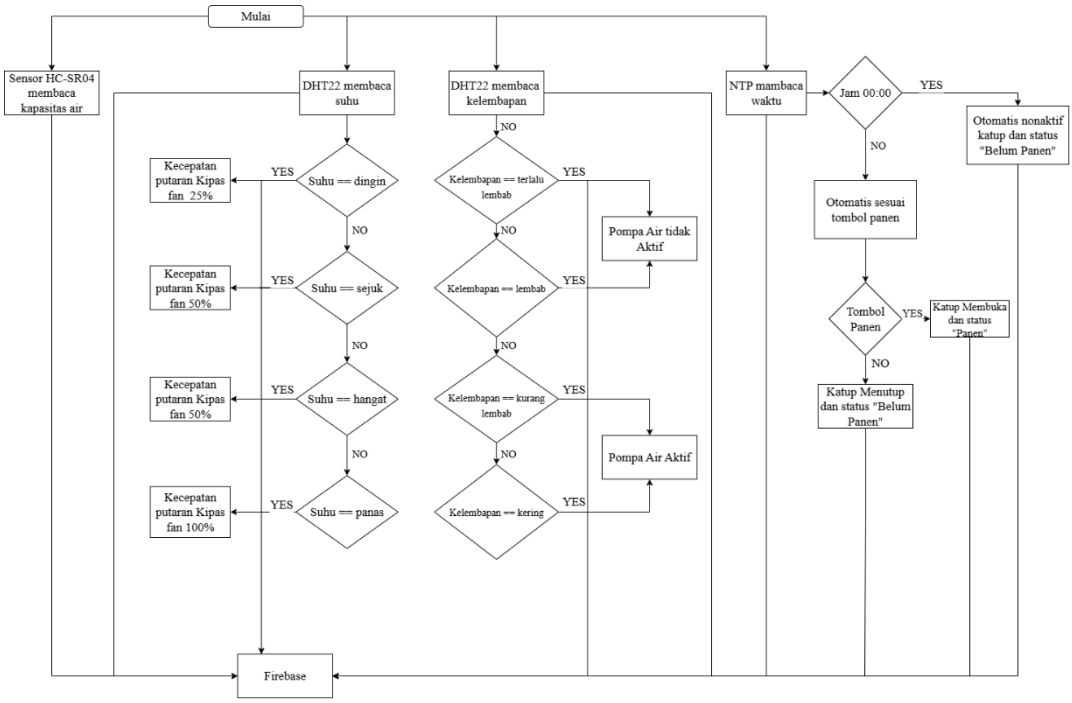
Distribusi air diatur sesuai fase pertumbuhan jamur melalui kendali manual menggunakan tombol panen yang mengaktifkan katup solenoid. Saat katup solenoid aktif, air dialirkan ke bagian atas dan bawah baglog. Sebaliknya, ketika katup nonaktif, air hanya dialirkan ke bagian bawah baglog. Mekanisme ini mencegah jamur tiram yang siap panen menjadi basah berlebihan akibat penyiraman langsung dari atas, yang dapat menurunkan kualitas dan daya jual produk di pasar. Dengan integrasi seluruh komponen tersebut, sistem ini diharapkan mampu memberikan kendali otomatis yang efisien, adaptif, dan presisi dalam proses budidaya jamur tiram, sehingga mendukung peningkatan produktivitas dan kualitas hasil panen.

3.3.1 Algoritma Sistem

Algoritma sistem menggambarkan urutan proses ketika sistem merespons perubahan suhu dan kelembapan di dalam kumbung. Selain itu, algoritma ini menjelaskan mekanisme kerja aktuator, termasuk kapan dan bagaimana perangkat tersebut diaktifkan atau dinonaktifkan sesuai kondisi lingkungan.

1. Sistem mulai berjalan dan menginisialisasi sensor.
2. Membaca suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 secara real-time.
3. Membaca ketinggian air di tandon dari sensor HC-SR04 secara real-time.
4. Mengevaluasi nilai suhu dan kelembapan berdasarkan logika:
    1. Jika suhu = dingin kecepatan fan 25% atau suhu = sejuk kecepatan 50% atau suhu = hangat 75% atau suhu = panas kecepatan 100%.
    2. Jika kelembapan = kering/kurang lembab maka pompa akan aktif atau jika kelembapan = lembab/terlalu lembab maka pompa akan nonaktif.
5. Kirim data suhu (°C), kelembapan, waktu pencatatan data (timestamp), Status Tombol Panen (panen/belum panen), status kelembapan, Status suhu, dan kapasitas air dengan interval waktu setiap 5-10 detik ke Firebase.
6. Mengulangi proses dari langkah 2.

3.4 Diagram Alir Sistem Otomatis



Gambar 3.5 Diagram Alir Mekanisme Perangkat Otomatis.

Diagram alir penyiraman jamur tiram otomatis, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5, menggambarkan alur kerja sistem yang dirancang untuk menjaga suhu dan kelembapan kumbung secara otomatis. Sistem ini berjalan secara berkelanjutan (looping) selama perangkat aktif dan hanya berhenti saat dimatikan secara manual. Oleh karena itu, tidak terdapat simbol "End" dalam diagram karena karakteristik sistem ini merupakan sistem tertanam berbasis waktu nyata (*real-time embedded system*).

Secara garis besar, sistem ini beroperasi dengan membaca data dari sensor dan modul waktu, mengirimkan data ke Firebase Realtime Database, serta mengambil keputusan terhadap pengendalian aktuator berdasarkan logika yang telah ditetapkan. Setelah sistem diaktifkan, seluruh komponen seperti sensor suhu dan kelembapan, sensor jarak, aktivasi katup melalui tombol, dan pembacaan waktu diinisialisasi dan berjalan secara paralel, terhubung dengan mikrokontroler ESP32 serta Firebase sebagai media penyimpanan data.

Pengambilan keputusan dalam sistem ini menggunakan pendekatan logika berbasis aturan (*rule-based logic*), yaitu metode yang menyatakan kondisi tertentu dalam bentuk struktur "IF-THEN" (Yang and Zhu 2024).

Sensor-sensor yang aktif secara bersamaan melakukan pembacaan nilai lingkungan pada kumbung; sensor HC-SR04 digunakan untuk mengukur kapasitas air dalam penampung, sedangkan sensor DHT22 berfungsi mendeteksi suhu dan kelembapan udara.

3.5 Perancangan Sistem Otomatis

3.5.1 Komponen Otomatis Penyiraman jamur tiram

Tabel 3.5 Jumlah Kebutuhan Komponen Dalam Perangkat

Komponen	Jumlah	Fungsi
ESP32	1	Pusat kendali, penyimpanan konfigurasi file web, dan *localhost* server
Katup Solenoid	1	Menutup/membuka distribusi air ke arah atas baglog
LCD 20x4	1	Tampilan text untuk memantau keadaan kumbung
Sensor Ultrasonik HC-SR04	1	Mengukur kapasitas air
DHT22	1	Mendeteksi suhu dan kelembapan pada kumbung
Pompa Air 12 V 5 A	1	Menyedot air pada penampung air dan distribusi air untuk meningkatkan kelembapan kumbung
Adaptor 12 V 8A	1	Sumber listrik eksternal untuk menghidupkan pompa air, katup solenoid, dan Fan Mini
Adaptor 5V 2.5A	1	Sumber daya utama untuk menghidupkan ESP32
Fan Mini DC 12 V 0.2A	6	Mengalirkan udara panas di dalam kumbung untuk keluar
Relay single channel	2	Saklar digital yang terhubung adaptor 12v 8A untuk otomatis aktif/nonaktif pompa air dan katup solenoid.
L298N	1	Mengatur kecepatan PWM Fan Mini

Komponen yang digunakan pada perangkat otomatis ditunjukkan pada Tabel 3.5. Tabel tersebut memuat daftar komponen beserta jumlah dan fungsi dari masing-masing komponen. Selain itu, tabel tersebut juga menunjukkan bahwa perangkat otomatis memerlukan sumber daya eksternal untuk dapat diaktifkan.

3.5.2 PIN Terhubung dengan ESP32

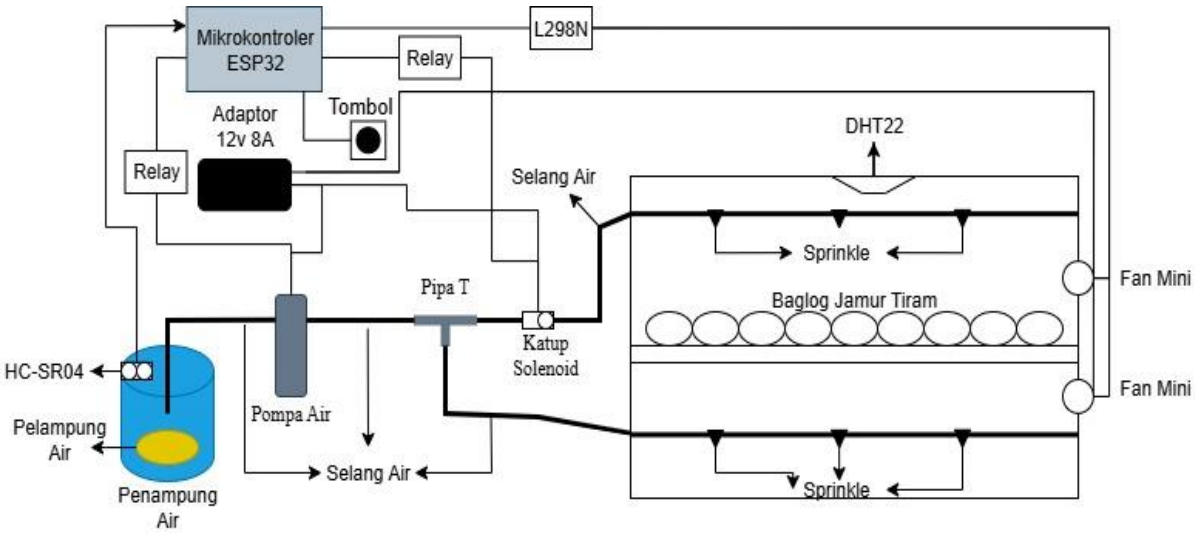
Tabel 3.6 PIN Terhubung dengan ESP32

PIN ESP32	Kebutuhan Pin Perangkat	Nama Alat
5	TRIG PIN	Sensor Ultrasonic HC-SR04
18	ECHO_PIN	
5V/3.3V	VCC	
GND	GND	
4	Pin Input/Output	DHT22
5V/3.3V	VCC	
GND	GND	
26	Pin Input/Output	Relay katup solenoid
5V/3.3V	VCC	
GND	GND	

25	Pin Input/Output	Relay Pompa Air Sprayer Pump ASSY
5V/3.3V	VCC	
GND	GND	
27	Pin Input/Output	L298N
14	Pin Input/Output	
12	Pin Input/Output Enable (PWM)	
GND	GND	
21	SDA	I2C LCD 20x4
22	SCL	

Masing-masing komponen yang terhubung dengan pin pada ESP32 ditunjukkan pada Tabel 3.6. Tabel tersebut memuat daftar komponen beserta nomor pin yang digunakan agar setiap komponen dapat berfungsi dengan baik. Selain itu, konfigurasi pin pada ESP32 disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing komponen, sehingga hubungan antara pin ESP32 dan komponen dapat terdefinisi dengan jelas.

3.5.3 Perancangan Kumbung Jamur Tiram



Gambar 3.6 Desain Kumbung Jamur Tiram.

Ilustrasi pada Gambar 3.6 menampilkan representasi visual dari desain sistem otomatis penyiraman pada budidaya jamur tiram. Skema ini memperlihatkan keterkaitan fisik antar komponen utama, alur distribusi air, serta tata letak sensor dan aktuator yang saling terintegrasi

untuk membentuk satu kesatuan sistem otomasi. Desain ini bertujuan menggambarkan hubungan kerja seluruh perangkat, mulai dari sumber air hingga mekanisme pengendalian.

Desain tersebut terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler ESP32 sebagai unit kontrol, penampung air, pompa air untuk mengalirkan air dari penampung, katup solenoid yang berfungsi menutup atau membuka aliran air ke atas baglog, serta tombol sebagai pemicu pembukaan dan penutupan katup solenoid. Sistem juga dilengkapi dua buah relay sebagai saklar digital, Sensor HC-SR04 untuk mengukur kapasitas air berdasarkan jarak antara sensor dengan pelampung, Sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan kumbung, modul L298N sebagai pengendali kecepatan fan mini, serta fan mini yang digunakan untuk mengontrol suhu ruang. Seluruh aktuator memperoleh catu daya dari adaptor eksternal, yang juga mengaktifkan pompa air, katup solenoid, dan fan mini.

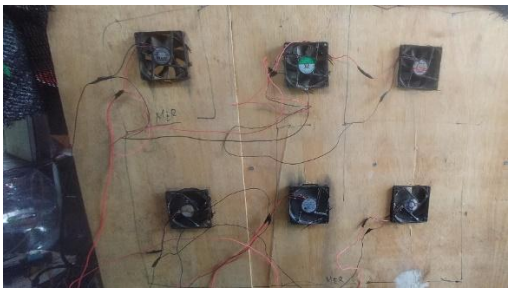
Selain menggambarkan konfigurasi komponen, Gambar 3.6 juga menampilkan hubungan antara penampung air dan dua jalur pengairan—yaitu ke sprinkler atas dan bawah baglog—yang dipisahkan oleh pipa T. Dalam keadaan normal, katup solenoid berada pada posisi tertutup (nonaktif), sehingga aliran air hanya mengarah ke sprinkler bawah untuk membasahi permukaan tanah. Aktivasi katup solenoid dilakukan melalui tombol; ketika tombol ditekan, katup akan terbuka (aktif), sehingga apabila kelembapan kumbung terdeteksi berada pada ambang tertentu sesuai Tabel 3.1 dan Tabel 3.4 serta pompa air aktif, maka air akan disalurkan ke seluruh sprinkler, baik atas maupun bawah, sehingga penyiraman terjadi di seluruh ruangan kumbung. Jika tombol kembali ditekan, katup akan menutup, dan penyiraman kembali hanya terjadi pada bagian bawah baglog.

3.5.4 Penerapan Sistem Otomatis

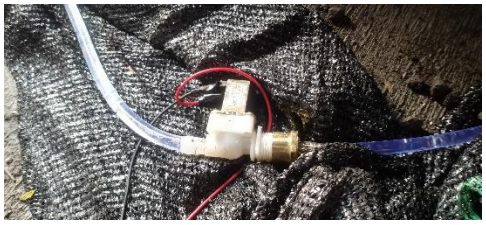
Perancangan perangkat otomatis pada penelitian ini menyesuaikan terhadap ukuran, kondisi, dan tata letak baglog pada kumbung. Desain kumbung jamur dapat dilihat pada Gambar 3.6 serta penataan baglog pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8. Perangkat aktuator yang digunakan meliputi fan mini untuk mengontrol suhu dilihat pada Gambar 3.9, katup solenoid sebagai pengendali ke atas baglog dapat dilihat pada Gambar 3.10 serta penampung air dan pompa air dapat dilihat pada Gambar 3.11. Instalasi air untuk mengontrol kelembapan kumbung pada budidaya jamur tiram secara merata dapat dilihat pada Gambar 3.12 dan Gambar 3.13.

Gambar 3.7 Tata letak baglog dari depan.

Gambar 3.8 Tata letak baglog dari atas.



Gambar 3.9 Penempatan Fan Mini pada Kumbung Jamur Tiram.



Gambar 3.10 Katup Solenoid.

Gambar 3.11 Penampung dan Sensor HC-SR04.

Gambar 3.12 Instalasi selang di atas baglog.

Gambar 3.13 Instalasi selang di bawah baglog.

Instalasi aktuator sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3.10 hingga Gambar 3.13 merupakan implementasi fisik dari desain rancangan sistem otomatis yang dapat dilihat pada Gambar 3.6. Pengaturan distribusi air ke jalur atas baglog dikendalikan oleh katup solenoid, yang berfungsi membuka atau menutup saluran air sesuai dengan status kontrol panen yang

dikendalikan oleh tombol manual. Dengan pengaturan ini, penyiraman di atas baglog dapat dihindari saat jamur memasuki fase panen. Sementari itu, distribusi air untuk penyiraman bagian bawah diarahkan ke permukaan tanah pada bawah baglog guna mempertahankan tingkat kelembapan ruang budidaya serta mencegah pembasahan langsung pada tubuh buah jamur.

Gambar 3.14 Informasi pada LCD 20x4 Mengenai Kondisi Kumbung.

LCD 20x4 digunakan untuk menampilkan informasi kondisi kumbung, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.14. Informasi yang ditampilkan meliputi suhu dan kelembapan, kapasitas air, tanggal dan waktu aktual, status akses server lokal erta status panen yang dikontrol melalui aktivasi tombol pengatur katup solenoid (BP untuk belum panen dan katup menutup, PP untuk panen dan katup membuka).

Pada tampilan LCD, "SH" menunjukkan nilai suhu kumbung dan "LB" menunjukkan nilai kelembapan yang terdeteksi oleh sensor DHT22. Kapasitas air ditampilkan pada indikator "KP" dalam bentuk persentase ketersediaan air.

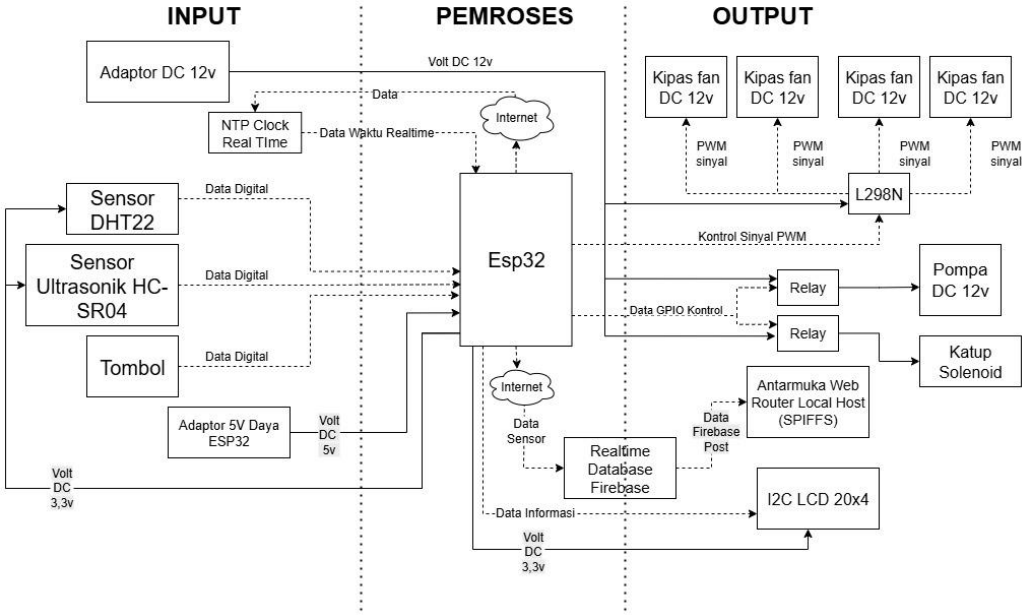
Baris ketiga LCD menampilkan tanggal, bulan, dan waktu aktual. Baris keempat berisi alamat URL yang dapat digunakan untuk mengakses aplikasi web monitoring. Selain itu, indikator kategori suhu dan kelembapan berdasarkan uga ditampilkan pada kolom Suhu|Kelembapan dalam format (h|L), dengan penjelasan kategori tersebut dijabarkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Keterangan Suhu dan Kelembapan pada LCD 20x4

Suhu	
Simbol	Keterangan
p	Panas
h	hangat
a	Sejuk
d	dingin

Kelembapan	
simbol	Terlalu Lembab
T	Lembab
L	Kurang Lembab
K	Kering
P	Terlalu Lembab

3.6 Diagram Arsitektur Sistem Otomatis



Garis sambung : Menunjukkan koneksi aliran arus atau tegangan utama antara block komponen.

Garis Putus-Putus : Menunjukkan aliran komunikasi data, kontrol sinyal, dan komunikasi logika antara block komponen.

Gambar 3.15 Diagram Block Rancangan Sistem.

ESP32 berperan sebagai pusat kendali utama dalam sistem otomatis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.15. Perangkat ini dirancang untuk mengoordinasikan seluruh proses otomasi, mulai dari pembacaan data sensor hingga pengendalian aktuator secara real-time.

Sebagai pengendali utama, ESP32 mengelola akuisisi data dari sensor DHT22 (suhu dan kelembapan), sensor ultrasonik HC-SR04 (kapasitas air), dan aktivasi tombol serta mengirimkan data tersebut ke Firebase Realtime Database untuk penyimpanan dan pemantauan. Proses pengiriman data ini memerlukan jaringan internet karena Firebase merupakan layanan cloud. Selain itu, ESP32 juga bertugas mengendalikan aktivasi pompa air,

tombol untuk katup solenoid, dan pengaturan kecepatan Fan Mini sesuai logika sistem yang ditunjukkan pada subbab 3.4 Diagram Alir Sistem Otomatis .

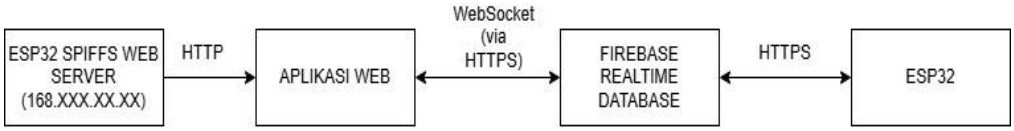
Selain berfungsi sebagai pusat kendali, ESP32 juga berfungsi sebagai server lokal yang menyediakan antarmuka web berbasis library SPIFFS. Melalui antarmuka ini, data sensor yang tersimpan di Firebase dapat diakses dan dimonitor secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau status sistem penyiraman secara efisien dan terpusat.

3.7 Perancangan Database

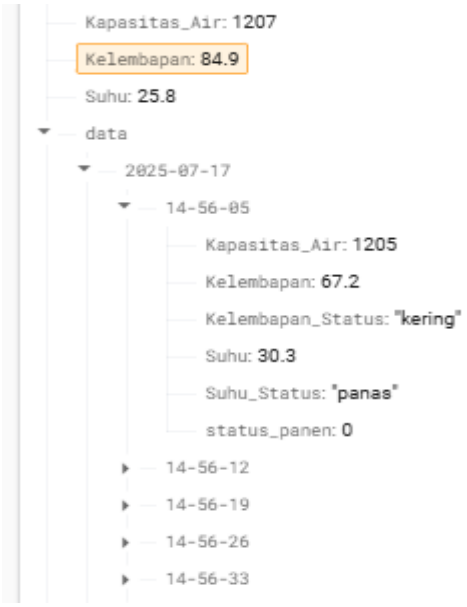
Komunikasi data merupakan aspek penting dalam penerapan sistem otomatis karena memungkinkan terjadinya pertukaran informasi antara unit kendali, media penyimpanan, dan antarmuka pemantauan. Pada sistem ini, proses komunikasi bergantung pada koneksi internet, sehingga pencatatan data hanya akan berlangsung apabila jaringan dalam kondisi aktif. Salah satu metode komunikasi yang digunakan adalah protokol HTTP, yang didukung oleh arsitektur REST API untuk mengirimkan data secara terstruktur dan efisien dari perangkat ke server.

Dalam sistem ini, mikrokontroler ESP32 berperan dalam mengirimkan data hasil pembacaan sensor DHT22 dan sensor ultrasonik HC-SR04 ke Firebase sebagai media penyimpanan daring. Data tersebut dikemas dalam format JSON, kemudian dikirimkan secara berkala menggunakan metode HTTP POST. Mekanisme komunikasi data ini dapat dilihat pada Gambar 3.16, sedangkan format data yang dikirim dan dikemas dalam format JSON ditampilkan pada Gambar 3.17 dan Gambar 3.18.

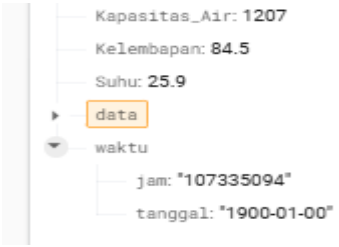
Data yang telah disimpan di Firebase disajikan melalui aplikasi antarmuka berbasis web sebagai media pemantauan sistem secara real-time. Antarmuka ini hanya dapat diakses apabila sistem dalam keadaan aktif.



Gambar 3.16 Contoh hubungan akses Mikrokontroller dan Web.



Gambar 3.17 Struktur data pada Firebase.



Gambar 3.18 Struktur data pada firebase.

3.8 Perancangan Aplikasi Web

Data hasil pembacaan sensor yang tersimpan di *Firebase Realtime Database* disajikan melalui aplikasi web sebagai media pemantauan kondisi kumbung dan status sistem saat beroperasi. Aplikasi web ini terdiri dari tiga halaman utama:

1. Halaman Utama menampilkan informasi ringkas dari perangkat otomatis, berupa grafik garis, tabel data, serta kondisi suhu, kelembapan, dan kapasitas air. Semua informasi diperbarui secara langsung (*real-time*), sehingga kondisi kumbung jamur dapat dipantau setiap saat.
2. Halaman Tabel menyajikan seluruh data yang tersimpan di database dalam bentuk tabel. Data yang disajikan yaitu: waktu (timestamps), kapasitas air, kelembapan, status kelembapan, suhu, status suhu, dan status panen. Data ini dapat diunduh untuk keperluan dokumentasi atau analisis lebih lanjut.

3. Halaman Visual Data menampilkan grafik garis suhu dan kelembapan, dengan sumbu horizontal (X) menunjukkan waktu (*timestamp*) dan sumbu vertikal (Y) menunjukkan nilai suhu atau kelembapan.

Informasi pada aplikasi web disajikan secara ringkas dan mudah dipahami selama proses pemantauan. Antarmuka dirancang sederhana dengan tampilan yang padat informasi, sehingga tidak membebani sistem, tetap jelas, dan dapat dioperasikan secara langsung.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Sistem

Sistem otomatis penyiraman dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dalam budidaya jamur tiram dengan menggunakan Mikrokontroler ESP32. Klasifikasi suhu dan kelembapan dilakukan menggunakan Logika Rule-Based, di mana setiap nilai masukan dikelompokkan secara tegas ke dalam kategori tertentu (Azam et al. 2021).

Mekanisme sistem ini memanfaatkan beberapa komponen utama, yaitu: Sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan kumbung, Sensor HC-SR04 untuk mengukur kapasitas air dalam penampung, pompa air untuk mendistribusikan air ke ruang budidaya, katup solenoid untuk membuka dan menutup aliran air menuju bagian atas baglog, kipas mini untuk mengeluarkan udara panas dari dalam kumbung, serta LCD 20x4 untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor dan status perangkat dalam bentuk alfanumerik.

Implementasi program difokuskan pada pengolahan data sensor, pengelompokan kategori suhu dan kelembapan, serta penerapan logika utama dalam pengendalian aktuator berdasarkan kondisi lingkungan yang terdeteksi. Data hasil pembacaan sensor dicatat dan dikirimkan ke Database Firebase untuk dianalisis lebih lanjut. Selanjutnya, data tersebut juga digunakan oleh aplikasi web sebagai dasar pemantauan kondisi kumbung secara real-time.

Pada implementasi sistem ini, tidak dilakukan proses kalibrasi terhadap Sensor DHT22 maupun Sensor HC-SR04. Penelitian menggunakan pengaturan bawaan pabrik dari kedua sensor tersebut untuk pembacaan kondisi kumbung dan kapasitas air pada penampung.

4.2 Logika Program

Logika program berupa code yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 digunakan untuk mengelola pengambilan keputusan terhadap sistem dari data sensor DHT22. Keputusan diambil berdasarkan kategori nilai dari suhu dan kelembapan melalui inisialisasi suhuKumbung dan lembabKumbung untuk mekanisme pengaturan kecepatan fan mini dan mengaktifkan/menonaktifkan pompa air.

```
String SuhuKumbung(float suhu){
if(suhu > 30){
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("p|");
return "panas";
}else if(suhu >=28){
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("h|");
return "hangat";
}else if(suhu >=25){
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("a|");
return "sejuk";
}else{
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("d|");
return "dingin";
}
}
String KelembapanKumbung(float lembab){
if(lembab > 90){
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("T");
return "terlalu lembab";}
else if(lembab >= 80) {
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("L");
return "lembab";}
else if(lembab >= 70) {
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("K");
return "kurang lembab";}
else {
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print("P");
return "kering";}
   }
```

Gambar 4.1 kode program Nilai Rentang Suhu dan Kelembapan.

```
void KontrolSistem(){
      std::pair<float,float> dataDht = SensorDht();
      String suhuKumbung = SuhuKumbung(dataDht.first);
      String lemb
    // kontrol kipas fan berdasarkan SUHU
abKumbung = KelembapanKumbung(dataDht.second);

      suhuKumbung.toLowerCase();
      lembabKumbung.toLowerCase();


    // Aktivasi Pompa air berdasarkan SUHU
      if (lembabKumbung == "terlalu lembab" || lembabKumbung ==
"lembab") {
      digitalWrite(rel2, HIGH);  // Pompa mati
    } else {
      digitalWrite(rel2, LOW);   // Pompa nyala (karena kurang
lembab atau kering)
    }

    // kontrol kipas fan berdasarkan SUHU
    if (suhuKumbung == "panas") {
      ledcWrite(0, 4095);
    } else if (suhuKumbung == "hangat") {
      ledcWrite(0, 3071);
    } else if (suhuKumbung == "sejuk") {
      ledcWrite(0, 2047);
    } else {
      ledcWrite(0, 1024);
    }
  }
```

Gambar 4.2 Kode aktivasi pompa air dan fan mini.

4.3 Validasi Fungsi Sistem dengan BlackBox Testing

Validasi sistem dibutuhkan untuk memastikan bahwa komponen sistem otomatis dapat bekerja sesuai dengan alur logika yang ditetapkan. Validasi ini mencakup pemantauan kinerja sistem setiap komponen dalam mencapai kondisi kumbung optimum untuk pertumbuhan jamur tiram berdasarkan suhu dan kelembapan yang diterima dari sensor.

Pengujian dilakukan berdasarkan skenario pengujian pada Tabel 4.1 untuk mengetahui kinerja dari setiap komponen. Selain itu, penerapan sistem berdasarkan klasifikasi aturan yang ditetapkan pada logika program.

Tabel 4.1 BlackBox Skenario Pengujian

TEST ID	Konponen	Skenario Pengujian
01	ESP32	Memberikan perintah kepada komponen L298N dan Relay.
02	ESP32	Mengirimkan data sensor ke Firebase Realtime Database secara real-time.
03	LCD 20x4	menampilkan informasi dari sensor dan status perangkat dalam bentuk alfanumerik.
04	HC-SR04	Mengirimkan informasi kapasitas penampung air berdasarkan jarak antara sensor dengan pelampung.
05	DHT22	Mengirimkan informasi kondisi kumbung berdasarkan suhu dan kelembapan.
06	Pompa Air	Mendistribusikan air jika kelembapan pada kategori “kurang lembab” atau “kering” sehingga menaikkan kelembapan kumbung pada kondisi “lembab”.
07	Pompa Air	Menghentikan distribusi air jika kelembapan pada kategori “lembab” atau “terlalu lembab”.
07	Katup Solenoid	Menutup jalur distribusi air ke arah atas baglog.
08	Katup Solenoid	Membuka jalur distribusi air ke arah atas baglog jika status panen adalah “panen” berdasarkan perintah tombol panen.
09	Katup Solenoid	Menutup jalur distribusi air ke arah atas baglog ketika sedang dalam status “panen” saat waktu pukul 00:00 dan status kembali menjadi “belum panen”.
10	L298N	Mengatur kecepatan kipas fan berdasarkan kategori suhu yang telah ditetapkan pada rule-based serta mempertahankan kondisi kumbung pada kategori “ideal”.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian BlackBox

Test ID	**Hasil Pengujian**	**Status**
01	ESP32 sebagai kontroler dapat memberikan perintah kepada komponen dengan baik sesuai dengan harapan.	PASS

02	ESP32 sebagai lokal server dapat mengirimkan data ke Firebase Realtime Database.	PASS
03	LCD 20x4 dapat menampilkan informasi alfanumerika terhadap seluruh kondisi komponen DHT22, Sensor Ultrasonic HC-SR04, Waktu NTP, Informasi akses web lokal (192.168.xx.xx), serta Status Panen.	PASS
04	Sensor HC sr04 dapat mendeteksi pelampung pada permukaan air sesuai dengan harapan.	PASS
05	Sensor DHT22 dapat mendeteksi suhu dan kelembapan kondisi kumbung.	PASS
06	Pompa air dapat mendistribusikan air berdasarkan kategori “kurang lembab” dan “kering” untuk menaikkan kelembapan kumbung pada katgori “lembab”.	PASS
07	Pompa air dapat menghentikan distribusi air jika mencapai kategori “lembab” dan “terlalu lembab”.	PASS
08	Katup Solenoid dapat membuka jalur distribusi air ke arah atas baglog saat status panen berada pada kondisi “panen”, akan tetapi katup tidak membuka sepenuhnya.	PASS
09	Katup solenoid dapat menutup jalur distribusi air ke arah atas baglog ketika sedang dalam status “panen” saat waktu pukul 00:00 dan status kembali menjadi “belum panen”.	FAIL
10	L298N dapat Mengatur kecepatan kipas fan berdasarkan kategori suhu yang telah ditetapkan pada rule-based tetapi, pada kategori “dingin” fan mini tidak berputar.	FAIL

Hasil pengujian menggunakan blackbox testing yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 memperlihatkan bahwa pada TEST ID 09 dan TEST ID 10 terjadi kegagalan sistem. Pada TEST ID 09, kegagalan terjadi karena katup solenoid seharusnya nonaktif secara otomatis pada pukul 00:00, namun pada implementasinya katup tetap dalam kondisi terbuka. Kegagalan ini disebabkan oleh kesalahan sintaks pada kode program yang menangani fungsi otomatisasi katup.

Pada TEST ID 10, fan mini tidak berfungsi sebagaimana mestinya saat suhu berada pada kategori "dingin" sesuai aturan pada Tabel 3.3, di mana fan mini hanya berputar pada 25% dari putaran maksimal. Kondisi ini disebabkan oleh nilai PWM yang terlalu rendah, sehingga

berada pada zona mati (dead zone) fan mini dan tidak menghasilkan torsi yang cukup untuk memutar baling-baling.

4.4 Hasil Monitoring

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 20 hingga 23 Mei 2025, dengan interval waktu 5 hingga 10 detik dalam pengambilan data. Pengambilan data dengan menggunakan rentang tersebut bertujuan mengurangi beban sistem dan data tidak valid akibat dari delay saat pengiriman data dari sistem ke database.

4.4.1 Hasil Monitoring Kumbung Secara Real-time

Data hasil monitoring secara real-time ditampilkan pada Tabel 4.3 Contoh Hasil Pengambilan Data menunjukkan hasil pengamatan kondisi kumbung selama sistem berjalan. Data tersebut digunakan untuk menganalisis kondisi kumbung terhadap pertumbuhan jamur tiram.

Tabel 4.3 Contoh Hasil Pengambilan Data

tanggal	waktu	Kapasitas Air (cm)	Kelembapan (%)	Status Kelembapan	Suhu (℃)	Status Suhu	Status Panen
2025-05-20	14-45-51	11	86,4	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-45-58	11	86,5	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-46-04	11	86,5	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-46-11	11	86,5	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-46-17	9	86,5	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-46-24	9	86,5	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-46-30	11	86,6	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-46-37	9	86,7	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-46-50	11	86,9	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-20	14-46-43	9	86,7	lembab	28,5	hangat	belum panen
2025-05-21	12-28-43	5	83,4	lembab	28	hangat	belum panen
2025-05-21	12-28-50	5	83,8	lembab	28	hangat	belum panen

2025-05-21	12-28-56	5	84,1	lembab	28	hangat	belum panen
2025-05-21	12-29-03	5	84,1	lembab	28	hangat	belum panen
2025-05-21	12-29-09	5	84	lembab	28	hangat	belum panen
2025-05-21	12-29-16	5	83,9	lembab	28	hangat	belum panen
2025-05-21	12-29-23	5	84,3	lembab	28	hangat	belum panen
2025-05-21	12-29-29	5	84,5	lembab	28	hangat	belum panen
2025-05-21	12-29-36	5	84,3	lembab	27,9	sejuk	belum panen
2025-05-21	12-29-43	5	84,2	lembab	28	hangat	belum panen
2025-05-22	05-02-11	7	95,6	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-02-17	7	95,6	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-02-24	7	95,6	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-02-30	7	95,7	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-02-37	7	95,6	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-02-43	7	95,6	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-02-50	5	95,6	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-02-56	5	95,6	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-03-03	7	95,6	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-22	05-03-09	7	95,7	terlalu lembab	24,6	dingin	belum panen
2025-05-23	10-59-46	6	84	lembab	29	hangat	panen
2025-05-23	12-47-22	10	77,9	kurang lembab	29,7	hangat	panen
2025-05-23	12-47-29	10	78,1	kurang lembab	29,7	hangat	panen
2025-05-23	12-47-35	10	78	kurang lembab	29,7	hangat	panen
2025-05-23	12-47-42	5	78	kurang lembab	29,8	hangat	panen
2025-05-23	13-55-38	6	79,6	kurang lembab	30,2	panas	belum panen
2025-05-23	13-55-44	7	80,2	lembab	30,1	panas	belum panen
2025-05-23	13-55-51	7	80,2	lembab	30,1	panas	belum panen

2025-05-23	13-55-58	7	79,9	kurang lembab	30,2	panas	belum panen
2025-05-23	13-56-04	7	79,9	kurang lembab	30,2	panas	belum panen

4.4.2 Analisis Data Real-time

Metode statistik deskriptif merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata, standar deviasi, dan variansi data yang dihasilkan (Jafar 2021). Hasil analisis statistik deskriptif ditunjukkan pada Tabel 4.4 Statistik Deskriptif Kinerja Sistem Otomatis digunakan untuk memahami karakteristik data kapasitas air, kelembapan ℃, dan suhu yang dihasilkan oleh sistem penyiraman otomatis jamur tiram.

Tabel 4.4 Statistik Deskriptif Kinerja Sistem Otomatis

Variable	Mean	Median	Nilai Min	Nilai Maks	Standar deviasi	Total Data
Kapasitas Air (cm)	6,38 cm	6,00 cm	2,00 cm	34,00 cm	2,02 cm	34678
Kelembapan (%)	92,06%	94,20%	66,20%	99,90%	4,71%	34678
Suhu (℃)	25,93℃	25,30℃	24,20℃	34,40℃	1,53℃	34678

Berdasarkan hasil analisis statistik terhadap pemantau sistem otomatis, nilai rata-rata (mean) digunakan untuk mengetahui kondisi dari kumpulan data. Mean adalah nilai yang digunakan untuk menggambarkan dan memprediksi kumpulan data (Martias 2021).

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \quad (4.1)$$

Keterangan:

xn : Jumlah seluruh data

n : Total data

Nilai rata-rata kelembapan dengan menggunakan persamaan (4.1) adalah 92,06%, dan suhu rata-rata sebesar 25,93°C. Nilai kelembapan ideal melebihi jamur tiram sebesar 70-90 % dan suhu 26-29℃ (Fitriawan et al. 2020). Walaupun, nilai kelembapan rata-rata diatas 2,06%

dari nilai ideal dan suhu rata-rata dibawah 0,07℃, jamur yang dihasilkan masih memenuhi standar mutu pasar lokal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Gambar 4.3 Kondisi jamur yang baik.

Median adalah nilai tengah pada keseluruhan data yang diurutkan dari yang terkecil hingga terbesar. Median dari setiap parameter dengan total data 34678 dihasilkan dari dua nilai tengah yang dijumlah kemudian dibagi dua karena total data adalah genap. Oleh karena itu, dengan menggunakan persamaan (4.2) didapatkan nilai median kapasitas air adalah 6,00 cm, kelembapan 94,20 %, dan suhu adalah 25,30℃. Dari hasil deskriptif ini, menujukkan bahwa kondisi kumbung memiliki

$$Median = \frac{x\left(\frac{n}{2}\right) + x\left(\frac{n}{2} + 1\right)}{2} \qquad (4.2)$$

Keterangan:

n	:	jumlah total data (harus **genap)**
$x\left(\frac{n}{2}\right)$	:	data ke- $\frac{n}{2}$ setelah data diurutkan
$x\left(\frac{n}{2} + 1\right)$	:	data setelahnya (data ke-$\frac{n}{2} + 1$)

Nilai minimum adalah nilai data terendah dalam suatu kumpulan data. Nilai minimum digunakan untuk mengetahui batas bawah dari kumpulan data. Nilai ini menunjukkan hasil kapasitas air adalah 2,00 cm, kelembapan adalah 66,20 %, dan suhu adalah 24,20 ℃.

Kelembapan minimum yang tercatat pada kumbung jamur tiram sebesar 66,20%. Penurunan kelembapan ini terjadi saat kelembapan lingkungan sudah berada di bawah ambang batas aktivasi pompa air, sebagaimana ditetapkan pada Tabel 3.4, namun pada saat yang sama air di dalam penampung tidak tersedia. Kondisi ini disebabkan oleh tidak adanya mekanisme pengisian ulang air secara otomatis ke dalam penampung apabila air telah habis.

Selain itu, suhu minimum yang tercatat selama pengamatan adalah 24,20 ℃. Nilai tersebut berada di bawah kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan jamur tiram. Sistem yang digunakan pada penelitian ini hanya melakukan pengendalian suhu ketika suhu melebihi 25 ℃, sedangkan tidak terdapat mekanisme untuk menaikkan suhu apabila suhu berada di bawah 25 ℃. Kondisi ini menyebabkan suhu kumbung dapat turun hingga di bawah batas optimal yang diperlukan untuk pertumbuhan jamur tiram. Dengan demikian, sistem yang diimplementasikan pada penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam penanganan suhu pada kondisi di bawah batas minimum.

Di samping itu, nilai Maksimum adalah nilai tertinnggi dalam suatu kumpulan data. Nilai Maksimum digunakan untuk mengetahui batas atas dari kumpulan data. Nilai ini menunjukkan hasil kapasitas air adalah 34,00 cm, kelembapan adalah 99,90 %, dan suhu adalah 34,40 ℃.

Nilai maksimum kelembapan kumbung yang tercatat sebesar 99,90% menunjukkan bahwa pada waktu tertentu kelembapan di dalam kumbung dapat mencapai tingkat yang sangat tinggi. Namun, sistem yang digunakan dalam penelitian ini tidak dilengkapi dengan mekanisme untuk menurunkan kelembapan apabila nilai tersebut melebihi batas optimal. Kelembapan yang terlalu tinggi menyebabkan jamur tiram menjadi basah, sehingga produk yang dihasilkan tidak diterima pasar karena memiliki risiko pembusukan yang lebih cepat dan bobot basah yang tidak sesuai dengan bobot sebenarnya.

Selain itu, suhu maksimum yang tercatat selama pengamatan adalah 34,40 ℃. Nilai ini menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu suhu kumbung dapat mencapai tingkat yang terlalu panas untuk pertumbuhan jamur tiram. Kondisi suhu yang tinggi tersebut berdampak negatif terhadap pertumbuhan jamur, sehingga menyebabkan jamur menjadi layu, tidak segar, serta mengalami penurunan bobot. Produk jamur dalam kondisi tersebut tidak memenuhi standar mutu pasar.

standar deviasi pada persamaan (4.3) menunjukkan sebaran dan variasi data terhadap nilai data rata-rata pada data real-time. Standar deviasi menunjukkan seberapa jauh nilai kumpulan data dan menyimpang dari nilai rata-rata.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(xi - \mu)^2} \quad (4.3)$$

Keterangan:

σ : Standar deviasi populasi

N : jumlah total data

xi : data ke-i

n : rata-rata (mean) populasi

Nilai tersebut menunjukkan hasil kapasitas air adalah 2,02 cm, Kelembapan adalah 4,71 %, dan suhu adalah 1,53 ℃. Nilai standar deviasi menunjukkan tingkat persebaran data dari masing-masing parameter terhadap nilai rata-rata selama periode pengamatan. Semakin kecil nilai standar deviasi, maka variasi data terhadap nilai rata-rata juga semakin kecil, demikian pula sebaliknya. Pada sistem ini, nilai rata-rata kelembapan tercatat sebesar 92,06%, dengan standar deviasi sebesar 4,71%. Perbandingan nilai tersebut menunjukkan bahwa kelembapan kumbung umumnya berada dalam kondisi lembab hingga terlalu lembab. Kondisi lembab mendukung pertumbuhan jamur tiram, namun kelembapan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan buah jamur menjadi basah, sehingga berpotensi menurunkan kualitas produk.

Selain itu, nilai rata-rata suhu tercatat sebesar 25,93 ℃ dengan standar deviasi sebesar 1,53 ℃. Perbandingan nilai rata-rata suhu dengan standar deviasinya menunjukkan bahwa variasi suhu di dalam kumbung relatif kecil, sehingga suhu kumbung cenderung stabil di kisaran mendekati batas minimum suhu optimal pertumbuhan jamur tiram. Pada penelitian ini, tidak tersedia data dan dokumentasi fisik terkait pengaruh suhu kumbung yang rendah terhadap pertumbuhan buah jamur tiram secara langsung.

Meskipun data suhu dan kelembapan lingkungan luar tidak tersedia dalam penelitian ini, perubahan suhu di dalam kumbung diduga dipengaruhi oleh suhu lingkungan luar, terutama pada waktu-waktu tertentu. Temuan ini dapat menjadi pertimbangan untuk pengembangan sistem pengatur suhu otomatis yang lebih adaptif terhadap variasi kondisi eksternal.

4.5 Dokumentasi Visual Pertumbuhan Jamur Tiram

Selain melakukan pemantauan kelembapan dan suhu secara digital, pengamatan visual terhadap pertumbuhan jamur yang dilakukan selama tiga hari berturut-turut. Dokumentasi pertumbuhan jamur pada tabel menggunakan tiga kondisi baglog yang berbeda yaitu:

a. Baglog dengan tunas kecil merupakan tunas mununjukkan titik pertumbuhan dengan ukuran yang masih sangat kecil dan belum terbuka.
b. Baglog dengan tunas sedang, menunjukkan pertumbuhan tudung pada tunas, tetapi belum mencapai indikasi kematangan untuk dipanen.
c. Baglog dengan tunas menjelang menunjukkan bentuk tudung yang lebar dan mengindikasikan kematangan untuk dipanen.

Dokumentasi ini bertujuan untuk mengamati laju perkembangan tunas jamur dalam tiga kondisi baglog yang berbeda. Dengan mencatat perubahan visual jamur, pertumbuhan jamur dapat diamati dan menunjukkan hubungan antara kondisi kumbung dan pertumbuhan tunas jamur.

Tabel 4.5 Dokumentasi Perkembangan Tunas Jamur

Hari ke-	Gambar	Keterangan
1		Tunas jamur dapat dilihat terdapat tiga tunas yang kecil, sedang, dan berukuran cukup besar.
2		Perkembangan tunas ditunjukkan pada tudung jamur yang melebar serta ukuran yang membesar.
3		Tudung jamur semakin membesar dan menutupi titik pertumbuhan baglog. Beberapa jamur siap untuk dipanen.

4		Jamur tiram telah siap untuk dipanen.

Kondisi ini bertujuan untuk mengkorelasikan fase pertumbuhan jamur terhadap kondisi kumbung secara nyata. selain itu, hasil pertumbuhan jamur tiram pada Gambar 4.4 hingga Gambar 4.6 yang berada pada kumbung mendapatkan hasil buah yang besar dan rimbun.

Gambar 4.4 Hasil jamur setelah tiga hari pengamatan di sisi kiri.

Gambar 4.5 Hasil jamur setelah tiga hari pengamatan di sisi tengah.

Gambar 4.6 Hasil jamur setelah tiga hari pengamatan di sisi kanan.

Berdasarkan Gambar 4.4 hingga Gambar 4.6 erlihat bahwa jamur tiram tumbuh dengan baik, menghasilkan tubuh buah yang besar dan rimbun. Setelah panen, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 buah jamur tampak segar dan berukuran besar. Namun, pada Gambar 4.8 terlihat jamur dalam kondisi basah dan berair. Kondisi basah ini bukan disebabkan oleh kesalahan sistem, melainkan akibat kebocoran pada selang air, sehingga air keluar melalui celah kebocoran dan membasahi jamur tersebut.

(a) Hasil panen jamur tiram dari sisi kiri

(b) Hasil panen jamur tiram dari sisi kanan

(c) Hasil panen jamur tiram dari sisi kiri

Gambar 4.7 (a) Hasil panen jamur tiram dari sisi kiri, (b) Hasil panen jamur tiram dari sisi kanan, (c) Hasil panen jamur tiram dari sisi kiri.

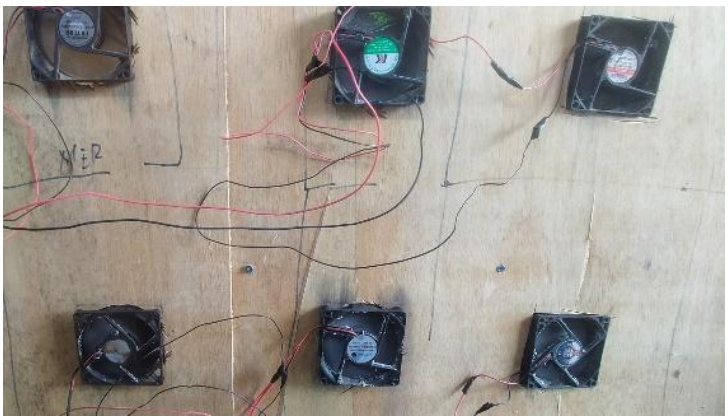
(a) Jamur Basah dan terlihat berair

(b) Jamur Basah dan terlihat berair

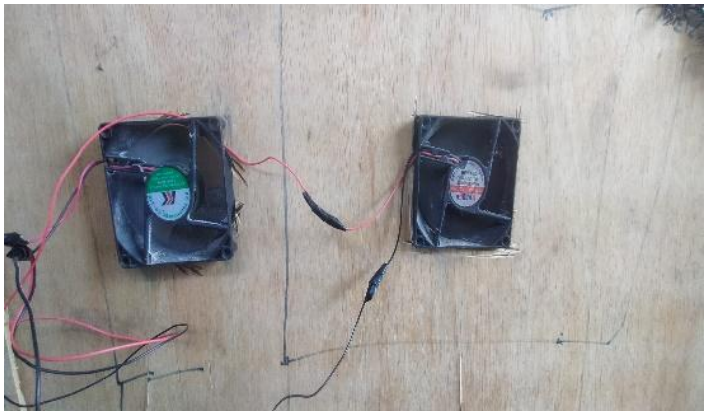
Gambar 4.8 (a) Jamur Basah dan terlihat berair, (b) Jamur Basah dan terlihat berair.

4.6 Implementasi dan Kinerja Sistem

Implementasi perangkat pada sistem otomatis menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kondisi suhu dan kelembapan secara otomatis setelah seluruh komponen dirangkai dan diaktifkan. Sistem ini terdiri atas ESP32, sensor DHT22, sensor ultrasonik HC-SR04, pompa air mini, kipas mini (fan) seperti yang terlihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, dan katup solenoid yang terpasang sesuai fungsi masing-masing.

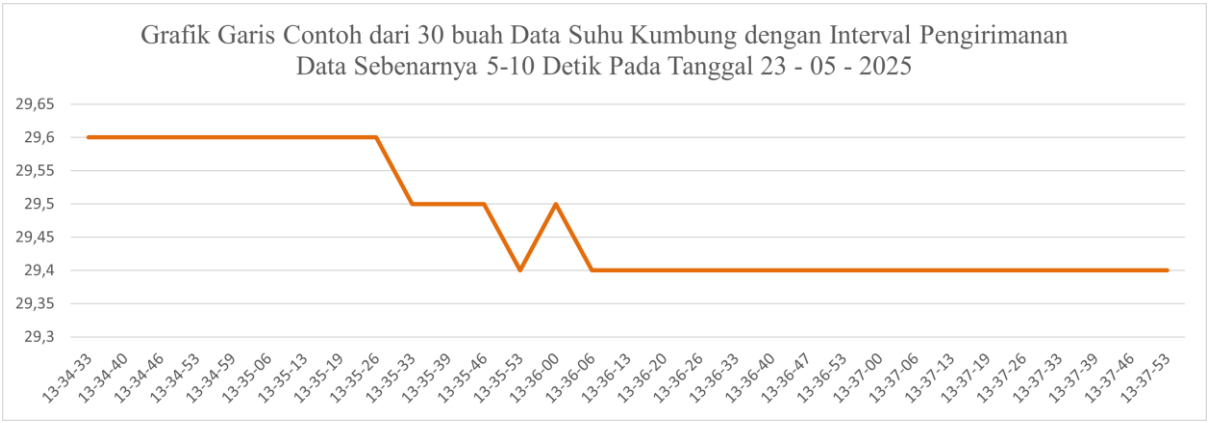


Gambar 4.9 Seluruh Fan Mini Berfungsi .



Gambar 4.10 Seluruh Fan Mini Berfungsi dari Dilihat Dari Dekat.

Implementasi fan mini pada kumbung dapat diaktifkan, namun ukuran kumbung yang memiliki panjang 1,5 m, lebar 1 m, dan tinggi 1,5 m tidak sebanding dengan kapasitas fan mini yang digunakan. Perbedaan ini menyebabkan fan mini tidak dapat bekerja secara optimal untuk menurunkan suhu ruangan. Efektivitas fan mini diuji berdasarkan data suhu kumbung yang diambil sebanyak 30 sampel pada rentang waktu 13:34:33 hingga 13:57:53 sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.11, Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu kumbung pada siang hari cenderung bertahan di atas 28 ℃, yang tergolong dalam kategori "hangat" sesuai Tabel 3.2. Kondisi suhu tersebut berpotensi memengaruhi pertumbuhan jamur tiram karena suhu yang tinggi dapat menurunkan kualitas hasil panen.

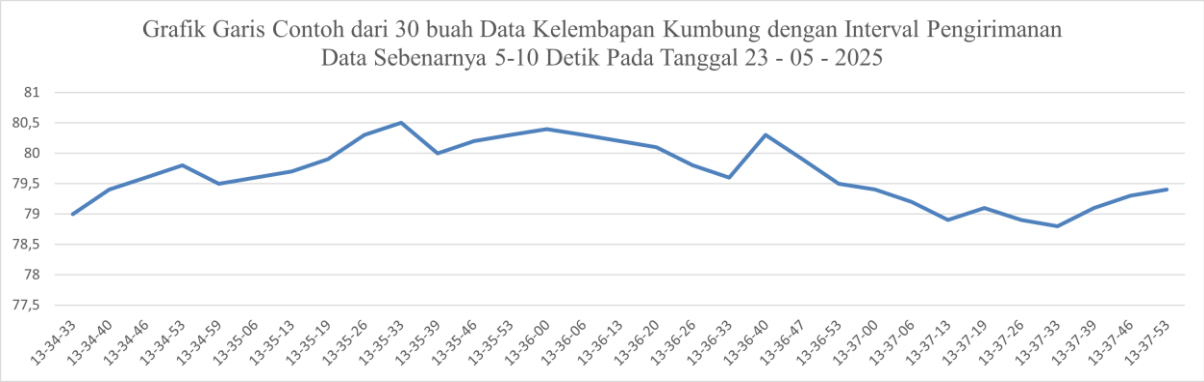


Gambar 4.11 Grafik Garis contoh 30 Data Suhu Kumbung

Gambar 4.12 Penyiraman dari Atas Baglog dan Bawah Baglog Baglog saat Telah Panen.

Gambar 4.13 Penyiraman dari Bawah Baglog.

Mekanisme distribusi air terhadap kelembapan kumbung, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja sesuai logika yang diterapkan Tabel 3.4 dengan mengaktifkan penyiraman pada bagian atas dan bawah baglog untuk meningkatkan kelembapan. Penerapan pengendalian kelembapan ini menghasilkan performa yang cukup baik dalam menjaga kondisi kelembapan kumbung, terutama pada siang hari, sebagaimana ditunjukkan oleh 30 sampel data pada Gambar 4.14 Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa kelembapan kumbung mengalami fluktuasi, namun sistem mampu mempertahankan kelembapan pada kategori “lembab”.



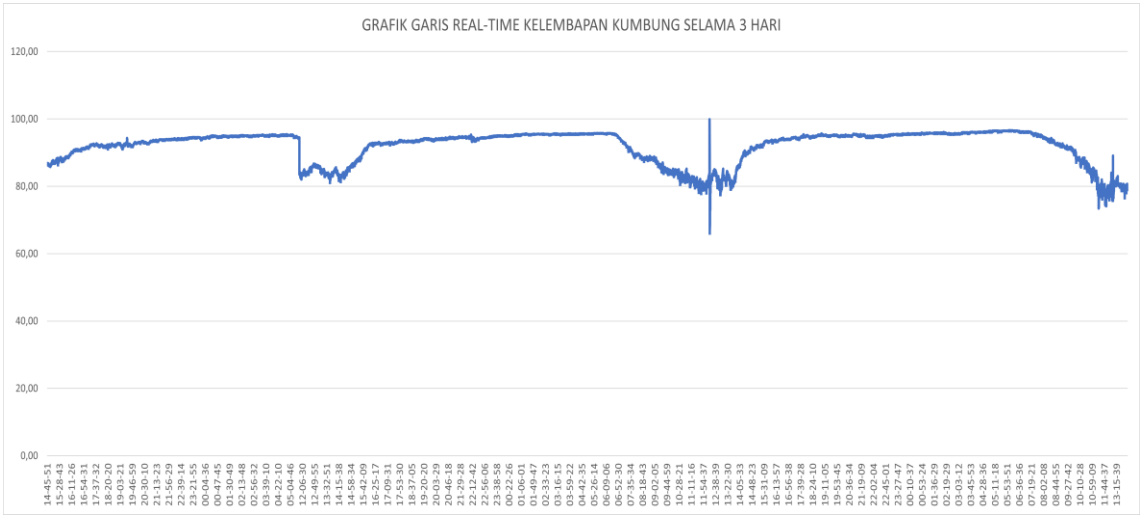
Gambar 4.14 Grafik Garis Kelembapan Kumbung

4.7 Visualisasi monitoring sistem otomatis

Visualisasi data diperoleh dari hasil pembacaan real-time terhadap kapasitas air, kelembapan, dan suhu selama tiga hari berturut-turut. Pendekatan visualisasi grafik dipilih karena jumlah data yang besar (sebanyak 34.678 entri), sehingga mempermudah interpretasi tren dan pola kondisi dalam kumbung jamur. Visualisasi ini menyajikan informasi suhu dan kelembapan yang telah diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik garis, histogram, serta diagram lingkaran untuk mempermudah analisis hasil pengukuran.

4.7.1 Grafik garis Kelembapan Kumbung

Visualisasi grafik garis pada Gambar 4.15 menampilkan perubahan nilai kelembapan kumbung pada sumbu vertikal (Y) dan waktu (timestamp) pada sumbu horizontal (X) secara kontinu selama tiga hari pengamatan sistem otomatis.



Gambar 4.15 Grafik Garis Kelembapan Kumbung selama tiga hari.

Data menujukkan pola berulang dilihat pada Gambar 4.15 pada pergerakan naik turunnya grafik garis. Pola ini mempresentasikan nilai kelembapan pada rentang 78-96 % dengan sebagian besar data berada di atas 85%. Penurunan tren terjadi secara konsisten pada rentang waktu sekitar pukul 07:00:00 hingga 15:00:00. Fluktuasi tren secara intens terjadi pada rentang waktu 11:00:00 hingga 15:00:00. Pada periode tersebut, tren grafik menujukkan upaya sistem mempertahankan nilai kelembapan diatas 80% yang mencerminkan kinerja sistem otomatis.

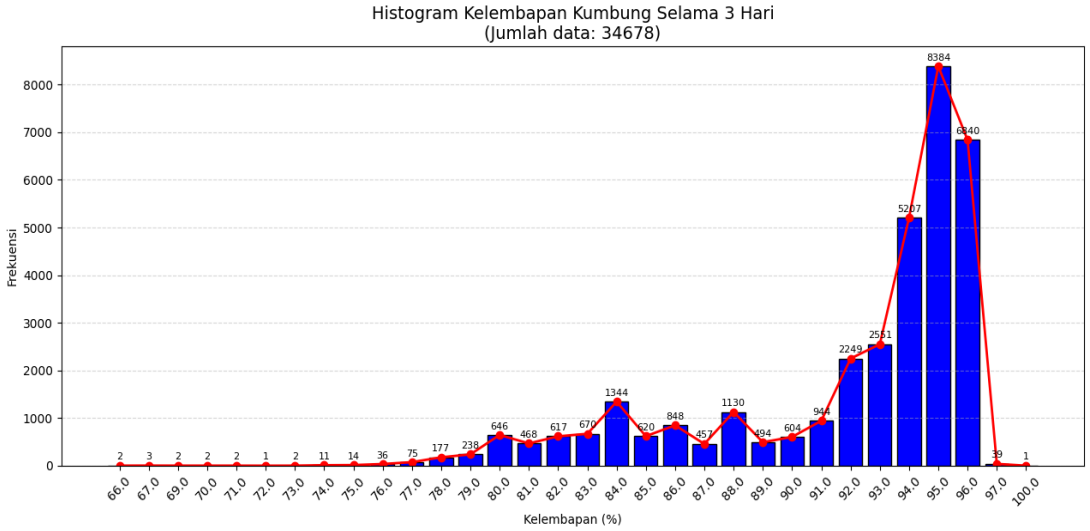
Rentang data pada grafik garis kelembapan tidak seragam karena terjadi kehilangan data selama proses pemantauan. Hal ini dapat dilihat pada grafik garis hari pertama pada pukul 05:14:38 dan 12:31:29, di mana ditunjukkan garis menukik turun secara drastis, hal ini terjadi karena ada lompatan waktu dalam pembacaan data yang diakibatkan oleh kehilangan data tersebut. Kehilangan data ini disebabkan oleh kendala teknis pada pasokan daya, yaitu terjadinya pemadaman listrik sehingga sistem tidak dapat beroperasi untuk membaca maupun mengirimkan data. Kendala ini menunjukkan perlunya langkah pencegahan, seperti penyediaan baterai sebagai daya cadangan untuk menjaga kontinuitas sistem saat terjadi gangguan di luar mekanisme utama. Permasalahan ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab 4.8.4 Anomali Sistem dan Data.

Selain itu, grafik juga menunjukkan pola fluktuasi kelembapan yang tajam pada rentang waktu pukul 11:52:22 hingga 13:50:13. Pola ini terjadi ketika kelembapan turun hingga memasuki rentang aktivasi pompa air sebagaimana tercantum pada Tabel 3.4, namun air pada penampung tidak tersedia. Akibatnya, pompa air tetap aktif meskipun tidak dapat menyedot air untuk meningkatkan kelembapan kumbung, sehingga nilai kelembapan terus menurun. Setelah diketahui bahwa penampung air kosong, dilakukan pengisian ulang air ke dalam penampung, sehingga kelembapan dapat dinaikkan kembali sesuai logika sistem. Kondisi ini menyebabkan terjadinya penurunan dan kenaikan kelembapan yang signifikan pada grafik kelembapan yang ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Temuan ini mengidentifikasi kekurangan sistem, yaitu tidak adanya mekanisme otomatis untuk mendeteksi kondisi penampung air kosong. Pada saat kelembapan turun ke rentang aktivasi pompa air, sistem tidak dapat menaikkan kelembapan karena tidak ada air yang dihisap oleh pompa. Selain itu, tidak terdapat mekanisme untuk mematikan pompa ketika penampung kosong, sehingga pompa tetap aktif meskipun tidak ada air yang disedot. Hal ini berpotensi menyebabkan kerusakan pada pompa air akibat bekerja tanpa beban.

Visualisasi grafik tersebut menunjukkan bahwa kelembapan kumbung berada pada rentang kondisi optimal untuk pertumbuhan jamur tiram. Meskipun terdapat masalah teknis pada sistem, stabilitas grafik menunjukkan bahwa sistem berhasil menjaga kondisi kelembapan secara efektif dan responsif terhadap perubahan kelembapan.

4.7.2 Histogram Distribusi Kelembapan Kumbung



Gambar 4.16 Grafik histogram Kelembapan Kumbung Selama tiga Hari.

Histogram menunjukkan frekuensi kemunculan data kelembapan yang tercatat selama tiga hari pengamatan, dengan total 34.678 data. Berdasarkan Gambar Gambar 4.16 , distribusi kelembapan pada kumbung terkonsentrasi pada rentang 91% hingga 96%. Frekuensi tertinggi tercatat pada rentang 94% hingga 96%, dengan jumlah data sebanyak 26.175. Nilai kelembapan yang paling sering muncul adalah 95%, yaitu sebanyak 8.384 data.

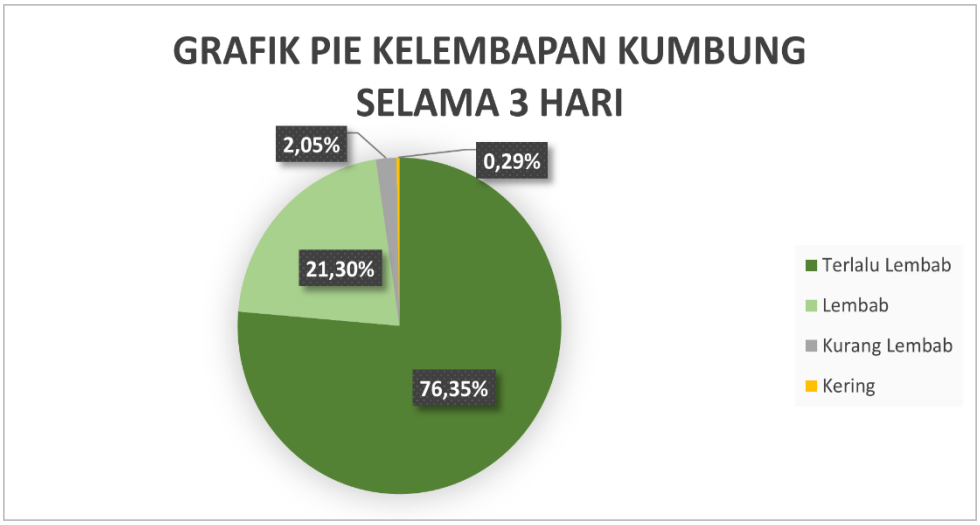
Histogram menunjukkan bahwa nilai kelembapan di bawah 80% dan di atas 97% jarang terjadi, yang mengindikasikan sistem mampu mempertahankan kondisi ideal kelembapan kumbung. Selain itu, persebaran data yang terkelompok pada nilai kelembapan tinggi menunjukkan konsistensi dengan rata-rata kelembapan sebesar 92,06% dan standar deviasi sebesar 4,71%.

Berdasarkan hasil analisis histogram kelembapan pada Gambar 4.16 , sistem menunjukkan kecenderungan kondisi kumbung yang sering berada pada kategori “terlalu lembab” seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.15. Fenomena ini terutama disebabkan oleh karakteristik lingkungan alami di lokasi budidaya yang memiliki tingkat kelembapan relatif tinggi, khususnya pada rentang waktu sore hingga malam hari. Distribusi data menunjukkan

bahwa kategori kelembapan “ideal” dan “terlalu lembab” dengan batas bawah 80% mendominasi pengamatan, yaitu sebanyak 33.866 data. Sebaliknya, kategori “kurang lembab” dan “kering” hanya tercatat sebanyak 812 data. Proporsi ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kelembapan kumbung dalam rentang optimal yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan jamur tiram secara efektif.

4.7.3 Grafik Pie Kelembapan Kumbung

Distribusi kategori kelembapan kumbung dilihat grafik pie pada Gambar 4.17 yang diklasifikasikan berdasarkan logika Rule-Based selama periode tiga hari. Nilai kelembapan yang diperoleh dari sensor DHT22 menunjukkan perbedaan presentase yang timpang terutama kategori kelembapan “Terlalu Lembab” yang memiliki presentase terbesar.



Gambar 4.17 Grafik Pie Menunjukkan Frekuensi Klasifikasi Kelembapan Kumbung.

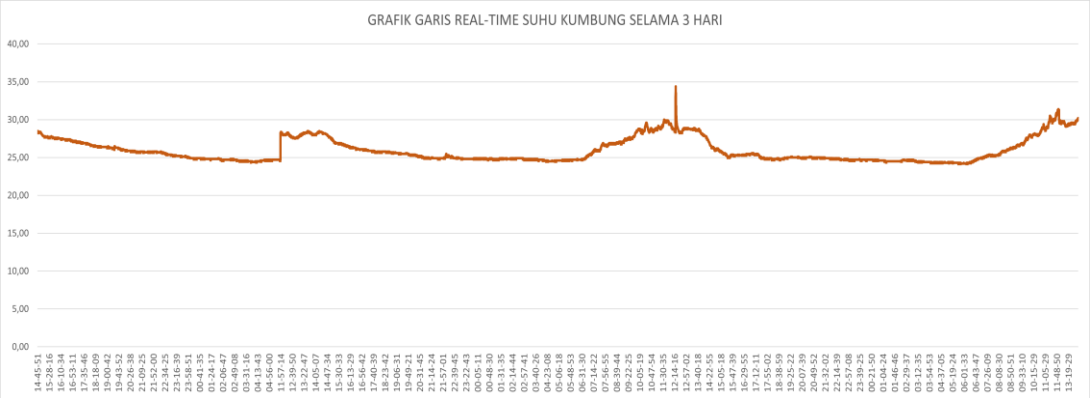
Selama periode pengamatan selama tiga hari, distribusi kelembapan kumbung jamur tiram yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 didominasi oleh kondisi “terlalu lembab” (di atas 90%) sebesar 76,35%. Kondisi “lembab” (80–90%) tercatat sebesar 21,30%, sedangkan kategori “kurang lembab” dan “kering” masing-masing sebesar 2,05% dan 0,29%.

Tabel 4.6 Presentase Frekuensi Data Setiap Kategori Kelembapan

Kategori	Presentase Data	Total Data
Terlalu Lembab	76,35%	26478
Lembab	21,30%	7388
Kurang Lembab	2,05%	711
Kering	0,29%	101

4.7.4 Grafik garis Suhu Kumbung

Visualisasi grafik garis pada Gambar 4.18 menunjukkan perubahan nilai suhu kumbung pada sumbu vertikal (Y) dan waktu (timestamp) pada sumbu horizontal (X) secara kontinu selama tiga hari pengamatan sistem otomatis.

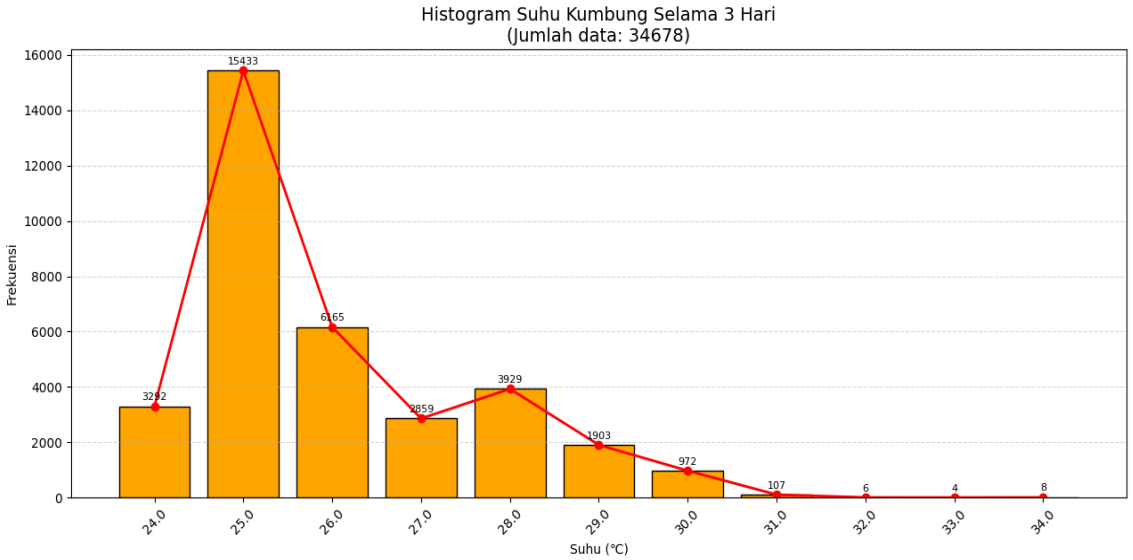


Gambar 4.18 Grafik Garis Suhu Kumbung Selama tiga Hari.

Data menujukkan pola berulang dilihat pada Gambar 4.18 pada pergerakan naik turunnya grafik garis. Pola ini mempresentasikan nilai suhu pada rentang 24,20℃ hingga 34,40℃ dengan sebagian besar data berada di bawah 30℃. Kenaikan dan fluktuasi tren grafis terjadi secara konsisten pada rentang waktu sekitar pukul 07:00:00 hingga 15:00:00. Fluktuasi tren secara intens terjadi pada rentang waktu 11:00:00 hingga 15:00:00. Pada periode tersebut, tren grafik menujukkan upaya sistem mempertahankan nilai suhu di bawah 30℃ yang mencerminkan kinerja sistem otomatis.

Visualisasi grafik tersebut mencerminkan suhu kumbung rentang kondisi optimal untuk pertumbuhan jamur tiram. Stabilitas pada grafik menunjukkan bahwa sistem berhasil memantau kondisi suhu dengan efektif dan responsif terhadap perubahan suhu.

4.7.5 Histogram Distribusi Suhu Kumbung

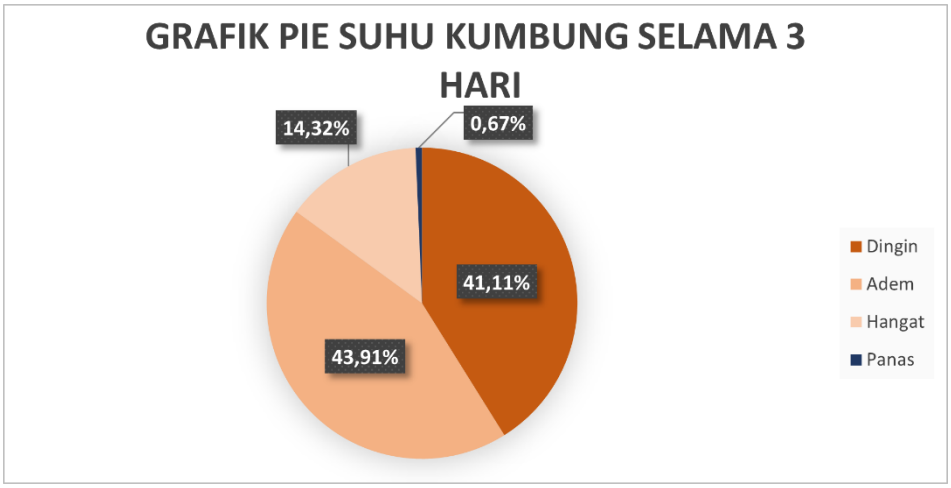


Gambar 4.19 Grafik Histogram Suhu Kumbung Selama tiga Hari.

Histogram pada Gambar 4.19 menunjukkan bahwa distribusi suhu kumbung terkonsentrasi pada rentang 24 ℃ hingga 34 ℃, dengan variasi suhu yang relatif stabil pada rentang tersebut. Frekuensi tertinggi tercatat pada suhu 25 ℃ dengan jumlah data sebanyak 26.175. Frekuensi suhu di atas 30 ℃ sangat jarang terjadi, yang mengindikasikan bahwa sistem mampu memantau dan mempertahankan suhu kumbung dalam kisaran ideal. Selain itu, persebaran data yang terpusat pada nilai tinggi menunjukkan konsistensi dengan rata-rata suhu sebesar 25,93 ℃ dan standar deviasi sebesar 1,53 ℃.

4.7.6 Grafik Pie Suhu Kumbung

Distribusi kategori suhu kumbung yang ditampilkan pada Gambar 4.20 diklasifikasikan berdasarkan logika rule-based selama periode pengamatan tiga hari. Data suhu yang diperoleh dari sensor DHT22 menunjukkan bahwa persentase kategori “dingin” dan “sejuk” memiliki proporsi yang hampir sama.



Gambar 4.20 Contoh Grafik Pie Menunjukkan Frekuensi Klasifikasi Kelembapan Kumbung.

Distribusi suhu kumbung yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 didominasi oleh kategori "sejuk" sebesar 43,91%, diikuti oleh kategori "dingin" sebesar 41,09%, sedangkan kategori "hangat" dan "panas" masing-masing sebesar 14,32% dan 0,67%. Visualisasi ini menunjukkan bahwa suhu kumbung umumnya berada pada kondisi yang ideal untuk pertumbuhan jamur tiram.

Tabel 4.7 Presentase Frekuensi Data Setiap Kategori Suhu

Kategori	Presentase Data	Total Data
Dingin	41,11%	14256
Sejuk	43,91%	15225
Hangat	14,32%	4965
Panas	0,67%	231

4.7.7 Penelusuran Lanjutan Data Lapangan

Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem cederung membaca kelembapan lingkungan pada tingkat yang sangat tinggi. Akan tetapi, setelah dilakukan penelusuran lebih lanjut terhadap pola harian dan waktu pengambilan data, diketahui bahwa:

a. Kelembapan dan suhu udara malam hari di wilayah Sleman, Yogyakarta, secara alami sangat tinggi, terutama antara pukul 22.00–06.00 WIB.
b. Sensor DHT22 mencatat kelembapan di atas 92% dan suhu di bawah 26 ℃ secara konsisten setiap malam, meskipun sistem tidak mengaktifkan penyiraman tambahan.
c. Kelembapan tinggi secara konsisten pada rentang waktu malam hingga pagi hari.

d. Dengan demikian, proporsi tinggi pada kategori “terlalu lembab” sebagian besar dipengaruhi oleh kondisi lingkungan alami, bukan semata hasil pengaturan oleh sistem berbasis logika Rule-Based.

Hasil ini menujukkan kinerja sistem tidak secara aktif menurunkan suhu dan kelembapan secara berlebihan. Sebaliknya, sistem merespons kondisi suhu dan kelembapan aktual di lapangan yang tinggi dan suhu ideal secara alami pada malam hari.

4.8 Tampilan Antar Muka Aplikasi Web

Sistem ini dilengkapi dengan antarmuka web lokal yang dihosting langsung oleh mikrokontroler ESP32. Aplikasi web disajikan dalam bentuk halaman HTML, JavaScript, dan CSS yang diambil langsung dari memori internal menggunakan SPIFFS (Serial Peripheral Interface Flash File System). Halaman aplikasi dapat diakses melalui alamat IP lokal (192.168.xx.xx) yang ditetapkan oleh router.

Aplikasi web yang dikembangkan pada penelitian ini berfungsi untuk memantau kondisi kumbung secara real-time. Aplikasi terdiri atas tiga halaman utama, yaitu halaman utama, halaman data tabel, dan halaman visualisasi data.

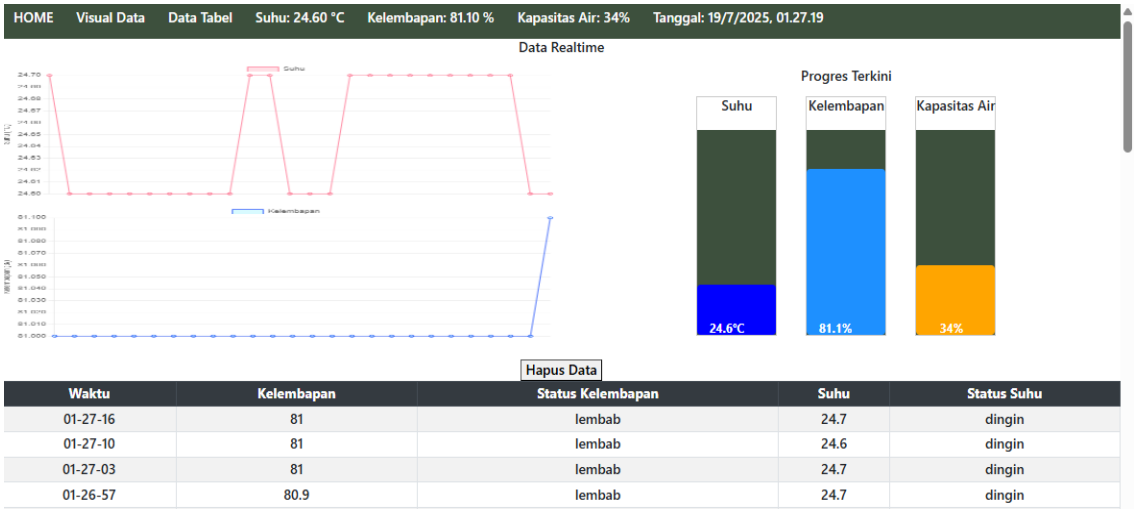
Antarmuka web ini digunakan sebagai sarana pemantauan data suhu dan kelembapan secara real-time yang dikirimkan oleh ESP32 ke Firebase Realtime Database. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat memonitor kondisi kumbung secara efisien tanpa perlu menggunakan perangkat tambahan.

Meskipun tampilan antarmuka web yang dikembangkan masih sangat sederhana dan belum sepenuhnya mengikuti prinsip desain antarmuka pengguna (user interface) yang optimal, tujuan utama pengembangan web ini adalah sebagai proof-of-concept integrasi antara sistem otomatisasi perangkat keras dengan penyimpanan data serta tampilan berbasis web lokal.

Fokus utama pengembangan diarahkan pada fungsi integrasi dan komunikasi data, bukan pada aspek estetika antarmuka. Pertimbangan ini diambil karena adanya keterbatasan sumber daya dan waktu pengerjaan, serta untuk memastikan prototipe sistem dapat mendemonstrasikan keterpaduan antara pembacaan sensor, kendali otomatisasi, penyimpanan cloud, dan visualisasi data melalui antarmuka web.

4.8.1 Tampilan Halaman Utama

Tampilan halaman utama aplikasi web pada penelitian ini menampilkan ringkasan dari keseluruhan halaman web yang dilihat pada Gambar 4.21 untuk memudahkan pemantauan sistem. Tujuan menampilkan ringkasan data adalah untuk memudahkan pengguna dalam memahami dan mengevaluasi kinerja sistem secara cepat.

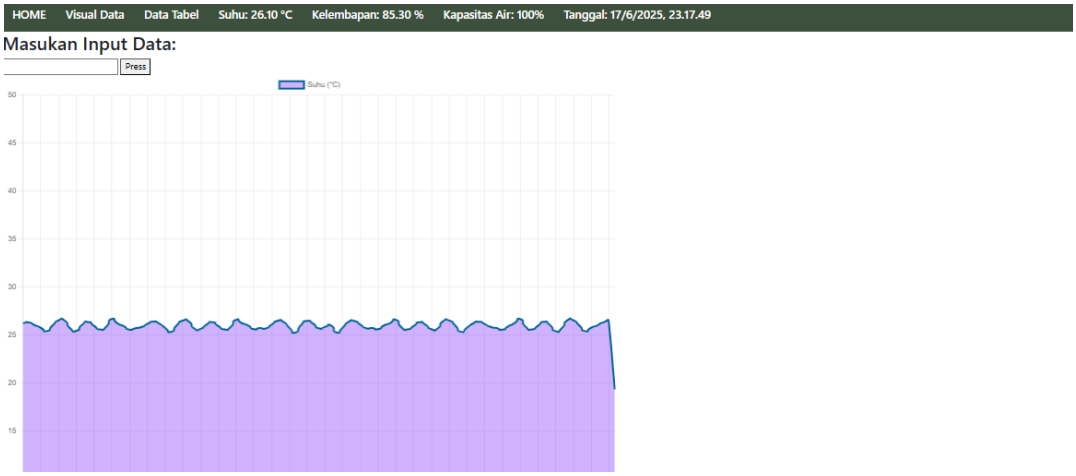


Gambar 4.21 Tampilan Halama Utama pada Aplikasi Web.

Visualisasi memperlihatkan halaman utama yang menampilkan ringkasan dari keseluruhan halaman web, sehingga memudahkan pengguna dalam mengetahui kinerja sistem dan dapat mengevaluasi kondisi kumbung secara cepat.

4.8.2 Tampilan Visualisasi Data

Tampilan visualisasi data web menampilkan kondisi kumbung secara visual dengan menggunakan grafik garis. Halaman web ini bertujuan memudahkan pengguna dalam mengetahui kondisi kumbung dilihat pada Gambar 4.22 secara real-time tanpa melihat keseluruhan data pada tabel. Perubahan kelembapan serta suhu kumbung pada sumbu vertikal (Y) dan waktu (timestamp) pada sumbu horizontal (X) secara kontinu. Selain itu, pengguna dapat memahami kinerja sistem terhadap kondisi kumbung secara seksama.

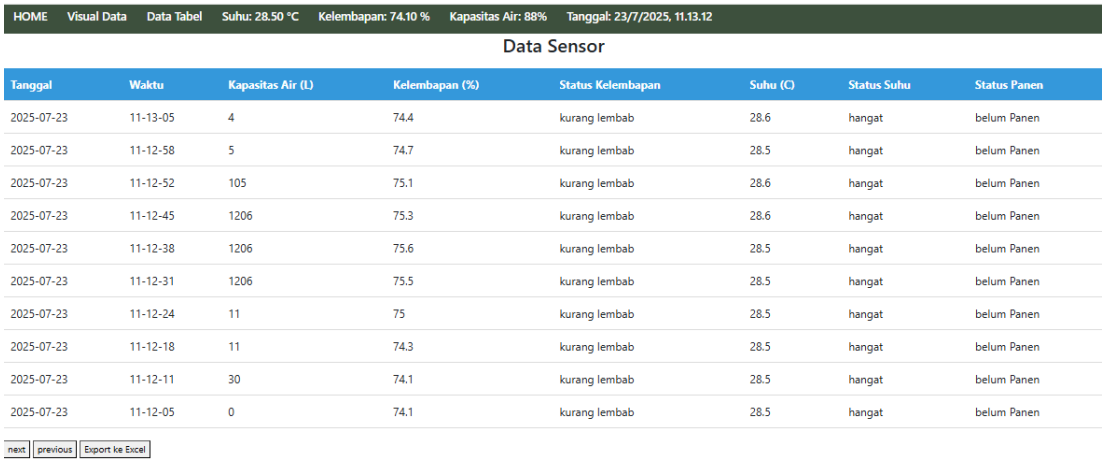


Gambar 4.22 Tampilan Aplikasi Web Halaman Visualisasi Data Web.

Grafik kapasitas air, suhu, dan kelembapan yang memudahkan pengguna dalam mengetahui kinerja sistem dan kondisi kumbung. Selain itu, pergerakan tren grafik pada visualisasi berjalan secara real-time sehingga menujukkan fluktuasi setiap terjadi pembaruan data.

4.8.3 Tampilan Halaman Data Tabel

Tampilan halaman data tabel pada Gambar 4.23 menujukkan seluruh kinerja sistem dalam tabel. Tabel pada halaman ini mendokumentasikan seluruh data yaitu: tanggal, waktu, kapasitas air, kelembapan, status kelembapan, suhu, status suhu, dan status panen.



Gambar 4.23 Tampilan Aplikasi Web Halaman Data Tabel.

Seluruh data yang tersimpan pada *Firebase Realtime Database* akan dimuat pada halaman ini. Pengguna dapat mengetahui kinerja sistem dan kondisi kumbung secara lebih

teliti. Selain itu, data tabel dapat diunduh, sehingga pengguna dapat mengevaluasi kinerja sistem dan kondisi kumbung.

4.8.4 Anomali Sistem dan Data

Selama tiga hari masa pengambilan data, terdapat beberapa anomali yang mempengaruhi pencatatan data dan kinerja sistem. Anomali tersebut dicatat pada kumpulan data untuk transparansi serta evaluasi terhadap kinerja sistem yang dikembangkan.

Kumpulan data yang ditunjukkan pada pembahasan sebelumnya merupakan data-data yang telah diolah dan dibersihkan dari anomali data. Pembersihan tersebut bertujuan untuk memberikan validasi sistem terhadap kumbung sehingga memudahkan untuk pengembangan sistem.

4.8.5 Anomali Data Hilang

Anomali data hilang terjadi pada 21 Mei 2025 pada rentang waktu 05:00:00 hingga 11:00:00, di mana sistem tidak mencatat data apapun pada periode waktu tersebut. Setelah melakukan pengecekan, diketahui bahwa perangkat sistem terputus akibat dari pemadamam listrik yang terjadi pada rentang waktu yang tidak tercetat tersebut.

Tabel 4.8 Anomali Data Hilang

tanggal	**waktu**	**Kapasitas Air**	**Kelembapan**	**Status Kelembapan**	**Suhu**	**Status Suhu**	Status Panen
2025-05-21	05-37-05	7	94,50	terlalu lembab	24,70	dingin	belum panen
2025-05-21	11-56-09	5	83,50	lembab	28,30	hangat	belum panen

4.8.6 Data tidak Terbaca

Selama periode pemantauan, tercatat adanya anomali data berupa nilai ‘–’ pada tanggal 21 Mei 2025 pukul 11:54:32. Setelah dilakukan penelusuran, diketahui bahwa anomali tersebut disebabkan oleh terputusnya koneksi antara sensor dan mikrokontroler ESP32, sehingga sistem tetap mengirimkan nilai kosong (‘–’) ke Firebase Realtime Database. Selain itu, sistem tidak memiliki fitur penyimpanan lokal serta ketergantungan terhadap koneksi internet.

Tabel 4.9 Anomali Data Tidak Terbaca

tanggal	Waktu	Kapasitas Air (cm)	Kelembapan	Status Kelembapan (%)	Suhu (℃)	Status Suhu	Status Panen
2025-05-21	11:54:32	-	-	lembab	-	-	panen

Dampak dari anomali ini adalah sistem tidak mencatat data valid dan tidak dapat digunakan pada visualisasi analisis data. Namun, kejadian ini hanya bersifat sesaat sehingga tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja sistem dan analisis data. Rekomendasi pengembangan selanjutnya Sistem menyediakan penyimpanan cadangan secara lokal, sehingga tidak bergantung pada koneksi internet. Sistem menyediakan notifikasi sebagai peringatan apabila terjadi kegagalan dalam sistem.

4.8.7 Anomali Penurunan Kelembapan dan Suhu Ekstrem

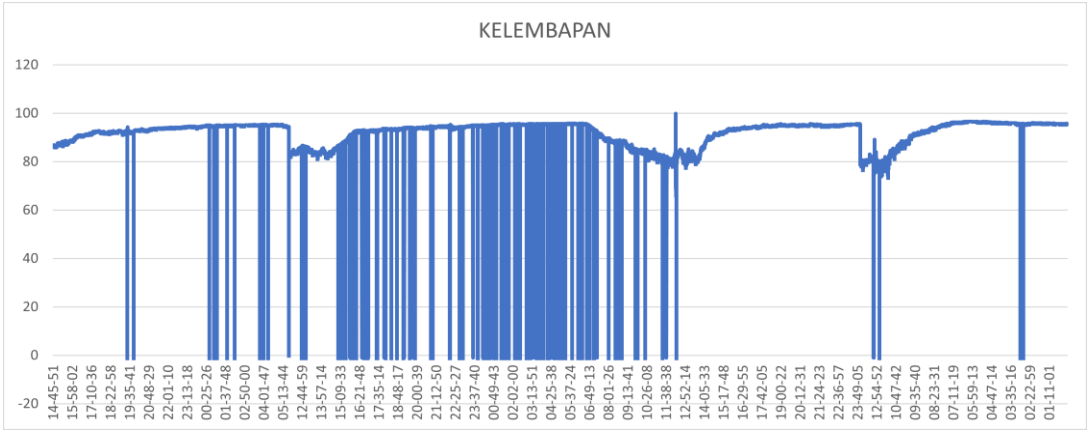
Penurunan kelembapan dan suhu secara ekstrem dengan nilai -1 menjelaskan bahwa terjadi gangguan pada sensor DHT22. Setelah ditelusuri, penurunan ini terjadi akibat gangguan koneksi antara mikrokontroller dengan DHT22.

Anomali ini menyebabkan sistem akan mendeteksi kelembapan dan suhu pada kategori kering dan dingin sehingga pompa air akan aktif dan fan mini akan bekerja pada putaran 25% dari putaran maksimum.

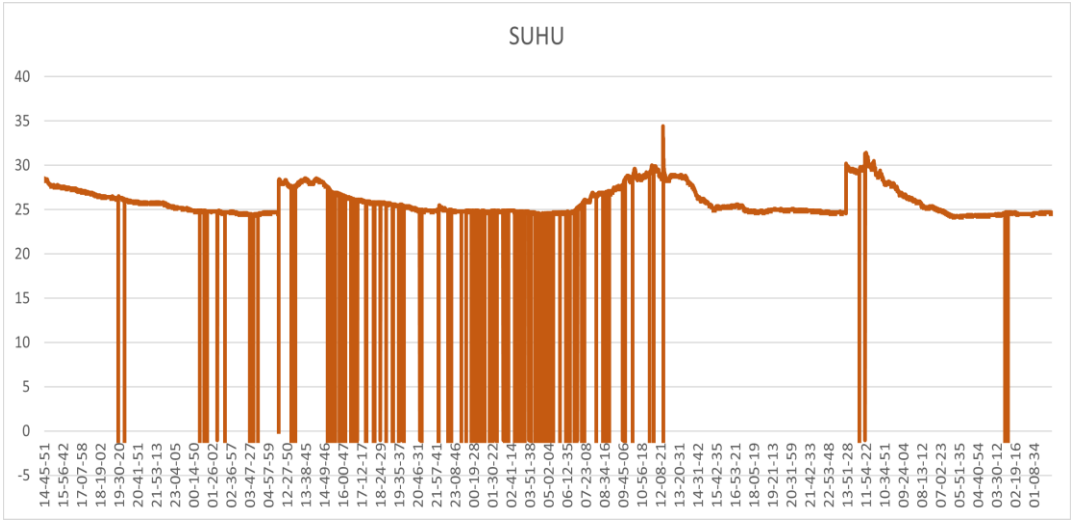
Tabel 4.10 Anomali Penurunan Ekstrem Kelembapan dan Suhu

tanggal	waktu	Kapasitas Air (cm)	Kelembapan (%)	Status Kelembapan	Suhu (℃)	Status Suhu	Status Panen
2025-05-20	19-27-15	7	-1	kering	-1	dingin	belum panen
2025-05-20	19-27-46	7	-1	kering	-1	dingin	belum panen

Selain itu, pengolahan data sebelum disajikan pada pembahasan sangat berpengaruh terhadap kualitas visualisasi data. Proses pengolahan dilakukan dengan menghilangkan nilai-nilai yang tidak dapat digunakan, seperti yang tercantum pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10. . Visualisasi data mentah tanpa pengolahan dapat menghasilkan tampilan data yang tidak optimal dan sulit untuk dianalisis.



Gambar 4.24 Grafik Garis Kelembapan Kumbung Sebelum Diolah.



Gambar 4.25 Grafik Garis Suhu Kumbung Sebelum Diolah.

Kejadian ini menjelaskan pentingnya menggunakan lebih dari 1 sensor DHT22 pada kumbung sehingga memiliki alternatif data untuk kinerja sistem. untuk menjamin keberlanjutan sistem secara realtime pada kondisi atau gangguan pada kebutuhan pasokan listrik.

4.8.8 Anomali Penaganan Sistem Saat Penampung Kehabisan Air

Mekanisme penanganan ketika penampung tidak memiliki air. Akibatnya, jika kelembapan di bawah kondisi ideal pompa air tetap aktif meskipun tidak ada air yang dapat disalurkan, sehingga pompa hanya menyedot udara. Kondisi ini dapat menyebabkan pompa air tetap menyala meskipun tidak ada air yang masuk, sehingga komponen internal mengalami panas berlebih dan keausan yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan fungsi.

4.9 Evaluasi Kinerja Sistem

Sistem berhasil menjaga kelembapan kumbung dalam rentang ideal, terutama pada siang hari saat kelembapan cenderung menurun. Namun, sistem kurang mampu mempertahankan suhu optimal dalam kisaran 25–28 °C, khususnya pada siang hari. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.18 , yang menunjukkan bahwa suhu kumbung tetap berada di atas rentang suhu ideal pada periode tersebut. Kondisi ini disebabkan oleh dimensi kumbung yang tidak sebanding dengan jumlah fan mini yang digunakan, serta fungsi fan mini yang hanya berperan sebagai sirkulasi untuk mengeluarkan udara panas dari dalam kumbung.

4.9.1 Evaluasi Keterbatasan Sistem

Sistem masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain pada keandalan koneksi, ketersediaan listrik, pencatatan data. Ketergantungan sistem terhadap faktor-faktor tersebut menyebabkan data kinerja sistem tidak tercatat secara menyeluruh. Solusi seperti penyimpanan tambahan dan penyediaan cadangan listrik belum diterapkan hingga saat ini.

Sistem berhasil menjaga suhu dan kelembapan dalam kisaran optimal sesuai kebutuhan pertumbuhan jamur tiram. Nilai rata-rata suhu sebesar 25,93°C dan kelembapan 92,06% menunjukkan kestabilan sistem dalam jangka panjang. Sistem juga mampu mengaktifkan aktuator berdasarkan logika rule-based secara otomatis.

Akan tetapi, sistem memiliki beberapa keterbatasan, seperti ketergantungan terhadap pasokan listrik dan antarmuka web lokal hanya dapat diakses selama ESP32 aktif dan berada dalam jaringan yang sama.

4.9.2 Evaluasi Aplikasi Web

Aplikasi web berfungsi sebagai media penyampaian informasi, namun masih terdapat kendala dalam mempertahankan aksesibilitas halaman web. Pada waktu tertentu, halaman web dapat mengalami error saat diakses. Permasalahan ini terjadi karena sistem hanya menggunakan satu mikrokontroler yang berperan sebagai unit kontrol, server lokal, dan penyimpan file antarmuka secara bersamaan. Selain itu, ketergantungan terhadap jaringan server lokal menyebabkan sistem tidak dapat diakses dari jarak jauh.

Oleh karena itu, pengembangan lanjutan pada sistem dapat dintegrasikan dengan notifikasi berbasis SMS atau akses internet untuk pemantauan jarak jauh. Selain itu,

pengembangan dapat difokuskan pada integrasi kendali jarak jauh berbasis IoT melalui web atau berbasis aplikasi bergerak agar sistem menjadi adaptif.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, implementasi, dan pengujian pada sistem otomatis berhasil diimplementasikan secara fungsional dan mampu menjalankan perintah kontrol secara real-time menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroller yang terintegrasi dengan sensor DHT22 dan sensor HC-SR04, serta mengatur aktuator berupa fan mini, pompa air, dan katup solenoid.

Nilai rata-rata kelembapan yang diperoleh menggunakan persamaan adalah 92,06%, sedangkan suhu rata-rata sebesar 25,93 °C. Selain itu, standar deviasi untuk kapasitas air sebesar 2,02 cm, kelembapan sebesar 4,71%, dan suhu sebesar 1,53 °C. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa kelembapan dan suhu kumbung relatif berada pada kondisi optimal, yang didukung oleh standar deviasi yang kecil, sehingga variasi data relatif rendah.

Selanjutnya, grafik pie menunjukkan dominasi kategori “sejuk” sebesar 43,91% dan kategori “dingin” sebesar 41,09% pada distribusi suhu. Sementara itu, kelembapan didominasi oleh kategori “terlalu lembab” sebesar 76,35% dan kategori “lembab” sebesar 21,30%. Temuan ini menunjukkan bahwa kondisi kumbung umumnya berada dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan jamur tiram. Selain itu, kinerja dari sistem otomatis budidaya jamur tiram memiliki beberapa hal berikut:

1. Sistem dapat membaca suhu dan kelembapan secara real-time dan merespons kondisi lingkungan berdasarkan logika rule-based threshold untuk mengoperasikan pompa air saat kelembapan pada kategori “kurang lembab” atau “kering” serta mengatur kecepatan fan mini berdasarkan setiap kategori suhu “dingin”, “sejuk”, “hangat”, atau “panas”.
2. Data sistem dapat dikirimkan ke penyimpan Firebase Realtime Database berdasarkan entry data baru dengan interval waktu 5 hingga 10 detik.
3. Web lokal dapat menampilkan kondisi kumbung secara real-time melalui antarmuka lokal berbasis SPIFFS, serta memungkinkan pengguna untuk mengunduh seluruh data yang tersimpan di Firebase dalam format Excel (.xlsx).
4. mekanisme sistem dalam mempertahankan kelembapan dengan cara mendistribusikan air ke kumbung saat dalam kategori “kurang lembab” dan “kering” dapat bekerja dengan baik sehingga kelembapan optimum dapat dipertahankan.

5. Mekanisme distribusi air dua jalur berfungsi, namun tidak maksimal karena katup solenoid tidak terbuka penuh akibat keterbatasan daya.
6. Meskipun sistem bekerja secara fungsional, terdapat potensi deviasi pada pembacaan sensor HC-SR04 dan DHT22 karena tidak dilakukan kalibrasi manual. Namun, hal ini tidak memengaruhi kinerja sistem secara signifikan dalam konteks aplikasi budidaya jamur tiram.
7. Hasil pengujian metode black box menunjukkan bahwa sistem dapat merespons seluruh skenario input suhu dan kelembapan secara tepat, meskipun terdapat beberapa kondisi mekanisme sistem tidak maksimal

Tujuan penelitian telah tercapai, terutama pada mekanisme sistem dalam merespons suhu dan kelembapan sebagai parameter penggerak aktuator. Sistem dapat bekerja sesuai logika rule-based yang telah ditetapkan, di mana suhu digunakan untuk mengatur kecepatan fan mini, sedangkan kelembapan digunakan untuk mengatur aktif atau nonaktifnya pompa air.

Hasil panen jamur tiram menggunakan sistem ini cukup memuaskan. Jamur tetap berada dalam kondisi baik—tidak kering, tidak terlalu basah, bertekstur padat, kenyal, dan tidak berlendir—yang merupakan ciri jamur segar dan ideal.

Namun, terdapat dua jamur yang basah akibat kebocoran selang yang membasahi permukaan jamur. Masalah ini terjadi karena kerusakan pada selang, bukan karena kesalahan sistem. Secara keseluruhan, sistem berjalan dengan baik, optimal, dan andal.

Pada pengujian black box, ditemukan kendala pada pengaturan waktu penutupan katup otomatis tepat pukul 00.00, di mana katup tidak menutup. Temuan ini menjadi bagian dari evaluasi untuk meningkatkan kinerja sistem penyiraman otomatis jamur tiram di masa mendatang.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, sistem pada penelitian ini telah berfungsi sesuai dengan fungsionalitas utamanya. Akan tetapi, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan sistem yang lebih baik dan sesuai dengan kebutuhan budidaya jamur tiram sebagai berikut:

1. Menyediakan daya cadangan sebagai upaya pencegahan ketika terjadi pemutusan aliran listrik.
2. Menyesuaikan kapasitas daya untuk menjamin katup solenoid dapat berfungsi secara optimal.

3. Melakukan kalibrasi manual terhadap Sensor DHT22 dan Sensor Ultrasonic HC-SR04 untuk meningkatkan akurasi terhadap pembacaan sensor dalam meningkatkan presisi pada penerapan di kumbung.
4. Menambahkan fitur otomatisasi untuk mematikan pompa ketika penampung air kosong guna mencegah kerusakan.
5. Mengembangkan sistem dengan menggunakan *fuzzy logic* atau *machine learning* untuk meningkatkan fleksibilitas dalam merespons kondisi kumbung.
6. Menambahkan fitur notifikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan dan kendali jarak jauh.
7. Menyesuaikan perhitungan kebutuhan fan mini terhadap ukuran kumbung dengan tujuan menjaga suhu dalam kategori ideal.
8. Aplikasi web yang digunakan untuk memantau kinerja sistem dalam mengontrol kelembapan dan suhu kumbung dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur kontrol terhadap setiap komponen perangkat. Pada penelitian ini, aplikasi web hanya berfungsi sebagai media pemantauan dan pengunduhan data, tanpa memiliki mekanisme untuk mengendalikan sistem secara langsung.
9. Melakukan pengujian jangka panjang untuk mengetahui kestabilan kinerja sistem dan komponen dalam berbagai kondisi lingkungan untuk mengevaluasi stabilitas kinerja sistem secara berkelanjutan.

Perlu dilakukan pengembangan aplikasi web menggunakan pendekatan desain antarmuka pengguna yang lebih baik dengan framework modern seperti Bootstrap, React, atau Vue untuk menjamin kenyamanan dan kelayakan penggunaan dalam skala lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

Adzdziqri, Tareh Rozzaq et al. 2021. "Implementasi Iot (Internet of Things) Pada Rumah Budidaya Jamur Tiram Putih." *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)* 5(1): 364–71. doi:10.36040/jati.v5i1.3306.

Aini, Syarifah et al. 2018. "Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Permintaan Jamur Tiram (Pleurotus Ostreatus) (Studi Kasus: Kabupaten Deli Serdang)." *Universitas Medan Area* (Feb-2018). doi:10.31289/agr.v1i1.2309.

Asvin Mahersatillah Suradi, Andi et al. 2024. "Pemanfaatan Firebase Realtime Database Dalam Perancangan Aplikasi Penilaian Siswa SMK Negeri 2 Pangkep Secara Realtime." *JUKI : Jurnal Komputer dan informatika* 6(2): 146–54. https://www.ioinformatic.org/index.php/JUKI/article/view/444.

Azam, Muhammad Hamza et al. 2021. "Prediction of Sunspots Using Fuzzy Logic: A Triangular Membership Function-Based Fuzzy C-Means Approach." *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 12(2): 357–62. doi:10.14569/IJACSA.2021.0120245.

Bate'e, Meidaya et al. 2020. "Respon Pertumbuhan Dan Produksi Beberapa Varietas Jamur Tiram Pada Kombinasi Media Serbuk Limbah Pelepah Kelapa Sawit Dan Serbuk Gergaji." *Jurnal Ilmiah Pertanian (JIPERTA)* 2(1): 23–32. doi:10.31289/jiperta.v2i1.86.

BPS. 2024. "Indikator Iklim Sleman, 2023." *14 Mei 2024*. https://slemankab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTA4IzI=/indikator-iklim-sleman.html.

Cahyanto, Kurnia Adi et al. 2022. "Pengujian Rule-Based Pada Dataset Log Server Menggunakan Support Vector Machine Berbasis Linear Discriminat Analysis Untuk Deteksi Malicious Activity." *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* 9(2): 245–54. doi:10.25126/jtiik.2022924107.

Charismana, Dian Satria et al. 2022. "Motivasi Belajar Dan Prestasi Belajar Pada Mata Pelajaran Ppkn Di Indonesia: Kajian Analisis Meta." *Bhineka Tunggal Ika: Kajian Teori dan Praktik Pendidikan PKn* 9(2): 99–113. doi:10.36706/jbti.v9i2.18333.

Cikarge, G. P., and F. Arifin. 2018. "Oyster Mushrooms Humidity Control Based on Fuzzy Logic by Using Arduino ATMega238 Microcontroller." *Journal of Physics: Conference Series* 1140(1). doi:10.1088/1742-6596/1140/1/012002.

Eka Putra, Fauzan Prasetyo et al. 2024. "Analisis Komparasi Protokol Websocket Dan MQTT Dalam Proses Push Notification." *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi* 5: 63–72. doi:10.60083/jsisfotek.v5i4.325.

Fahrezi, Ahmad et al. 2022. "Pengujian Black Box Testing Pada Aplikasi Inventori Barang Berbasis Web Di PT. AINO Indonesia." *LOGIC : Jurnal Ilmu Komputer dan Pendidikan* 1(1): 1–5. https://journal.mediapublikasi.id/index.php/logic.

Fayek, Aminah Robinson. 2020. "Fuzzy Logic and Fuzzy Hybrid Techniques for Construction Engineering and Management." *Journal of Construction Engineering and Management*

146(7): 1–12. doi:10.1061/(asce)co.1943-7862.0001854.

Febriyanti, N M D, and AAKO Sudana. 2021. "Implementasi Black Box Testing Pada Sistem Informasi Manajemen Dosen." *Jurnal Ilmiah ...* 2(3). http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=3457876&val=30165&title=Implementasi Black Box Testing pada Sistem Informasi Manajemen Dosen.

Fezari, Mohamed, and Ali Al Dahoud Al Zaytoona. 2018. "Integrated Development Environment 'IDE' For Arduino." *ResearchGate* (10): 1–11.

Fitriawan, Helmy et al. 2020. "PENGENDALIAN SUHU DAN KELEMBABAN PADA BUDIDAYA JAMUR TIRAM BERBASIS IoT IoT BASED CONTROLLING TEMPERATURE AND HUMIDITY ON OYSTER MUSHROOMS CULTIVATION." http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v9.i1.28-37.

Gaikwad, Anil Trimbakrao. 2022. "Firebase - Overview and Usage." *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science* 3(12)(August): 1178–83.

Giawa, M. 2023. "Pemanfaatan Jamur Tiram Sebagai Salah Satu Sumber Gizi Alternatif Bagi Masyarakat." *Jurnal Sapta Agrica* 2(2): 1–13. https://jurnal.uniraya.ac.id/index.php/Agrica/article/view/1195.

Gunadi, Roosevelt Joshua et al. 2020. "PENERAPAN FIREBASE CLOUD STORAGE PADA APLIKASI MOBILE ANDROID UNTUK MELAKUKAN PENYIMPANAN IMAGE LAHAN PERTANIAN." 4(2): 282–91.

Hunaepi, Hunaepi et al. 2019. "Pelatihan Budidaya Jamur Tiram Putih (Pleurotus Ostreatus) Di Pondok Pesantren Hidayaturrahman NW Manggala." *Sasambo: Jurnal Abdimas (Journal of Community Service)* 1(1): 45–52. doi:10.36312/sasambo.v1i1.119.

Husein, Jamaluddin, and Oktaf Brillian Kharisma. 2020. "Internet of Things (IOT) Development for The Chicken Coop Temperature and Humidity Monitoring System Based on Fuzzy." *Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining* 3(1): 9. doi:10.24014/ijaidm.v3i1.9294.

Inayah, Tri, and Ellen Prima. 2022. "Budidaya Jamur Tiram Dan Pengolahannya Sebagai Upaya Meningkatkan Ekonomi Kreatif Desa Beji." *Jumat Pertanian: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 3(2): 96–99. doi:10.32764/abdimasper.v3i2.2881.

Ismailov, Alisher Shakirovich, and Zafar Botirovich Jo'rayev. 2022. "Study of Arduino Microcontroller Board." *"Science and Education" Scientific Journal* 3(3): 172–79. www.openscience.uz.

Jafar, Andi Ferawati. 2021. "Penerapan Metode Pembelajaran Konvensional Terhadap Hasil Belajar Fisika Peserta Didik." *Al asma : Journal of Islamic Education* 3(2): 190. doi:10.24252/asma.v3i2.23748.

Jane, J. Betty, and E. N. Ganesh. 2019. "A Review on Big Data with Machine Learning and

Fuzzy Logic for Better Decision Making." *International Journal of Scientific and Technology Research* 8(10): 1221–25.

Juanda, Reza, and Ilman Zuhri Yadi. 2020. "Penerapan Rule Based Dengan Algoritma Viterbi Untuk Deteksi Kesalahan Huruf Kapital Pada Karya Ilmiah." *Journal of Computer and Information Systems Ampera* 1(1): 53–62. doi:10.51519/journalcisa.v1i1.5.

Justus, Wendroth, and Benedikt Jaeger. 2022. "A Brief Overview on HTTP." *Network* 59(November): 9–13. doi:10.2313/NET-2022-11-1.

Kierner, Slawomir et al. 2023. "Taxonomy of Hybrid Architectures Involving Rule-Based Reasoning and Machine Learning in Clinical Decision Systems: A Scoping Review." *Journal of Biomedical Informatics* 144(June): 104428. doi:10.1016/j.jbi.2023.104428.

Kluban, M.; Mannan, M.; Youssef, A. 2022. "On Measuring Vulnerable JavaScript Functions in the Wild." *Proceedings of the 2022 ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security*: 917–930.

Kuparinen, Simo. 2023. "Improving Web Performance by Optimizing Cascading Style Sheets (CSS): Literature Review and Empirical Findings." *Helsinki University Library* 1(2): 62. https://helda.helsinki.fi/items/abdda622-ffb8-4daf-a55a-a6d9deec4f91.

Lubis, Eva Riyanty. 2020. *Untung Besar Budi Daya Jamur Tiram*. Bhuana Ilmu Populer.

Machfudi et al. 2021. "Budidaya Jamur Tiram Sebagai Peluang Usaha." *Community Development Journal* 2(1): 127–35.

Madaminov, Uktam A., Allaberganova, Muy, and Assar R. 2023. "Firebase Database Usage and Application Technology in Modern Mobile Applications." *2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE)*: 1690–94.

Martias, Lilih Deva. 2021. "Statistika Deskriptif Sebagai Kumpulan Informasi." *Fihris: Jurnal Ilmu Perpustakaan dan Informasi* 16(1): 40. doi:10.14421/fhrs.2021.161.40-59.

McGrath, M. 2020. *HTML, CSS & JavaScript in Easy Steps*. In Easy Steps Limited.

Miah, Md. Nuruddin et al. 2017. "Effect of Different Sawdust Substrates on the Growth, Yield and Proximate Composition of White Oyster Mushroom (Pleurotus Ostreatus)." *Biorearch Communications3* 3(2): 397–410. https://www.researchgate.net/publication/318710093.

Mohammed, M. F. et al. 2018. "IoT Based Monitoring and Environment Control System for Indoor Cultivation of Oyster Mushroom." *Journal of Physics: Conference Series* 1019(1). doi:10.1088/1742-6596/1019/1/012053.

Nauval, Muhammad Hafidh et al. 2024. "Jerami Padi Digunakan Sebagai Substrat Untuk Budidaya Jamur Tiram (Pleurotus Pulmonaris)." *Jurnal Agroplasma* 11(02): 48--56.

Payara, George Richard, and Radius Tanone. 2018. "Penerapan Realtime Database Pada Aplikasi Pemesanan Makanan Berbasis." *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi* 4(4): 397–406. https://journal.maranatha.edu/index.php/jutisi/article/view/1476.

Pereira, Renata I.S. et al. 2019. "IoT Embedded Systems Network and Sensors Signal Conditioning Applied to Decentralized Photovoltaic Plants." *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 142: 195–212. doi:10.1016/j.measurement.2019.04.085.

Pipit Muliyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, Tryana. 2020. 7 Journal GEEJ *済無No Title No Title No Title*.

Pradana, R. W. et al. 2024. "Rancang Bangun Sistem Pemantau Ketinggian Air Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik (Hc-Sr04) Berbasis Arduino Uno Dengan Antarmuka Komputer Berbasis Microsoft Visual Basic 6.0." *Jurnal Teknik dan Science* 3(1): 13–24. doi:10.56127/jts.v3i1.1212.

Prasetyawan, D., and P. D. Rahmanto. 2024. "JTIM : Jurnal Teknologi Informasi Dan Multimedia Pengembangan Sistem Seleksi Proposal Penelitian Berbasis Web Service Menggunakan REST API." 6(3): 283–95.

Pratika, Made Toby Sathya et al. 2021. "Rancang Bangun Wireless Relay Dengan Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet of Things." *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer* 2(3): 515–23.

Puspasari, Fitri et al. 2020. "Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 Berbasis Arduino Terhadap Thermohygrometer Standar." *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 16(1): 40. doi:10.12962/j24604682.v16i1.5776.

R. G. Vidhya et al. 2022. "An Effective Evaluation of SONARS Using Arduino and Display on Processing IDE." *2022 International Conference on Computer, Power and Communications (ICCPC)*: 500–505. doi:10.1109/ICCPC55978.2022.10072229.

Rahman Abdul, Wardani Dwika Karima, Pane Erwin. 2023. "PENERAPAN KOMPOS BERBAHAN DASAR BAGLOG JAMUR TIRAM TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN KACANG TANAH (Aranchis Hypogeae L) PADA MUSIM HUJAN." *Fruitset Sains : Jurnal Pertanian Agroteknologi* 10(6): 355–61.

Rahmawati, Rahmawati et al. 2022. "STRATEGI PENGEMBANGAN USAHA BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTIH (Pleurotus Ostreatus) DI KABUPATEN LANGKAT, SUMATERA UTARA (STUDI KASUS: UMKM RUMAH JAMUR)." *Waluyo Jatmiko Proceeding* 15(1): 95–102. doi:10.33005/waluyojatmiko.v15i1.23.

Rambe, Bhakti Helvi et al. 2020. "UML Modeling and Black Box Testing Methods in the School Payment Information System." *Jurnal Mantik* 4(3): 1634–40. https://iocscience.org/ejournal/index.php/mantik.

Ratnaningtyas, Nunik et al. 2020. "Implementasi Hasil Pelatihan Perawatan Dan Pengelolaan Pasca Panen Jamur Tiram Putih." *COMSEP: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*

1(1): 68–77. doi:10.54951/comsep.v1i1.19.

Rendeiro, Pedro et al. 2023. “Connectivity Evaluation of ESP32 in Outdoor Scenarios.” : 333–38. doi:10.14210/cotb.v14.p333-338.

Ridho’i, A. et al. 2023. “Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan ESP32.” *FORTECH* 4: 20–26.

Riski, Muhammad et al. 2021. “Alat Penjaga Kestabilan Suhu Pada Tumbuhan Jamur Tiram Putih Menggunakan Arduino UNO R3.” *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer* 2(1): 67–79. doi:10.33365/jtikom.v2i1.42.

Rosmiah, Rosmiah et al. 2020. “BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTIH (Pluoretus Ostreatus) SEBAGAI UPAYA PERBAIKAN GIZI DAN MENINGKATKAN PENDAPATAN KELUARGA.” *Altifani: International Journal of Community Engagement* 1(1): 31–35. doi:10.32502/altifani.v1i1.3008.

Saputra, Chindra et al. 2022. “Penerapan Sistem Kontrol Suhu Dan Monitoring Serta Kelembapan Pada Kumbung Jamur Tiram Berbasis Iot Menggunakan Metode Fuzzy Logic.” *Jurnal Sains dan Informatika* 8(2): 116–26. doi:10.34128/jsi.v8i2.504.

Setiawati, D. A. et al. 2021. “Design of Temperature and Humidity Control System on Oyster Mushroom Plant House Based on Internet of Things (IoT).” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 712(1). doi:10.1088/1755-1315/712/1/012002.

Setiyani, Lila. 2019. “Pengujian Sistem Informasi Inventory Pada Perusahaan Distributor Farmasi Menggunakan Metode Black Box Testing.” *Techno Xplore : Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi* 4(1): 1–9. doi:10.36805/technoxplore.v4i1.539.

Shadiq, Jafar et al. 2021. “Pengujian Aplikasi Peminjaman Kendaraan Operasional Kantor Menggunakan BlackBox Testing.” *Information Management for Educators and Professionals* 5(2): 97–110.

Sihombing, P. et al. 2018. “Microcontroller Based Automatic Temperature Control for Oyster Mushroom Plants.” *Journal of Physics: Conference Series* 978(1). doi:10.1088/1742-6596/978/1/012031.

Silva, Beatriz et al. 2023. “Rule-Based System for Effective Clinical Decision Support.” *Procedia Computer Science* 220(2019): 880–85. doi:10.1016/j.procs.2023.03.119.

Sulistyawan, Panca Muji. 2021. “Perancangan Sistem Pemantau Tekanan Darah Dengan Sensor Tekanan MPX5100GP Berbasis STM32F103.” *Seminar Nasional Fortei Regional 7* 4 No.1: 167. https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/45.

Triyanto, Anggi, and dan K Nurwijayanti N. 2016. “Pengatur Suhu Dan Kelembapan Otomatis Pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan Mikrokontroler ATMega16.” *Tesla* 18(1): 25–36.

Wahyu, Mujahid et al. 2018. “Perancangan Sistem Kontrol Suhu Dan Kelembaban Ruangan

Pada Budidaya Jamur Tiram Berbasis Internet of Things." *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah* 17(1): 60–68.

Wajiran, Wajiran et al. 2020. "Desain Iot Untuk Smart Kumbung Dengan Thinkspeak Dan Nodemcu." *POSITIF : Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi* 6(2): 97. doi:10.31961/positif.v6i2.949.

Wibowo, Yuli et al. 2021. "Implementasi Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Budidaya Jamur Tiram Dengan IOT." *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)* 10(3): 380. doi:10.23960/jtep-l.v10i3.380-391.

Wicaksana, Arif, and Tahar Rachman. 2018. "Budidaya Tanaman Sayuran." *Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.* 3(1): 10–27. https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf.

Yang, Xianzhe, and Changsheng Zhu. 2024. "Industrial Expert Systems Review: A Comprehensive Analysis of Typical Applications." *IEEE Access* 12: 88558–84. doi:10.1109/ACCESS.2024.3419047.

Yoski, Milfiga Septa, and Riki Mukhaiyar. 2020. "Prototipe Robot Pembersih Lantai Berbasis Mikrokontroller Dengan Sensor Ultrasonik." *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia* 1(2): 158–61. doi:10.24036/jtein.v1i2.67.

Yuda Syahidin, and Randy Ramadhan. 2021. "REST API Architecture Design on Multi-Platform Device Development." *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)* 5(2): 178–89. doi:10.37339/e-komtek.v5i2.762.

Zahwa, Muh Adam et al. 2022. "Adaptor Mesin Pencacah Sampah Plastik." *Community Services and Social Work Bulletin* 1(1): 39. doi:10.31000/cswb.v1i1.5730.

LAMPIRAN

Lampiran A

Lampiran B

Lampiran C

Lampiran D

Lampiran E

Lampiran F

Lampiran G

Lampiran H

Lampiran I

Lampiran J

```
String SuhuKumbung(float suhu){
    if(suhu > 30){
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("p|");
      return "panas";
    }else if(suhu >=28){
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("h|");
      return "hangat";
    }else if(suhu >=25){
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("a|");
      return "sejuk";
    }else{
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print("d|");
      return "dingin";
      }

  }
  String KelembapanKumbung(float lembab){
    if(lembab > 90){
      lcd.setCursor(13, 1);
      lcd.print("T");
      return "terlalu lembab";}
    else if(lembab >= 80 && lembab <= 90) {
      lcd.setCursor(13, 1);
      lcd.print("L");
      return "lembab";}
    else if(lembab >= 70 && lembab < 80) {
      lcd.setCursor(13, 1);
      lcd.print("K");
      return "kurang lembab";}
    else {
      lcd.setCursor(13, 1);
      lcd.print("P");
      return "kering";}
  }
```

Lampiran K