pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v21i4.xxxxx

PENGATURAN SUHU DAN KELEMBABAN SERTA PENYIRAMAN PESTISIDA SECARA OTOMATIS UNTUK PENINGKATAN PRODUKSI JAMUR TIRAM

Yonathan Dwi Nugroho[1)], Iwan Setiawan[2)], Yuniarto[3)]
[1)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
**E-mail : yuniartostmt@gmail.com*

ABSTRACT

Oyster mushroom production is often hindered by suboptimal temperature and humidity, as well as manual pest control, leading to inefficiency. This project proposes a prototype system for automatic temperature and humidity control, along with scheduled pesticide spraying, to improve the efficiency and productivity. This system uses an ESP-32 microcontroller, a DHT22 sensor for temperature and humidity monitoring, and an RTC DS1307 for scheduling. Actuators include heaters, Peltier coolers, exhaust fans, humidifiers, and a pesticide pump. Users can monitor and configure the system locally via a 16x2 LCD and keypad or remotely through a web dashboard. Calibration of the DHT22 sensor reduced temperature reading errors from 4.32% to 0.31% and humidity errors from 1.4% to 0.22%. The system maintained temperature within 26–28°C (setpoint 27°C, differential 2) and humidity within 88.5–91.5% (setpoint 90%, differential 3). The automated pesticide spraying functioned according to schedule (every 3 days for a duration of 5 seconds at 17:00). The web dashboard interface showed good performance with a Google Lighthouse score of 100 and a speed index of 0.9 seconds. Oyster mushrooms grow optimally at approximately 4 cm per day and are ready for harvest by the fourth day.

Keywords : *Oyster Mushroom Cultivation, Temperature, Humidity, Pesticide, Microcontroller*

PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan kebutuhan pangan, manusia mencari sumber kebutuhan pangan yang lain. Salah satu sumber pangan yang ditemukan adalah jamur tiram. Jamur tiram dengan bahasa latin Pleurotus sp. adalah salah satu jamur konsumsi dengan nilai ekonomi tinggi [1]. Dengan adanya nilai ekonomi yang tinggi membuat banyak yang membudidayakan jamur tiram. Namun pertumbuhan jamur tiram bergantung pada kondisi lingkungannya. Jamur tiram dapat tumbuh pada lingkungan bersuhu 16 - 30°C dengan paling optimal pada suhu 25 - 28°C dan memiliki kelembaban relatif berkisar 85 - 95% [1], [2], [3], [4], [5]. Untuk menjaga suhu dan kelembaban biasanya menggunakan cara manual dengan penyemprotan air saat suhu tinggi atau saat kering.

Selain masalah suhu dan kelembaban udara jamur tiram memerlukan perawatan agar terhindar dari hama. Dampak hama pada budidaya jamur tiram adalah menurunkan produktifitas dan merusak jamur tiram. Salah satu hama jamur tiram yang paling sering adalah lalat jamur dan tungau jamur [5]. Upaya pembasmian hama pada jamur tiram salah satunya adalah dengan dilakukan penyemprotan pestisida yang sudah cukup untuk membasmi hama [6]. Penyemprotan pestisida biasanya dilakukan secara manual sehingga memakan waktu dan tenaga yang cukup banyak [6].

Salah satu cara yang dapat dipakai untuk meningkatkan efisiensi produksi jamur tiram dalam pengaturan suhu dan kelembaban serta penyemprotan pestisida adalah dengan otomatisasi menggunakan mikrokontroller. Alat tersebut dapat bekerja dengan mendeteksi suhu dan kelembaban kemudian mengaktifkan aktuator yang diperlukan secara otomatis, serta dapat dijadwalkan secara berkala untuk penyiraman pestisida. Alat otomatisasi dapat dimonitoring dari jarak jauh menggunakan IoT seperti blynk atau Antares [7], [8].

Terdapat beberapa penelitian yang telah dikembangkan sebelumnya yang mempunyai tujuan yang hampir sama seperti penelitian oleh Andre dkk. mengenai sistem pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembapan secara otomatis dan jarak jauh menggunakan NodeMCU ESP8266 berbasis IoT. Sistem menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, lalu mengirimkan data ke platform ANTARES. Apabila suhu dan kelembapan tidak sesuai dengan pengaturan, pompa air DC 12 Volt secara otomatis menyala untuk menyesuaikannya [7]. Selanjutnya penelitian oleh Faridz yang menjelaskan sistem

otomasi penyemprotan pestisida pada kumbung jamur tiram putih berbasis mikrokontroler ESP32. Sistem ini menggunakan pompa DC 12V, relay, nozzle misting, dan modul RTC DS3231 untuk menjadwalkan penyemprotan setiap 3 hari selama 20 detik. Tujuannya adalah untuk mengurangi risiko keracunan akibat penggunaan pestisida manual [6]. Selanjutnya penelitian oleh Wibowo dkk. yang mengembangkan sistem otomasi penyemprotan pestisida berbasis IoT pada pohon jambu menggunakan mikrokontroler ESP8266, pompa DC 12V, relay, nozzle misting, LCD 16x2, dan modul RTC DS1307. Sistem bekerja secara otomatis, menyemprotkan pestisida pada pukul 16.00 WIB dan berhenti pada pukul 16.01 WIB [9]. Sementara itu, Gunawan dan Ahmadi merancang sistem monitoring suhu dan kelembapan pada kumbung jamur tiram dengan sistem pengkabutan otomatis berbasis IoT menggunakan NodeMCU dan aplikasi Blynk. Sensor DHT11 digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan, mengirimkan data ke NodeMCU V3, dan memicu notifikasi serta pengkabutan otomatis jika suhu melebihi 30,2°C [8].

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah membahas aspek-aspek tertentu dari sistem otomatisasi, sistem yang disajikan dalam penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih terintegrasi. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pengembangan sistem komprehensif yang secara simultan mengelola suhu, kelembapan, dan penyemprotan pestisida terjadwal, yang dirancang khusus untuk budidaya jamur tiram. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan dua antarmuka, antarmuka lokal berupa LCD dan keypad untuk pengaturan langsung di lokasi, serta antarmuka jarak jauh melalui web dashboard yang dihosting langsung pada ESP32, sehingga memberikan kemandirian lebih besar dibandingkan ketergantungan pada platform cloud pihak ketiga seperti Blynk atau ANTARES. Kombinasi fitur-fitur ini, terutama integrasi pengelolaan pestisida dengan kontrol lingkungan yang menyeluruh dan akses ganda yang fleksibel, menjadi pembeda utama penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

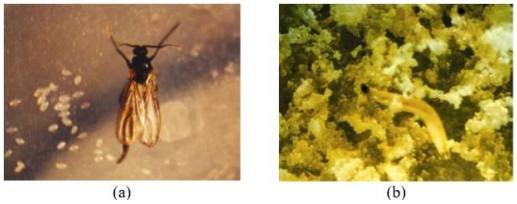
Jamur Tiram

Jamur tiram (*Pleurotus sp*.) merupakan salah satu jamur pangan bernilai ekonomi tinggi dengan ciri khas berbentuk seperti cangkang tiram dan tekstur lembut. Tubuh buahnya berwarna putih hingga abu-abu, dengan bilah-bilah (lamela) di bagian bawah tudung tempat spora diproduksi. Siklus hidupnya dimulai dari spora yang tumbuh menjadi miselium, lalu berkembang menjadi tubuh buah pada media tanam seperti serbuk gergaji yang telah difermentasi dan diperkaya nutrisi tambahan seperti bekatul dan kapur. Media tersebut dikemas dalam kantong plastik, disterilkan, lalu diinokulasi dengan bibit jamur sebelum proses budidaya dimulai [1].

Pertumbuhan optimal jamur tiram dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan lingkungan. Perkecambahan spora berlangsung baik pada suhu 24–28°C, pertumbuhan miselium optimal pada 20–25°C, dan pembentukan tubuh buah ideal pada 25–28°C. Kelembapan udara yang sesuai adalah 65–70% saat pertumbuhan awal dan 85–95% saat pembentukan tubuh buah [1], [2], [3], [4], [5].. Kelembapan yang tidak sesuai dapat memperlambat pertumbuhan dan menurunkan kualitas jamur. Selain memiliki rasa yang enak, jamur tiram juga kaya akan protein, serat, vitamin, dan mineral, serta berpotensi dikembangkan secara ekonomi pada skala rumah tangga maupun industri.

Hama Jamur Tiram

Jamur tiram rentan terhadap serangan hama yang dapat menurunkan produktivitas dan merusak kualitas jamur. Lingkungan kumbung yang hangat, lembap, dan kaya nutrisi menjadi tempat ideal bagi perkembangan hama. Terdapat lima jenis lalat jamur dan dua jenis tungau yang umum menjadi hama pada budidaya jamur tiram [5]. Gambar 1 berikut merupakan lalat jamur yang menjadi salah satu hama jamur tiram.



(a) (b)

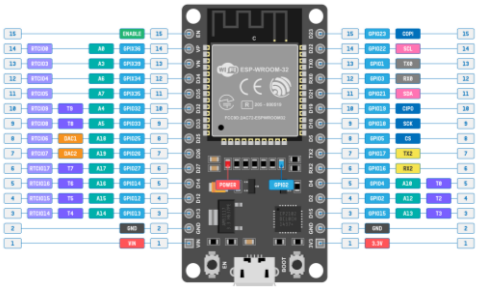
Gambar 1 (a) Sciaridae dewasa dan telurnya (b) Larva Sciaridae

Salah satu hama utama adalah lalat jamur dari famili Sciaridae (khususnya *Lycoriella mali*). Lalat dewasa berukuran sekitar 2 mm dengan antena panjang, sementara larvanya berukuran 6–12 mm dan memiliki kepala berwarna hitam. Larva menyerang dengan memakan miselium, pin head, dan jamur dewasa, yang menyebabkan terhentinya pertumbuhan dan terbentuknya lubang pada tangkai atau tudung. Seekor betina dapat bertelur hingga 130 butir di media tanam, dengan waktu penetasan 4–5 hari pada suhu 20°C. Perkembangan hama ini terganggu jika suhu lingkungan di bawah 15°C atau di atas 30°C [5].

ESP 32

ESP32 adalah modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan Wi-Fi dan Bluetooth Low Energy (BLE), sehingga cocok untuk berbagai

aplikasi mulai dari jaringan sensor hemat daya hingga pemrosesan data berat seperti streaming audio. Modul ini memiliki dua inti CPU dengan frekuensi yang dapat diatur hingga 240 MHz, serta koprosesor hemat daya untuk efisiensi energi. Periferal internalnya mencakup sensor sentuh kapasitif, sensor efek Hall, antarmuka SD card, Ethernet, UART, I2C, dan lainnya. Dengan konsumsi daya saat tidur hanya 10 µA, ESP32 ideal untuk perangkat bertenaga baterai. Modul ini mendukung kecepatan data hingga 150 Mbps dan daya output hingga 22 dBm, memberikan jangkauan komunikasi yang luas dan konektivitas fleksibel baik melalui Wi-Fi maupun BLE [10]. ESP32 digunakan pada sistem otomatisasi ini karena memiliki fitur dan pin GPIO dibandingkan arduino maupun ESP8266. Selain itu ESP32 dapat difungsikan juga sebagai web server. Gambar 2 menunjukkan bentuk fisik dari ESP32 yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2 Bentuk fisik ESP32

DHT 22

Sensor DHT22 (AM2303) adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan presisi tinggi. Sensor ini menggabungkan elemen kelembapan kapasitif dan termistor digital, serta memiliki mikrokontroler internal 8-bit untuk pemrosesan sinyal. DHT22 menggunakan antarmuka single bus yang memudahkan integrasi dengan mikrokontroler, memiliki ukuran kecil, konsumsi daya rendah (~300 µA), dan jarak transmisi hingga 20 meter. Sensor ini bekerja pada tegangan 3,3–5,5 V, dengan resolusi 0,1°C dan RH 0,1%, rentang pengukuran suhu -40°C hingga 125°C dan kelembapan 0–99,9%, serta akurasi masing-masing ±0,3°C dan RH ±2% [11]. DHT22 digunakan pada penelitian ini karena memiliki akurasi dan rentang pengukuran yang lebih baik dibandingkan DHT11. Gambar 3 berikut ini merupakan bentuk fisik dari DHT 22 yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3 Bentuk fisik DHT22

RTC DS1307

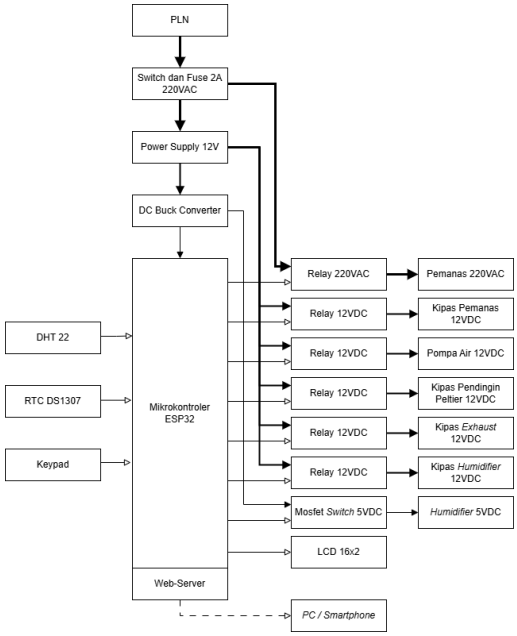
DS1307 adalah modul Real Time Clock (RTC) berdaya rendah yang menggunakan antarmuka I2C untuk menyimpan dan mentransmisikan data waktu secara real-time dalam format BCD (binary-coded decimal). Modul ini menyediakan informasi detik, menit, jam (format 12/24 jam), hari, tanggal, bulan, dan tahun, termasuk penyesuaian otomatis untuk jumlah hari dalam bulan dan tahun kabisat. DS1307 juga dilengkapi dengan 56 byte SRAM non-volatil dan sistem deteksi kehilangan daya yang secara otomatis beralih ke mode baterai cadangan untuk menjaga kontinuitas waktu. Modul ini beroperasi sebagai slave dalam komunikasi I2C dan memiliki mekanisme perlindungan saat tegangan turun agar tidak terjadi kesalahan penulisan data [12]. RTC ini diperlukan untuk mengatur atau menjadwalkan waktu penyemprotan pestisida.

METODE PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian yang diharapkan, tahapan metode penelitian ini meliputi pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan pembuatan perangkat lunak (*software*), pembuatan dan perakitan prototipe, hingga pengujian fungsionalitas dan analisis kinerja sistem secara keseluruhan.

Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras ini dilakukan untuk menghasilkan desain dan komponen yang diperlukan dalam sistem agar dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi yang diperhitungkan. Block diagram adalah alat penting dalam desain dan analisis sistem yang memungkinkan visualisasi hubungan antar komponen dengan cara yang sederhana dan mudah dipahami. Pada gambar 4 berikut ini merupakan blok diagram yang dihasilkan untuk sistem yang digunakan pada penelitian ini.

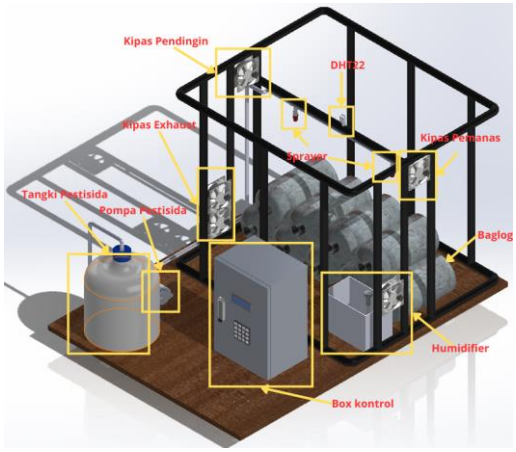


Gambar 4 Diagram blok alat

Pada blok diagram sistem ini menunjukkan bagaimana setiap komponen bekerja secara terintegrasi untuk mengatur suhu, kelembapan, dan penyemprotan pestisida dalam kumbung jamur. Sumber daya utama berasal dari PLN 220V 50Hz, yang melalui switch dan fuse 2A untuk pengamanan dan pengendalian arus. Tegangan ini dikonversi menjadi 12VDC oleh power supply SMPS, kemudian diturunkan menjadi 5VDC melalui DC buck converter untuk daya mikrokontroler ESP32 dan komponen lainnya. Sensor DHT22 mengukur suhu dan kelembapan, sedangkan RTC DS1307 menyediakan waktu dan tanggal yang dibutuhkan sistem.

Mikrokontroler ESP32 menjadi pusat pengendali sistem, menerima input dari sensor, RTC, dan keypad 4x4 untuk mengatur parameter, serta mengirim output ke berbagai aktuator melalui relay (220V untuk pemanas, 12V untuk pendingin, kipas dan pompa) dan MOSFET switch (untuk humidifier 5V). Output ditampilkan melalui LCD 16x2, dan sistem juga menyediakan akses pengaturan serta monitoring data melalui web dashboard lokal yang dapat diakses dari PC atau smartphone tanpa bergantung pada platform cloud. Seluruh perangkat aktuator, seperti pemanas, kipas, pompa, peltier pendingin, dan humidifier bekerja sesuai logika kontrol yang ditanamkan dalam ESP32 untuk menjaga lingkungan kumbung jamur tetap optimal.

Prototipe kumbung jamur dirancang dengan ukuran 70×60×60 cm menggunakan rangka pipa PVC 1/2 inci yang ditutup dengan plastik. Keseluruhan struktur ditempatkan di atas papan kayu beroda untuk mobilitas dan dirancang untuk menampung 8-10 baglog jamur. Gambar 5 berikut ini merupakan desain 3D dari rancangan sistem pengatur suhu dan kelembaban serta penyiraman pestisida otomatis.

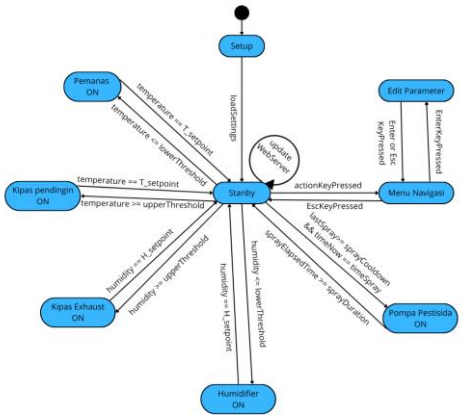


Gambar 5 Bagian-bagian dari alat kumbung jamur

Sistem kontrol dari kumbung jamur ini di tempatkan pada panel box dengan ukuran 20 x 30 x 12 cm. Pada panel box ini pada bagian depan merupakan pintu panel box dengan pengunci, yang dipasang LCD 16x2 I2C sebagai display untuk menampilkan menu suhu, kelembaban, waktu penyemprotan pestisida. Selain itu pada pintu panel box juga dipasang keypad 4x4 untuk mengganti menu dan mengedit nilai pengaturan suhu, kelembaban, dan waktu penyemprotan pestisida.

Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak, perancangan dilakukan dengan membuat state diagram atau state chart. State diagram adalah alat penting dalam analisis dan perancangan sistem yang memungkinkan untuk memodelkan perilaku sistem atau objek berdasarkan state (keadaan) dan transisi antar state. Pada gambar 6 berikut ini merupakan state diagram dari rancangan sistem.



Gambar 6 State Diagram

Alur kerja sistem dimulai dengan inisialisasi seluruh komponen, koneksi Wi-Fi, dan server, diikuti dengan pemuatan konfigurasi yang tersimpan. Sistem kemudian memasuki mode siaga (*standby*), di mana secara kontinu memonitor suhu dan kelembaban melalui sensor DHT22 serta waktu dari modul RTC, dengan data yang diperbarui secara *real-time* ke *web dashboard*. Dalam mode ini, semua aktuator nonaktif. Logika kontrol lingkungan diaktifkan ketika parameter menyimpang dari ambang batas yang ditentukan, pemanas aktif jika suhu turun di bawah batas bawah, dan pendingin aktif jika suhu melebihi batas atas. Demikian pula, *humidifier* diaktifkan saat kelembaban terlalu rendah, dan kipas *exhaust* menyala saat kelembaban terlalu tinggi. Setelah parameter kembali ke nilai *setpoint*, sistem kembali ke mode siaga. Untuk manajemen hama, pompa pestisida diaktifkan secara otomatis berdasarkan jadwal hari dan waktu yang telah ditentukan, berjalan selama durasi yang ditetapkan sebelum kembali ke mode siaga. Interaksi pengguna lokal difasilitasi melalui keypad, yang memungkinkan navigasi menu untuk melihat data, menguji aktuator, atau masuk ke mode edit untuk mengubah parameter operasional seperti *setpoint* dan *diferensial,* dengan perubahan yang dapat disimpan atau dibatalkan.

HASIL PENGUKURAN

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari alat yang telah dibuat. Sehingga seluruh sistem dari alat yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik dan sesuai tujuan awal.

Pengukuran Pembacaan Suhu Sensor DHT22

Pengukuran suhu menggunakan sensor DHT22 dilakukan dalam kondisi suhu lingkungan yang bervariasi untuk menguji kinerja dan keakuratannya. Hasil pembacaan dari sensor DHT22 kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan termometer konvensional. Tabel 1 berikut ini merupakan hasil pengukuran sensor suhu sebelum dikalibrasi.

Tabel 1 Pengukuran suhu sebelum dikalibrasi

No	Suhu DHT22 (°C)	Termometer (°C)	Error (%)
1	26,5	25	6
2	27	26	3,85
3	28	27	3,7
4	29,1	28	3,93
5	30,2	29	4,14
%Error Rata-rata			4,32

Data suhu sebelum kalibrasi menunjukkan rata-rata persentase error sebesar 4,32%, yang cukup tinggi dan menandakan bahwa akurasi sensor masih jauh berbeda dengan termometer konvensional. Oleh karena itu, diperlukan kalibrasi dengan rumus regresi linear y=1,0358x−2,167. Setelah kalibrasi, diperoleh data suhu sensor DHT22 dengan rata-rata persentase error sebesar 0,31% seperti yang terlihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Pengukuran suhu setelah dikalibrasi

No	Suhu DHT22 (°C)	Termometer (°C)	Error (%)
1	25,2	25	0,8
2	26,1	26	0,38
3	27,1	27	0,37
4	28	28	0
5	29	29	0
%Error Rata-rata			0,31

Pengukuran Pembacaan Kelembaban Sensor DHT22

Pengukuran kelembaban menggunakan sensor DHT22 dilakukan dalam kondisi kelembaban lingkungan yang bervariasi untuk menguji kinerja dan keakuratannya. Hasil pembacaan sensor DHT22 kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan higrometer konvensional. Tabel 3 merupakan hasil pengukuran sensor kelembaban sebelum dikalibrasi.

Tabel 3 Pengukuran kelembaban sebelum dikalibrasi

No	Kelembaban DHT22 (%)	Higrometer (%)	Error (%)
1	89,5	88	1,7
2	90	89	1,12
3	91,1	90	1,22
4	94,5	93	1,61
5	96,3	95	1,37
%Error Rata-rata			1,4

Data kelembaban sebelum kalibrasi menunjukkan rata-rata persentase error sebesar 1,4%, yang cukup tinggi dan menandakan bahwa akurasi sensor masih jauh berbeda dengan higrometer konvensional. Oleh karena itu, diperlukan kalibrasi dengan rumus regresi linear y=0,9772x−0,8258. Setelah kalibrasi, diperoleh data kelembaban sensor DHT22 dengan rata-rata persentase error sebesar 0,22% seperti yang terlihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Pengukuran kelembaban setelah dikalibrasi

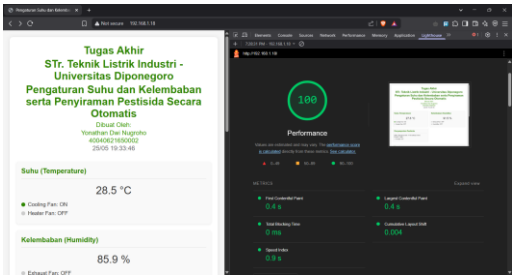
No	Kelembaban DHT22 (%)	Higrometer (%)	Error (%)
1	86,1	86	0,12
2	88,1	88	0,11
3	89,1	89	0,11

4	92,4	92	0,43
5	95,3	95	0,32
	%Error Rata-rata		0,22

Pengujian Antarmuka Web Dashboard

Antarmuka merupakan komponen penting dalam alat yang memerlukan sistem monitoring, karena berfungsi sebagai penghubung antara pengguna, perangkat, dan sistem. Dalam sistem pengaturan suhu, kelembaban, serta penyiraman pestisida otomatis, antarmuka web dashboard digunakan untuk menampilkan data secara real-time. Tampilan data pada web dashboard terbukti sesuai dengan data yang ditampilkan pada LCD, menunjukkan bahwa sistem antarmuka bekerja dengan baik.

Selanjutnya, pengujian performa dilakukan menggunakan Google Lighthouse, yang menghasilkan skor performa 100 dan speed index sebesar 0,9 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa web dashboard memiliki kinerja yang sangat baik serta memenuhi standar kecepatan dan responsivitas antarmuka pengguna. Gambar 7 merupakan hasil pengujian google lighthouse.

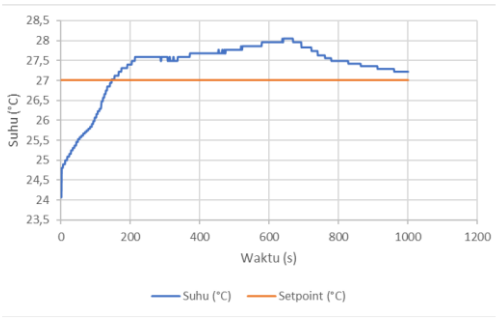


Gambar 7 Pengujian Google Lighthouse

Pengujian Kontrol Suhu dan Kelembaban

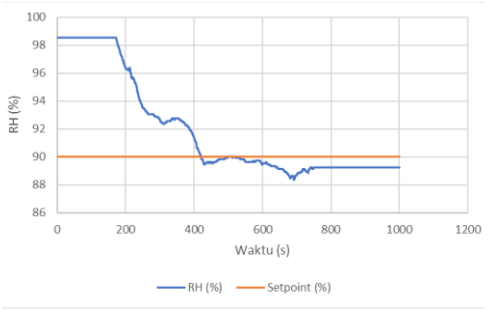
Pada pengujian ini, setpoint suhu diatur pada 27°C dengan diferensial 2, sehingga pemanas aktif saat suhu turun di bawah 26°C dan pendingin aktif saat suhu naik di atas 28°C. Sementara itu, setpoint kelembaban ditetapkan pada RH 90% dengan diferensial 3, sehingga humidifier aktif saat kelembaban turun di bawah 88,5% dan kipas exhaust menyala saat kelembaban melebihi 91,5%. Data dikumpulkan menggunakan PLX-DAQ sebanyak 1000 sampel dengan interval pengambilan 1 detik.

Berdasarkan grafik suhu Gambar 8, suhu meningkat dari 24°C hingga mencapai batas atas 28°C, lalu menurun secara bertahap hingga stabil di sekitar 27,2°C. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol suhu bekerja secara efektif untuk menjaga suhu dalam batas yang ditentukan.



Gambar 8 Grafik data suhu

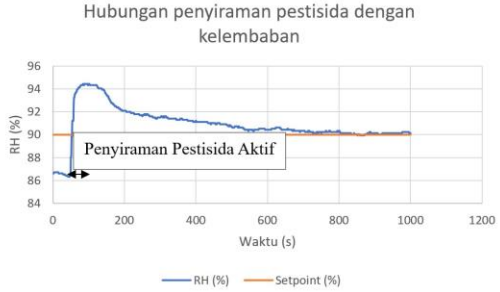
Sementara itu, grafik kelembaban Gambar 9 menunjukkan bahwa kelembaban awalnya berada di angka tinggi 98,55%, lalu menurun hingga batas bawah 88,5%, dan stabil kembali di sekitar 89,26%. Hal ini membuktikan bahwa sistem kontrol kelembaban juga berjalan dengan baik dalam menjaga kelembaban sesuai setpoint yang telah ditentukan.



Gambar 9 Grafik data kelembaban

Pengujian Penyiraman Pestisida

Sistem penyiraman pestisida bekerja otomatis setiap tiga hari sekali dengan durasi penyemprotan selama lima detik pada pukul 17.00. Berdasarkan hasil pengujian dengan 1000 sampel data menggunakan PLX-DAQ, sistem mampu menyemprot pestisida secara tepat waktu dan sesuai jadwal. Gambar 10 berikut merupakan grafik hubungan penyiraman pestisida dengan kelembaban.



Gambar 10 Grafik hubungan penyiraman pestisida dengan kelembaban

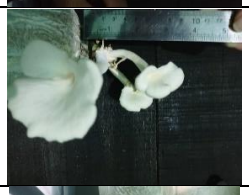
Sebelum penyiraman dimulai, kelembaban berada di angka 86,62%. Setelah pompa aktif

selama 5 detik, kelembaban meningkat tajam hingga mencapai 94,4%, lalu menurun secara perlahan hingga stabil kembali pada setpoint 90%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem penyiraman pestisida berfungsi dengan baik dalam meningkatkan kelembaban, dan sistem kontrol kelembaban juga bekerja efektif dalam menjaga kestabilan lingkungan kumbung.

Pertumbuhan Jamur Tiram

Pengujian ini bertujuan untuk mengamati pertumbuhan jamur tiram sebagai indikator efektivitas alat yang telah dibuat. Pertumbuhan diukur setiap hari menggunakan penggaris, mulai dari awal muncul hingga panen. Pertumbuhan jamur tiram disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Pertumbuhan jamur tiram

Hari ke-	Pertumbuhan	Panjang
1		1 cm
2		5 cm
3		9 cm
4		12 cm

Hasil pengujian menunjukkan bahwa jamur tumbuh rata-rata 4 cm per hari selama tiga hari pertama, kemudian tumbuh 3 cm pada hari keempat. Hari keempat ditetapkan sebagai waktu panen karena pertumbuhan telah maksimal dan tudung jamur mulai menipis atau melunak, menandakan kematangan jamur tiram.

KESIMPULAN

1. Sensor DHT22 menunjukkan akurasi yang lebih baik setelah dikalibrasi; untuk suhu, rata-rata error menurun dari 4,32% menjadi 0,31%, dan untuk kelembaban, dari 1,4% menjadi 0,22%.
2. Antarmuka web dashboard berfungsi dengan baik dan menampilkan data yang konsisten dengan tampilan LCD. Hasil pengujian menggunakan Google Lighthouse menunjukkan performa sempurna dengan skor 100 dan speed index 0,9 detik.
3. Sistem kontrol suhu berhasil mengatur suhu di antara batas bawah 26°C dan batas atas 28°C, dengan setpoint 27°C dan diferensial 2.
4. Sistem kontrol kelembaban mampu menjaga kelembaban di antara batas bawah 88,5% dan batas atas 91,5%, dengan setpoint 90% dan diferensial 3.
5. Sistem penyiraman pestisida otomatis berjalan sesuai jadwal, yaitu setiap 3 hari sekali selama 5 detik pada pukul 17.00, dan sistem mampu mengembalikan kelembaban ke nilai setpoint setelah penyiraman.
6. Jamur tiram menunjukkan pertumbuhan yang optimal dengan kecepatan sekitar 4 cm per hari dan dapat dipanen pada hari keempat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Direktorat Budidaya Tanaman Sayuran dan Biofarmaka, *Standar Operasional Prosedur (SOP) Budidaya Jamur Tiram*. Jakarta: Direktorat Jenderal Hortikulutura Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2010.

[2] A. R. Ginting, N. Herlina, and S. Y. Tyasmoro, "Study of growth and production white oyster mushroom in sawdust an baggase substrate," *J. Produksi Tanam.*, vol. 1, no. 2, pp. 17–24, 2013.

[3] N. Widyastuti and D. Tjokrokusumo, "Aspek Lingkungan Sebagai Faktor Penentu Keberhasilan Budidaya Jamur Tiram (Pleurotus Sp)," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 9, no. 3, pp. 287–293, 2011, doi: 10.29122/jtl.v9i3.473.

[4] P. Oei and B. van Nieuwenhuijzen, *Agrobook 40: Smallscale Mushroom Cultivation Oyster, Shiitake and Wood ear Mushrooms*, 1st ed. Wageningen: Agromisa, 2005.

[5] Z Lin, "Oyster Mushrooms," in *Mushroom grower's handbook 1: oyster mushroom cultivation*, China: MushWorld, 2004, ch. 5, pp. 101–107.

[6] M. A. N. Faridzi, "Otomatisasi Penyemprotan Pestisida pada Kumbung Jamur Tiram Putih Berbasis Mikrokontroller," *J. ELKON*, vol. 4, no. 2,

pp. 10–18, 2024.
[7] H. Andre *et al.*, “Perancangan dan Implementasi Monitoring Suhu dan Kelembaban pada Kumbung Jamur Berbasis Internet of Things,” *J. ELECTRON*, vol. 3, no. 1, pp. 26–32, 2022.
[8] I. Gunawan and H. Ahmadi, “Sistem Monitoring Dan Pengkabutan Otomatis Berbasis Internet Of Things (IoT) Pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan NodeMCU dan Blynk,” *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 79–86, 2021.
[9] B. C. Wibowo, N. Y. D. Setyaningsih, and R. Setiawan, “IoT-based Automatic Pesticide Sprayer Control System on Guava Trees,” *Protek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 3, pp. 208–213, 2024, doi: 10.33387/protk.v11i3.7724.
[10] Espressif Systems, “ESP32 Series Datasheet Version 4.9,” Shanghai, 2025.
[11] Aosong Guangzhou Electronics, “Temperature and Humidity Module AM2303 Product Manual,” Guangzhou.
[12] DALLAS Semiconductor, “DS1307 64 x 8 Serial Real-Time Clock,” Dallas.