

Sistem Internet Of Things (Iot) Untuk Monitoring Dan Pengendalian Kondisi Lingkungan Pada Budidaya Jamur Tiram Berbasis ESP32

Agil Bakhtiar^{1*}, Rudi Susanto², Sundari³

¹Teknik Informatika

Universitas Duta Bangsa Surakarta

^{1*}220103171@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika

Universitas Duta Bangsa Surakarta

²rudisusanto@udb.ac.id

³Teknik Informatika

Universitas Duta Bangsa Surakarta

³sundari@udb.ac.id

Abstrak— Cuaca yang fluktuatif menjadi salah satu tantangan utama dalam budidaya jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) karena memerlukan suhu lingkungan 22–28°C dan kelembapan udara 80–90%. Pengendalian lingkungan secara konvensional masih bergantung pada tenaga manusia sehingga berisiko menimbulkan kesalahan pengoperasian serta oversaturasi air yang dapat merusak media tanam (*baglog*). Penelitian ini bertujuan merancang sistem *Internet of Things* (IoT) untuk monitoring dan pengendalian kondisi lingkungan pada budidaya jamur tiram berbasis ESP32. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32-S3 sebagai pusat pemrosesan, sensor DHT22, sensor *soil moisture*, dan aktuator *mist maker humidifier*. Data dikirim menggunakan arsitektur *client-server* ke platform Firebase dan divisualisasikan melalui dashboard web yang di-hosting menggunakan Vercel. Algoritma kendali dirancang untuk mengaktifkan *mist maker* secara otomatis ketika kelembapan udara berada di bawah ambang batas 80%. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja dengan baik dengan tingkat keberhasilan transmisi data mencapai 96% selama pengoperasian. Pengamatan selama tiga hari berturut-turut menunjukkan sistem mampu menjaga suhu rata-rata ruangan sebesar 28,0°C serta meningkatkan kelembapan udara rata-rata menjadi 85,7%. Selain itu, kadar air media tanam (*baglog*) tetap stabil pada kisaran 62,5%–67,2% tanpa menyebabkan kelebihan air. Dengan demikian, sistem IoT yang dikembangkan mampu menyediakan solusi monitoring dan pengendalian iklim mikro kumbung secara otomatis, real-time, dan andal untuk mendukung budidaya jamur tiram.

Kata kunci— *Internet of Things*(IoT), ESP32, Jamur Tiram, *Mist Maker*, Firebase

Abstract— Fluctuating weather conditions are one of the major challenges in oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation, as this commodity requires an environmental temperature of 22–28°C and air humidity of 80–90%. Conventional environmental control relies heavily on manual operation, which increases the risk of human error and water oversaturation that may damage the cultivation medium (*baglog*). This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring and environmental control system for oyster mushroom cultivation using the ESP32. The proposed system employs an ESP32-S3 microcontroller, a DHT22 sensor, a soil moisture sensor, and a mist maker humidifier actuator. Data are transmitted through a client-server architecture to Firebase and visualized via a web dashboard hosted on Vercel. The control algorithm automatically activates the mist maker when the air humidity falls below the 80% threshold. Experimental results indicate that the system operates effectively with a data transmission success rate of 96%. Observations conducted over three consecutive days show that the system maintained an average room temperature of 28.0°C and increased the average air humidity to 85.7%. Furthermore, the moisture content of the *baglog* remained stable within the range of 62.5%–67.2%, preventing water oversaturation. Therefore, the proposed IoT system provides a reliable, real-time, and automated solution for maintaining the microclimate of oyster mushroom cultivation houses. **Keywords**— Internet of Things (IoT), ESP32, Oyster Mushroom Cultivation, Mist Maker, Firebase.

I. PENDAHULUAN

Kondisi cuaca yang fluktuatif seringkali menjadi tantangan utama dalam budidaya *Pleurotus ostreatus* (jamur tiram). Secara biologis, fase pembentukan tubuh buah jamur ini sangat sensitif terhadap perubahan suhu drastis dan penurunan tingkat kelembapan udara. Jika parameter lingkungan bergeser dari ambang batas ideal, yakni suhu lingkungan 22–28 derajat Celcius dan kelembapan udara 80–90 persen, maka produktivitas dan kualitas morfologi jamur dapat terganggu secara signifikan [1]. Di

lapangan, mayoritas pelaku budidaya masih menerapkan metode manual untuk mendinginkan ruangan kumbung, seperti penyiraman air secara langsung. Sayangnya, cara konvensional ini kurang akurat; penyiraman yang terlambat memicu dehidrasi miselium saat cuaca terik [2], sementara volume air yang berlebihan akibat penyiraman manual justru merusak struktur media tanam (*baglog*) dan memicu kegagalan panen [3]. Oleh karena itu, diperlukan pergeseran menuju otomatisasi yang mampu menjaga iklim ruang tanpa merusak substrat tanam.

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi *Internet of Things* (IoT) telah banyak dimanfaatkan untuk memodernisasi sektor pertanian. Sejumlah studi terdahulu berupaya mengintegrasikan jaringan sensor nirkabel untuk memantau suhu di dalam kumbung secara digital [4]. Penelitian lain juga mencoba merancang otomatisasi berbasis pompa air untuk menggantikan tenaga manusia dalam proses penyiraman [5]. Meski demikian, aktuator pompa air atau *sprinkler* konvensional memiliki kelemahan karena menghasilkan karakteristik tetesan air bervolume besar [6]. Hal ini berisiko menyebabkan permukaan media tanam (baglog) mengalami *oversaturasi* atau terlalu basah [7]. Sebagai solusi yang lebih baik, sistem pengkabutan (*misting*) terbukti efektif menurunkan suhu ruangan secara merata tanpa membasahi baglog secara berlebihan [8]. Di sisi lain, dari aspek perangkat lunak pemantauan, beberapa implementasi IoT untuk kumbung jamur sebelumnya masih sangat bergantung pada aplikasi pihak ketiga yang bersifat umum seperti Blynk [9]. Platform tersebut umumnya memiliki keterbatasan dalam hal kustomisasi antarmuka dan pengelolaan basis data secara mandiri.

Berangkat dari celah riset tersebut, penelitian ini merancang "Sistem *Internet of Things* (IoT) Untuk *Monitoring* dan Pengendalian Kondisi Lingkungan Pada Budidaya Jamur Tiram Berbasis ESP32". Secara perangkat keras, purwarupa sistem ini dirakit pada sebuah *breadboard* menggunakan kabel *jumper* dengan mikrokontroler ESP32-S3 sebagai pusat pemrosesan utama. Pemantauan kondisi lingkungan dilakukan secara ganda: suhu dan kelembapan udara ruangan dibaca melalui sensor DHT22, sedangkan tingkat kadar air di dalam baglog dideteksi langsung menggunakan sensor *soil moisture*. Untuk mentransmisikan data pembacaan sensor menuju *database* terpusat di Firebase, arsitektur pengiriman data sistem ini merujuk pada keandalan protokol TCP/IP [10] guna meminimalisasi risiko penumpukan data (*congestion*) pada jaringan internet [11]. Koneksi nirkabel ini didukung sepenuhnya oleh modul komunikasi lapisan fisik berstandar Wi-Fi IEEE 802.11 [12] yang sudah terintegrasi pada ESP32-

S3. Seluruh data dari Firebase kemudian divisualisasikan secara *real-time* melalui *dashboard* web khusus yang di-*deploy* menggunakan platform Vercel. Sebagai respons pengendalian otomatis, mikrokontroler akan memicu *relay* 5V untuk menyalakan *mist maker humidifier* (pembuat kabut) saat suhu terdeteksi melebihi batas toleransi, sehingga proses pendinginan kumbung dapat berjalan aman dan terpantau dengan sistem yang sepenuhnya mandiri.

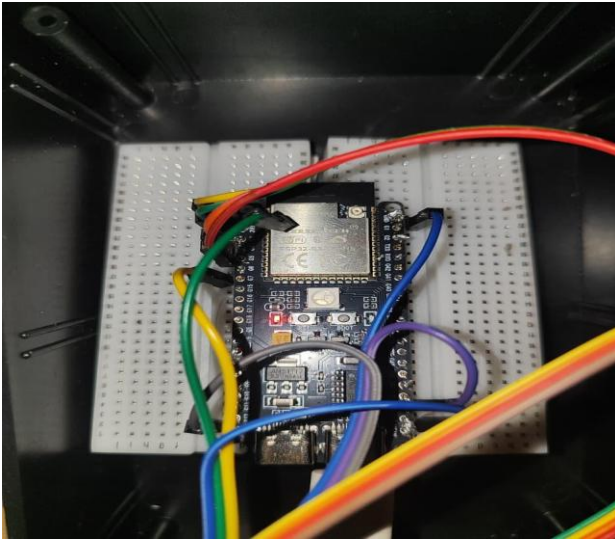
II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui pendekatan eksperimental rekayasa yang berfokus pada perancangan, perakitan, dan implementasi perangkat fisik serta sistem monitoring berbasis IoT terapan. Tahapan penelitian disusun secara sistematis agar kinerja alat dapat dievaluasi fungsi dan keandalannya secara terukur pada lingkungan nyata. Secara garis besar, tahapan penelitian ini dibagi menjadi empat proses utama, yaitu analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*) dan jaringan, serta implementasi dan pengujian sistem.

1. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap awal berfokus pada identifikasi kebutuhan parameter lingkungan operasional untuk budidaya jamur tiram putih. Berdasarkan rentang toleransi biologis, sistem harus mampu menjaga suhu ruangan pada 22–28°C dan kelembapan udara 80–90%, sekaligus memantau kadar air pada media tanam (baglog). Berdasarkan analisis tersebut, ditentukan spesifikasi komponen perangkat keras yang dibutuhkan beserta fungsi spesifiknya sebagai berikut:

Mikrokontroler ESP32-S3 digunakan sebagai pusat kendali utama (*central processing unit*) seluruh sistem. Komponen ini dipilih karena memiliki performa pemrosesan yang tinggi, ketersediaan pin GPIO yang luas, serta sudah dilengkapi dengan modul Wi-Fi terintegrasi untuk mendukung transmisi data secara nirkabel.



Gambar 1. Mikronkontroler ESP32-S3

Sensor DHT22 digunakan sebagai instrumen untuk membaca parameter suhu dan kelembapan udara di dalam ruang kumbung jamur. Sensor ini dipilih karena memiliki tingkat akurasi dan stabilitas pembacaan yang lebih baik dibandingkan dengan sensor generasi sebelumnya.



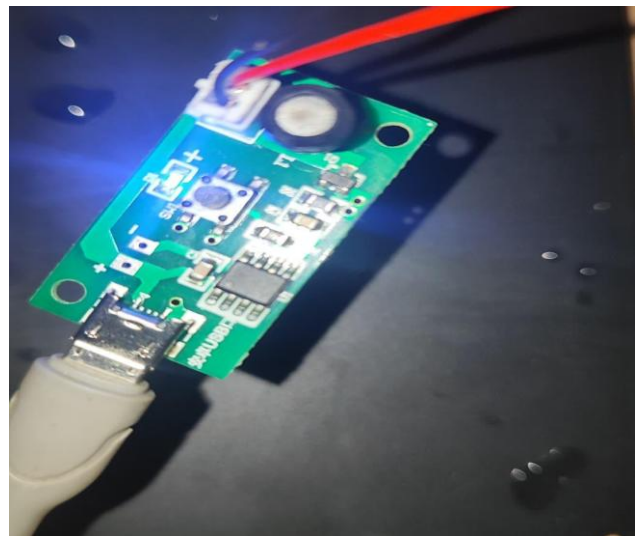
Gambar 2. Sensor DHT22

Sensor *soil moisture* digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembapan atau kadar air yang terkandung langsung di dalam media tanam (baglog) jamur tiram melalui metode tancap probe analog.



Gambar 3. Sensor Soil Moisture

Mist maker humidifier digunakan sebagai aktuator utama untuk sistem pendingin. Alat ini berfungsi mengubah air menjadi partikel kabut halus secara cepat untuk menurunkan suhu ruangan tanpa membuat permukaan baglog menjadi basah kuyup.



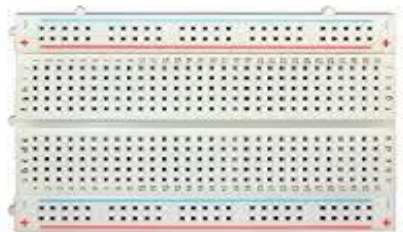
Gambar 4. Modul Mist Maker Humidifier

Modul *relay* 5V digunakan sebagai sakelar elektronik yang menghubungkan beban daya eksternal *mist maker humidifier* dengan mikrokontroler. *Relay* ini bekerja memutus dan menyambungkan arus listrik berdasarkan sinyal digital dari ESP32-S3.



Gambar 5. Relay 5v

Breadboard digunakan sebagai papan sirkuit prototipe sementara untuk menempatkan mikrokontroler dan menyusun jalur kelistrikan tanpa memerlukan proses penyolderan permanen selama tahap pengembangan.



Gambar 6. Breadboard

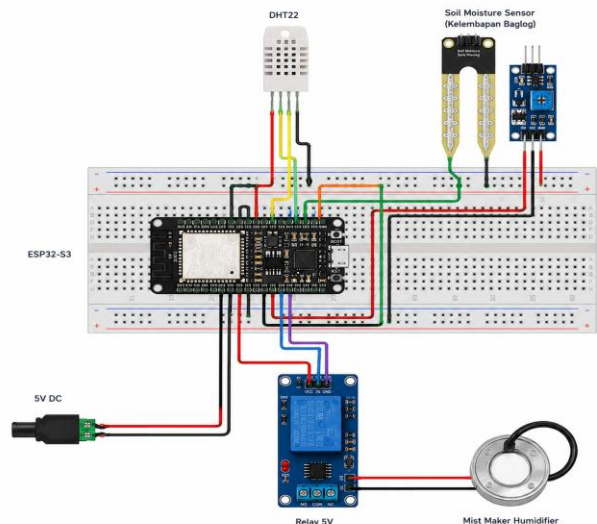
Kabel *jumper* digunakan sebagai media penghubung arus listrik dan jalur data antar komponen elektronik yang terpasang pada *breadboard*.



Gambar 7. Kabel Jumper

2. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada tahap ini, seluruh komponen elektronik yang telah disiapkan dirangkai menjadi satu kesatuan perangkat fisik. Struktur jalur kelistrikan dan hubungan pin antar komponen dirancang berdasarkan visualisasi rangkaian sistem yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Visualisasi Rangkaian

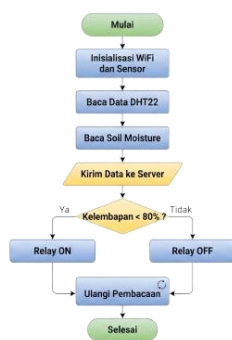
Berdasarkan Gambar 8, sistem kelistrikan dan komunikasi data perangkat keras dibagi menjadi tiga bagian utama: a) Blok Input: Terdiri dari sensor DHT22 yang terhubung ke pin GPIO mikrokontroler untuk menyuplai data suhu dan kelembapan udara kumbung, serta sensor *soil moisture* untuk menyuplai data kelembapan internal baglog jamur. b) Blok Proses: Berupa mikrokontroler ESP32-S3 yang bertindak sebagai unit pemroses sentral untuk membaca sinyal dari blok input, mengeksekusi logika program otomatisasi, dan mengatur konektivitas nirkabel Wi-Fi. c) Blok Output: Terdiri dari aktuator *mist maker humidifier* yang dikendalikan melalui modul *relay* 5V. Modul *relay* menerima sinyal perintah dari pin GPIO mikrokontroler untuk memutuskan atau menyambungkan arus listrik ke *humidifier* sebagai sistem pendingin otomatis.

3. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*),

Flowchart, dan Arsitektur Komunikasi Data Tahap ini mencakup pemrograman logika alat, pemetaan alur kerja sistem, serta pengembangan arsitektur komunikasi data menuju *dashboard* pemantauan terintegrasi.

a) Alur Kerja Sistem (*Flowchart*)

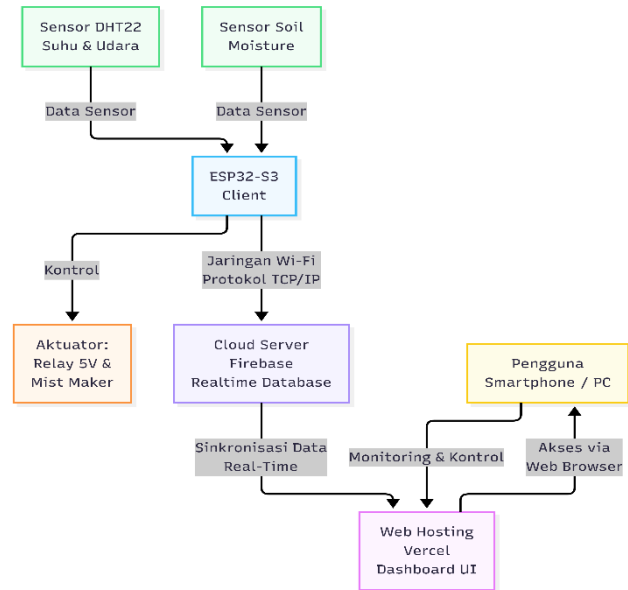
Logika program dijalankan secara sekuensial dan berulang (*looping*). Alur logika ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Flowchart*

Sistem dimulai dengan menginisialisasi koneksi Wi-Fi dan sensor. Selanjutnya, ESP32-S3 membaca data dari sensor DHT22 dan *soil moisture*. Data tersebut langsung dikirim ke server. Logika keputusan (*decision*) kemudian memeriksa hasil bacaan kelembapan udara; jika kelembapan udara terdeteksi di bawah 80%, mikrokontroler akan mengirim sinyal untuk mengaktifkan *relay* sehingga *mist maker humidifier* menyala menghasilkan kabut air. Jika kelembapan udara telah kembali mencapai batas ideal (minimal 80%), aktuator akan otomatis dimatikan, dan proses kembali ke tahap pembacaan sensor.

b) Arsitektur Sistem Internet Of Thing



Gambar 10. Arsitektur Sistem

Transmisi data pada penelitian ini dirancang menggunakan arsitektur *Client-Server* modern berbasis *cloud system* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Secara arsitektur, perangkat fisik ESP32-S3 bertindak sebagai *client* yang mengakuisisi data dari sensor DHT22 dan *soil moisture*, sekaligus memberikan perintah kepada aktuator *mist maker*. Seluruh data lingkungan yang dibaca kemudian dikirimkan secara langsung melalui jaringan Wi-Fi lokal menuju platform *cloud* Firebase.

Proses pengiriman data ini diintegrasikan pada sistem nirkabel mikrokontroler menggunakan protokol komunikasi Firebase API, sehingga seluruh paket metrik lingkungan dapat diperbarui pada *database* secara *real-time*. Pada sisi antarmuka pengguna (*front-end*), dikembangkan sebuah halaman *dashboard monitoring* berbasis web mandiri yang di-*hosting* melalui platform Vercel. Integrasi antara Firebase sebagai penyedia data *real-time* dan Vercel sebagai layanan *hosting* berkinerja tinggi memungkinkan pengguna akhir untuk memantau grafik metrik lingkungan dan status aktuator secara instan, fleksibel, dan mandiri melalui perangkat ponsel pintar maupun komputer tanpa ketergantungan pada platform pihak ketiga konvensional.

4. Implementasi dan Pengujian Sistem

Tahap terakhir adalah mengimplementasikan dan menguji perangkat fisik tersebut secara langsung di dalam fasilitas rumah jamur (kumbung). Pengujian dilakukan untuk memastikan alat beroperasi optimal di lapangan, yang terbagi menjadi tiga fokus utama:

a) Pengujian Fungsionalitas Pembacaan Sensor

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sensor DHT22 dan *soil moisture* dapat beroperasi dengan baik dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan secara wajar. Pengambilan data pembacaan sensor dilakukan sebanyak 10 kali percobaan pada rentang waktu yang berbeda guna memastikan konsistensi pembacaan data sebelum diproses oleh mikrokontroler.

b) Pengujian Integrasi dan *Delay* (Latensi) Komunikasi Data

Tahap ini bertujuan untuk mengukur kecepatan dan stabilitas pengiriman data dari perangkat fisik menuju antarmuka web. Pengujian dilakukan dengan menghitung selisih waktu (*delay*) antara saat ESP32-S3 mengirimkan data sensor hingga data tersebut sukses diterima dan diperbarui pada tampilan *dashboard* web di platform Vercel. Pengujian pengiriman data ini dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan untuk mendapatkan nilai rata-rata *delay* jaringan dalam satuan detik.

c) Pengujian Kinerja Lingkungan

Melakukan observasi langsung terhadap respons otomatisasi aktuator. Pengujian ini mengamati waktu respons dari semburan kabut *mist maker humidifier* dalam upaya meningkatkan persentase kelembapan udara ruangan kumbung kembali ke batas ideal (minimal 80%). Selain itu, pengujian ini mengevaluasi tren data *soil moisture* pada *dashboard* web untuk memastikan bahwa proses pengkabutan tersebut efektif menjaga kondisi ruangan tanpa menyebabkan media tanam (baglog) mengalami *oversaturasi* air. Seluruh log data hasil pengujian ini dicatat untuk kemudian dianalisis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menguraikan hasil pengujian dan evaluasi terhadap sistem monitoring dan pengendalian lingkungan budidaya jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang. Sistem ini dikembangkan untuk membantu pembudidaya memantau suhu, kelembapan udara, dan kelembapan media tanam (baglog) secara *real-time* melalui *dashboard* berbasis web. Selain pemantauan, sistem ini juga difungsikan untuk mengendalikan aktuator *mist maker* secara otomatis guna menjaga stabilitas iklim di dalam kumbung.

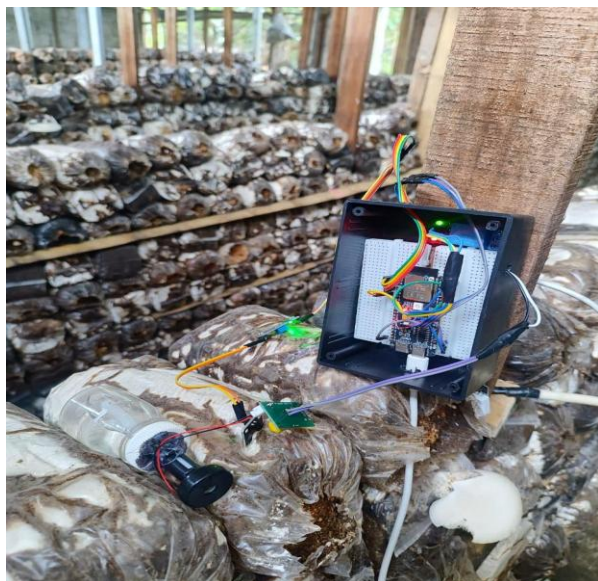
Parameter utama yang dievaluasi pada penelitian ini meliputi akurasi pembacaan suhu udara, kelembapan udara, dan kelembapan baglog yang diolah oleh mikrokontroler ESP32-S3. Seluruh paket data dari sensor dikirimkan ke *database* Firebase dan divisualisasikan pada *dashboard* yang di-hosting melalui Vercel, sehingga memungkinkan akses pemantauan jarak jauh melalui jaringan internet.

A. Hasil Pengujian Sistem

Tahap implementasi sistem merupakan realisasi dari perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dibuat. Hasil dari implementasi ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu wujud fisik alat pengendali di lokasi kumbung dan antarmuka *dashboard website* untuk pemantauan.

1. Implementasi Alat

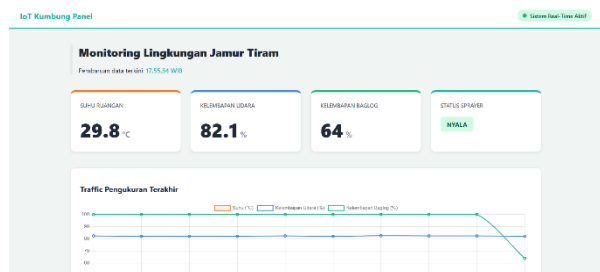
Implementasi perangkat keras dilakukan dengan merakit komponen-komponen utama pada *breadboard*, yang berpusat pada mikrokontroler ESP32-S3. Modul sensor DHT22 diposisikan menggantung di area tengah ruangan kumbung untuk mendapatkan representasi suhu dan kelembapan udara yang akurat. Sementara itu, *probe* dari sensor *soil moisture* ditancapkan secara hati-hati ke dalam bagian atas baglog jamur tiram untuk memantau kadar air media tanam. Aktuator *mist maker humidifier* dihubungkan melalui modul *relay* 5V dan ditempatkan pada titik yang memungkinkan penyebaran kabut secara merata ke seluruh ruangan.



Gambar 11. Implementasi Perangkat Keras

2. Implementasi Website

Antarmuka pengguna (*user interface*) direalisasikan dalam bentuk *dashboard* berbasis web yang di-hosting melalui platform Vercel. *Dashboard* ini terhubung langsung dengan *database* Firebase untuk menampilkan data pembacaan metrik lingkungan secara *real-time*. Pada halaman utama, pengguna dapat melihat indikator numerik dan grafik pergerakan suhu udara, kelembapan udara, serta persentase kelembapan baglog. Selain itu, terdapat indikator visual yang menampilkan status aktuator *mist maker* (ON/OFF), sehingga pengguna dapat memantau kapan proses pendinginan kumbung sedang berlangsung secara mandiri dari jarak jauh.



Gambar 12. Tampilan Dashboard Monitoring Berbasis Web

B. Hasil Pengujian Sistem

1. Pengujian Fungsionalitas Sensor dan Kontrol Aktuator

Sebelum diimplementasikan untuk pemantauan secara kontinu, sistem pembacaan sensor dan logika pengendalian *mist maker* diuji terlebih dahulu untuk memastikan seluruh komponen keras bekerja sesuai dengan algoritma yang dirancang. Pengujian ini dilakukan langsung pada fasilitas kumbung jamur tiram berskala rumahan dengan menggunakan tiga baglog sebagai sampel pengamatan. Pengambilan data otomatis dilakukan dengan interval waktu 20 detik. Hasil pengujian fungsionalitas ini ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor dan Kontrol Mist Maker

No	Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan Udara (%)	Kelembapan Baglog (%)	Status Mist Maker
1	10:30:00	29,1	73	58	ON
2	10:30:20	28,9	75	59	ON
3	10:30:40	28,8	74	58	ON
4	10:31:00	28,6	77	60	ON
5	10:31:20	28,5	79	61	ON
6	10:31:40	28,4	81	60	OFF
7	10:32:00	28,5	80	62	OFF
8	10:32:20	28,3	82	61	OFF
9	10:32:40	28,4	81	63	OFF
10	10:33:00	28,2	83	62	OFF

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa sistem kendali otomatis berhasil merespons perubahan kondisi lingkungan dengan baik. Pada rentang waktu 10:30:00 hingga 10:31:20, saat kelembapan udara masih berada di bawah ambang batas ideal (73% hingga 79%), mikrokontroler secara konsisten mengirimkan sinyal HIGH pada *relay* untuk mengaktifkan (ON) *mist maker*. Semburan kabut tersebut terbukti efektif menaikkan persentase kelembapan udara secara bertahap. Ketika kelembapan udara telah mencapai angka optimal di atas 80% pada pukul 10:31:40, sistem secara otomatis memutus arus (OFF) pada aktuator. Hal ini membuktikan bahwa logika kendali sistem telah berjalan presisi tanpa campur tangan manusia.

2. Pengujian Transmisi Data ke Firebase

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat keandalan dan keberhasilan mikrokontroler ESP32-S3 dalam mentransmisikan paket data pembacaan sensor menuju *database cloud* Firebase melalui jaringan Wi-Fi lokal. Evaluasi dilakukan secara bersamaan dengan proses pengujian sensor pada Tabel 1.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pengiriman Data

No	Waktu	Status Pengiriman
1	10:30:00	Berhasil
2	10:30:20	Berhasil
3	10:30:40	Berhasil
4	10:31:00	Berhasil
5	10:31:20	Berhasil
6	10:31:40	Berhasil
7	10:32:00	Gagal
8	10:32:20	Berhasil
9	10:32:40	Berhasil
10	10:33:00	Berhasil

Dari 10 kali percobaan pengiriman data dengan interval 20 detik yang ditunjukkan pada Tabel 2, sistem mencatatkan 9 kali keberhasilan pengiriman (*success rate* sebesar 90%). Terdapat satu kegagalan transmisi (*packet loss*) yang tercatat pada pukul 10:32:00. Kendala ini diduga kuat disebabkan oleh fluktuasi sementara pada latensi jaringan Wi-Fi lokal (*delay* jaringan). Meskipun demikian, arsitektur komunikasi sistem mampu melakukan pemulihan (*recovery*) secara cepat sehingga pengiriman data pada detik ke-20 berikutnya kembali berhasil masuk ke dalam *database*.

3. Pemantauan Kinerja Sistem Selama Tiga Hari

Setelah seluruh subsistem dipastikan berfungsi dengan baik, dilakukan tahap pengujian operasional secara kontinu selama tiga hari berturut-turut. Pengujian jangka menengah ini esensial untuk mengevaluasi stabilitas alat, tren parameter lingkungan kumbung, serta daya tahan (*endurance*) pengiriman data ke *server*

ketika dihadapkan pada fluktuasi cuaca nyata dari pagi hingga malam hari.

Tabel 3. Hasil Monitoring Sistem Selama Tiga Hari

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3
Suhu rata-rata (°C)	28,9	28,4	28,0
Kelembapan udara rata-rata (%)	81,4	84,1	85,7
Kelembapan baglog rata-rata (%)	62,5	64,8	67,2
Frekuensi Aktivasi Mist Maker	21 kali	17 kali	14 kali
Keberhasilan pengiriman data (%)	92%	95%	96%

Data pada Tabel 3 merepresentasikan rekapitulasi harian dari kinerja operasional alat. Terdapat tren penurunan frekuensi aktivasi *mist maker* yang berbanding lurus dengan perbaikan rata-rata kondisi lingkungan kumbung. Pada Hari ke-1, *mist maker* aktif sebanyak 21 kali untuk mengimbangi suhu rata-rata yang cukup tinggi (28,9°C). Memasuki Hari ke-3, suhu rata-rata berhasil ditekan hingga 28,0°C dan kelembapan udara rata-rata meningkat menjadi 85,7%, sehingga aktuator hanya perlu menyala sebanyak 14 kali. Kelembapan di dalam baglog juga terpantau meningkat secara stabil dari 62,5% menjadi 67,2% tanpa mengalami *oversaturasi* air, yang membuktikan bahwa metode pengkabutan jauh lebih aman bagi media tanam dibandingkan penyiraman langsung. Tingkat keberhasilan pengiriman data ke *server* juga menunjukkan performa yang sangat stabil dan meningkat, bertahan di atas angka 92% selama tiga hari pengujian.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian untuk mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian kondisi lingkungan budidaya jamur tiram berbasis *Internet of Things* (IoT) telah berhasil dicapai sepenuhnya. Sistem terintegrasi yang dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32-S3, sensor DHT22, dan sensor *soil*

moisture ini terbukti mampu menjalankan fungsi pemantauan parameter ganda serta otomatisasi pendinginan kumbung secara mandiri melalui *dashboard* web yang di-*hosting* pada platform Vercel dengan dukungan *database cloud* Firebase. Logika kendali otomatis berbasis ambang batas kelembapan udara di bawah 80% terbukti dapat mengeksekusi sakelar *relay* untuk mengaktifkan aktuator *mist maker humidifier* secara presisi dan responsif sesuai dengan kondisi riil lingkungan di lapangan. Selain itu, hasil pengujian fungsionalitas dan transmisi data menunjukkan performa sistem yang sangat andal dengan tingkat keberhasilan pengiriman paket data (*success rate*) ke Firebase yang stabil di atas 90% hingga mencapai 96% selama operasional jangka menengah. Selama tiga hari pemantauan kontinu, penerapan metode pengkabutan (*misting*) secara signifikan mampu memperbaiki mikroklimat ruangan kumbung dengan menekan suhu rata-rata hingga mencapai batas ideal 28,0°C dan meningkatkan kelembapan udara rata-rata hingga 85,7%. Integrasi sensor *soil moisture* juga memberikan kontribusi penting dalam membuktikan bahwa kadar air internal baglog dapat terjaga stabil pada rentang 62,5% hingga 67,2% tanpa mengalami risiko *oversaturasi* air atau pembusukan media tanam, yang selama ini menjadi kelemahan utama pada metode penyiraman manual menggunakan pompa air konvensional. Secara aplikasi praktis, implementasi arsitektur *Client-Server* modern berbasis Firebase dan Vercel ini memberikan alternatif solusi yang fleksibel bagi pembudidaya jamur tiram untuk memantau tren parameter lingkungan secara mandiri dan *real-time* dari jarak jauh tanpa ketergantungan pada platform pihak ketiga yang kaku. Sebagai bentuk pengembangan ke depan, sistem ini dapat

ditingkatkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur kendali hibrida yang mengintegrasikan otomatisasi penyiraman internal baglog apabila kadar air menurun di bawah ambang batas biologis tertentu, serta penguatan pada aspek algoritma pemulihan jaringan (*network reconnection*) pada program mikrokontroler untuk meminimalisir potensi kehilangan data (*packet loss*) akibat fluktuasi latensi Wi-Fi lokal di area budidaya.

REFERENSI

- [1] R. Kurniawan, A. Prasetyo, dan S. Hidayati, "Analisis Pengaruh Variabilitas Suhu terhadap Produktivitas Miselium *Pleurotus ostreatus*," *Jurnal Agroteknologi Tropika*, vol. 5, no. 2, hal. 112-118, 2023.
- [2] A. N. Hasanah, M. R. Firdaus, dan T. S. Wahyuni, "Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Laju Pertumbuhan Miselium Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*)," *Jurnal Mikologi Indonesia*, vol. 4, no. 1, hal. 22-29, 2022.
- [3] D. R. Syahputra dan T. Widodo, "Evaluasi Tingkat Kegagalan Panen pada Metode Penyiraman Konvensional Kumbung Jamur," *Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol. 11, no. 1, hal. 45-51, 2022.
- [4] I. G. N. Pramana dan H. Setiawan, "Implementasi Jaringan Sensor Nirkabel untuk Perekaman Termal Ruang Budidaya," *Jurnal Sistem Cerdas dan IoT*, vol. 2, no. 1, hal. 33-39, 2023.
- [5] A. Wibowo, F. Rahman, dan E. Susanti, "Otomatisasi Pompa Air pada Rumah Kaca Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, vol. 6, no. 2, hal. 88-95, 2021.
- [6] S. Riyadi, B. Nugroho, dan D. W. Astuti, "Analisis Karakteristik Droplet pada Berbagai Tipe Nozzle Sprinkler untuk Irigasi Pertanian," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 10, no. 3, hal. 215-223, 2021.
- [7] M. F. Amin, B. Santoso, dan L. Anggraini, "Dampak Oversaturasi Media Tanam Baglog akibat Irigasi Manual," *Jurnal Rekayasa Biosistem*, vol. 8, no. 3, hal. 201-207, 2024.
- [8] M. H. Santoso, K. Anwar, dan L. P. Sari, "Efektivitas Sistem Pengkabutan (Misting) Terhadap Distribusi Suhu dan Kelembapan pada Green House," *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 9, no. 2, hal. 134-142, 2023.
- [9] H. Haryanto, M. R. Anwar, dan D. Riyadi, "Implementasi Internet of Things pada Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Kumbung Jamur Menggunakan Aplikasi Blynk," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 8, no. 2, hal. 145-154, 2022.
- [10] A. Karnik, "Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP/ABR and rate adaptive TCP/IP," M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Jan. 1999.
- [11] J. Padhye, V. Firoiu, and D. Towsley, "A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control," Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.
- [12] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification*, IEEE Std. 802.11, 1997