

SISTEM KENDALI KUMBUNG JAMUR GUNA MEMPERTAHANKAN KONDISI LINGKUNGAN IDEAL MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC*



TRI INDAH WAHYUNINGSI
D121 20 1018



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

**SISTEM KENDALI KUMBUNG JAMUR GUNA MEMPERTAHANKAN
KONDISI LINGKUNGAN IDEAL MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC***

Disusun dan Diajukan Oleh:

TRI INDAH WAHYUNINGSI

D121 20 1018



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**SISTEM KENDALI KUMBUNG JAMUR GUNA MEMPERTAHANKAN
KONDISI LINGKUNGAN IDEAL MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC***

TRI INDAH WAHYUNINGSI

D121201018

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Informatika

pada

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

SKRIPSI

**SISTEM KENDALI KUMBUNG JAMUR GUNA MEMPERTAHANKAN
KONDISI LINGKUNGAN IDEAL MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC***

TRI INDAH WAHYUNINGSI

D121201018

Skripsi

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 9 Oktober
2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Program Studi Sarjana Teknik Informatika

Departemen Teknik Informatika

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Gowa

Mengesahkan :

Pembimbing tugas akhir,

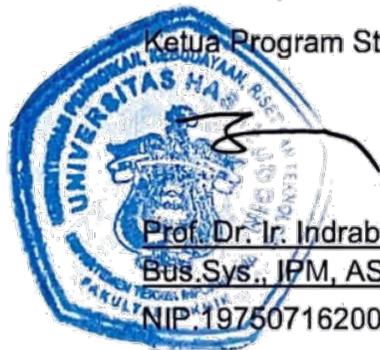


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.

NIP. 196404271989101002

Mengetahui :

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Ir. Indrabayu, ST., MT., M.

Bus.Sys., IPM, ASEAN. Eng.

NIP. 197507162002121004

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Sistem Kendali Kumbung Jamur Guna Mempertahankan Kondisi Lingkungan Ideal Menggunakan *Fuzzy Logic*" adalah benar karya saya dengan arahan dari bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. sebagai pembimbing utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 20 Agustus 2024



TRI INDAH WAHYUNINGSI
NIM D121201018

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Sistem Kendali Kumbung Jamur Guna Mempertahankan Kondisi Lingkungan Ideal Menggunakan Fuzzy Logic.” Saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1 Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala nikmat dan karunia-Nya yang senantiasa tercurah kepada penulis.
- 2 Orang Tua Tercinta, yang selalu memberikan dukungan moral, spiritual, dan finansial selama proses penyusunan skripsi ini. Doa dan cinta kasih kalian selalu menjadi sumber motivasi terbesar bagi saya.
- 3 Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, ilmu, dan saran yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kesabaran dan waktu yang telah diluangkan untuk membantu saya.
- 4 Seluruh Dosen Program Studi Teknik Informatika, yang telah memberikan bekal ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
- 5 Teman-teman dekat penulis, khususnya Hana, Ega, Gita, dan Warda yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan membantu dalam berbagai kesulitan selama proses penyusunan skripsi ini.
- 6 Teman-teman seperjuangan REZOLVER 2020 dan Nana Tank yang telah membantu penulis selama proses penyusunan skripsi.
- 7 Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga segala bantuan, bimbingan, dan doa yang telah diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT. Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan. semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi yang berarti dalam pengembangan ilmu pengetahuan

Gowa, 20 Agustus 2024

Tri Indah Wahyuningsi

ABSTRAK

TRI INDAH WAHYUNINGSI. **Sistem Kendali Kumbung Jamur Guna Mempertahankan Kondisi Lingkungan Ideal Menggunakan Fuzzy Logic** (dibimbing oleh Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.).

Latar Belakang. Budidaya jamur tiram memerlukan pengendalian kondisi lingkungan yang ideal untuk hasil optimal. Sistem kendali otomatis berbasis IoT dengan logika fuzzy dikembangkan untuk memantau dan mengendalikan suhu, kelembaban, dan karbondioksida, meningkatkan kualitas dan efisiensi budidaya jamur. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali yang mampu memantau dan mengendalikan lingkungan secara efektif agar kondisi ideal tercapai dan dipertahankan selama proses budidaya jamur. **Metode.** yang digunakan merupakan sistem kendali otomatis berbasis *Fuzzy Logic* untuk mempertahankan kondisi lingkungan ideal dalam budidaya jamur tiram. Sistem ini dirancang untuk memantau suhu, kelembaban, kadar CO₂, dan kapasitas air tandon secara real-time, serta dapat memantau kondisi lingkungan kumbung melalui platform *JAMURKUAPP*. Pengujian dilakukan selama ±67 hari dengan dua periode pemeliharaan pasca inkubasi. **Hasil.** Pengujian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dalam kumbung terpantau ideal dan stabil, memungkinkan pertumbuhan optimal jamur tiram. Sistem kendali menggunakan *Fuzzy Logic* ini berhasil mengendalikan aktuator dengan tingkat kesalahan yang rendah, yaitu 0,95% untuk kipas dan 0,68% untuk pompa. Meskipun kelembaban mengalami fluktuasi pada beberapa periode, terutama pada dini hari, pagi, dan malam hari, hasil panen jamur tetap menunjukkan kualitas yang baik. Ini mengindikasikan bahwa sistem kendali yang dirancang mampu mendukung pertumbuhan jamur. Secara keseluruhan, implementasi sistem kendali otomatis ini tidak hanya meningkatkan stabilitas kondisi lingkungan, tetapi juga mengoptimalkan budidaya jamur dan kualitas produksi jamur tiram. **Kesimpulan** Implementasi logika fuzzy sebagai pengambilan keputusan untuk pengendalian aktuator pada sistem kendali kumbung jamur yang dibuat telah berhasil dalam memberikan respon yang dibutuhkan oleh aktuator untuk mencapai kondisi lingkungan yang ideal bagi jamur meskipun suhu dan kelembaban mengalami fluktuatif pada beberapa periode waktu tertentu.

Kata Kunci: *Fuzzy Logic*; sistem kendali otomatis; budidaya jamur tiram; kondisi lingkungan.

ABSTRACT

TRI INDAH WAHYUNINGSI. **Mushroom Beetle Control System to Maintain Ideal Environmental Conditions Using Fuzzy Logic** (*supervised by Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.*).

Background. Oyster mushroom cultivation requires ideal environmental condition control for optimal results. An IoT-based automatic control system with fuzzy logic was developed to monitor and control temperature, humidity, and carbon dioxide, improving the quality and efficiency of mushroom cultivation. **Objective.** This study aims to design a control system that is able to monitor and control the environment effectively so that ideal conditions are achieved and maintained during the mushroom cultivation process. **Method.** used is an automatic control system based on Fuzzy Logic to maintain ideal environmental conditions in oyster mushroom cultivation. This system is designed to monitor temperature, humidity, CO₂ levels, and water tank capacity in real-time, and can monitor the condition of the mushroom house environment through the “JAMURKUAPP” platform. Testing was carried out for ±67 days with two post-incubation maintenance periods. **Results.** Testing showed that the environmental conditions in the mushroom house were monitored as ideal and stable, allowing optimal growth of oyster mushrooms. The control system using Fuzzy Logic successfully controlled the actuator with a low error rate, namely 0.95% for the fan and 0.68% for the pump. Although the humidity fluctuates in several periods, especially in the early morning, morning, and evening, the mushroom harvest still shows good quality. This indicates that the designed control system is able to support mushroom growth. Overall, the implementation of this automatic control system not only improves the stability of environmental conditions, but also optimizes mushroom cultivation and the quality of oyster mushroom production. **Conclusion.** The implementation of fuzzy logic as a decision-making for actuator control in the mushroom mushroom control system created has succeeded in providing the response needed by the actuator to achieve ideal environmental conditions for mushrooms even though temperature and humidity fluctuate at certain periods of time.

Keywords: Fuzzy Logic; automated control system; oyster mushroom cultivation; environmental conditions.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN SAMBUNG	ii
HALAMAN PENGANTAR	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	vii
BAB I	8
PENDAHULUAN.....	8
1.1 Latar belakang	8
1.2 Rumusan Masalah.....	11
1.3 Tujuan Penelitian	11
1.4 Manfaat Penelitian.....	11
1.5 Batasan Masalah.....	11
BAB II.	12
METODE PENELITIAN	12
2.1 Tempat dan Waktu	12
2.1.1 Tempat.....	12
2.2 Bahan dan alat.....	12
2.3 Pelaksanaan penelitian.....	19
2.4 Pembuatan sistem.....	19
2.4.1 tahap perancangan sistem.....	19
2.4.2 Pembuatan website.....	29
2.5 Teknik pengolahan data	32
BAB III	33
PEMBAHASAN.....	33

3.1 Budidaya Jamur Tiram Putih.....	33
3.2 Sistem Kendali Kumbung Jamur	35
3.2.1 Rangkaian mekanik.....	35
3.1.2 Rangkaian elektronik	36
3.1.3 Hasil pengujian	42
BAB IV	55
PENUTUP	55
4.1 Kesimpulan.....	55
4.2 Saran.....	56

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Skema perlakuan sistem.....	21
2. Aturan Fuzzy.....	29
3. Hari ke-10 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	33
4. Hari ke-10 Budidaya Konvensional.....	34
5. Daftar komponen sensor node.....	36
6. Daftar komponen aktuator node.....	37
7. Daftar komponen power supply.....	37
8. Daftar komponen mikrokontroler.....	37
9. Wiring Adaptor 12V, Step Down DC to DC XL4015, dan ESP32.....	38
10. Wiring DHT11 dan ESP32.....	38
11. Ultrasonik HC-SR04 dan ESP32.....	39
12. Wiring L298N, ESP32, dan adaptor 12V.....	40
13. Wiring L298N dan kipas.....	41
14. Wiring relay dan ESP32.....	41
15. Wiring relay, Module mist maker, Pompa DC, dan adaptor 12V.....	42
16. Wiring mist maker module, Pompa DC, adaptor 12V, dan adaptor 5V.....	42
17. Pengujian alat.....	43
18. Perbandingan output kipas.....	45
19. Perbandingan output pompa.....	45
20. Sampel 15 Juli 2024.....	47
21. Sampel 16 Juli 2024.....	51
22. Sampel 14 Juli 2024.....	59
23. Sampel 17 Juli 2024.....	59
24. Sampel 18 Juli 2024.....	60
25. Sampel 19 Juli 2024.....	60
26. Sampel 20 Juli 2024.....	60
27. Hari ke-1 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	61
28. Hari ke-1 Budidaya Konvensional.....	61
29. Hari ke-2 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	62
30. Hari ke-2 Budidaya Konvensional.....	62
31. Hari ke-3 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	63
32. Hari ke-3 Budidaya Konvensional.....	63
33. Hari ke-4 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	64
34. Hari ke-4 Budidaya Konvensional.....	64
35. Hari ke-5 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	65
36. Hari ke-5 Budidaya Konvensional.....	65
37. Hari ke-6 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	66
38. Hari ke-6 Budidaya Konvensional.....	66
39. Hari ke-7 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	67
40. Hari ke-7 Budidaya Konvensional.....	67
41. Hari ke-8 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	68
42. Hari ke-8 Budidaya Konvensional.....	68
43. Hari ke-9 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	69

44. Hari ke-9 Budidaya Konvensional.....	69
45. Hari ke-11 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	70
46. Hari ke-11 Budidaya Konvensional.....	70
47. Hari ke-12 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	71
48. Hari ke-12 Budidaya Konvensional.....	71
49. Hari ke-13 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	72
50. Hari ke-13 Budidaya Konvensional.....	72
51. Hari ke-14 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	73
52. Hari ke-14 Budidaya Konvensional.....	73
53. Hari ke-15 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	74
54. Hari ke-15 Budidaya Konvensional.....	74
55. Hari ke-16 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	75
56. Hari ke-16 Budidaya Konvensional.....	75
57. Hari ke-17 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	76
58. Hari ke-17 Budidaya Konvensional.....	76
59. Hari ke-18 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	77
60. Hari ke-18 Budidaya Konvensional.....	77
61. Hari ke-19 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	78
62. Hari ke-19 Budidaya Konvensional.....	78
63. Hari ke-20 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	79
64. Hari ke-20 Budidaya Konvensional.....	79
65. Hari ke-21 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	80
66. Hari ke-21 Budidaya Konvensional.....	80
67. Hari ke-22 Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis.....	81
68. Hari ke-22 Budidaya Konvensional.....	81

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Sensor DHT11	12
2. Sensor MQ-135.....	13
3. Sensor ultrasonik HC-SR04.....	13
4. ESP32.....	14
5. Motor driver L298N	14
6. Relay 4 Channel	15
7. Kipas PWM AUB0912VH.....	16
8. Module Ultrasonic Mist Maker.....	16
9. Adaptor 12V 5A.....	17
10. Perspektif belakang	17
11. Perspektif depan	18
12. Perangkat penyiraman	18
13. Rangkaian sistem keseluruhan	21
14. Flowchart sistem	22
15. Fungsi keanggotaan input suhu	24
16. Fungsi keanggotaan input kelembaban	24
17. Fungsi keanggotaan input karbondioksida.....	25
18. Fungsi keanggotaan output kipas	26
19. Fungsi keanggotaan pompa/mist maker	27
20. Halaman Login.....	30
21. Halaman dashboard.....	30
22. ER diagram database	31
23. Tampak depan.....	35
24. Tampak Atas.....	35
25. Rangkaian elektronik secara keseluruhan	36
26. Rangkaian sensor node	38
27. Rangkaian aktuator node.....	39
28. Grafik Sampel 15 Juli Data Suhu	48
29. Grafik Sampel 15 Juli Data Kelembaban	48
30. Grafik Sampel 15 Juli Data Karbondioksida.....	49
31. Grafik Sampel 15 Juli Data Kapasitas Air	49
32. Grafik Sampel 15 Juli Data Kipas	50
33. Grafik Sampel 15 Juli Data Pompa	50
34. Grafik Sampel 16 Juli Data Suhu	51
35. Grafik Sampel 16 Juli Data Kelembaban	52
36. Grafik Sampel 16 Juli Data Karbondioksida.....	52
37. Grafik Sampel 16 Juli Data Kapasitas Air	53
38. Grafik Sampel 16 Juli Data Kipas	53
39. Grafik Sampel 16 Juli Data Pompa	54

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Data Sampel 5 Hari (14 Juli 2024-20 Juli 2024).....	59
2. Data Percobaan Budidaya Jamur Selama 22 Hari	61
3. Gambar Pertumbuhan Jamur	82
4. Gambar Aksi Aktuator Mist Maker dan Pompa (Nozzle).....	83
5. Gambar Aksi Aktuator Kipas	84
6. Budidaya Jamur Konvensional dan Modern	85
7. Data Budidaya Jamur 45 Hari.....	86
8. Hasil Panen Percobaan Budidaya Konvensional dan Budidaya Modern berbasis Sistem Kendali Otomatis	126

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN/SIMBOL

Istilah	Arti dan Penjelasan
C	Celcius
pH	Potential of hydrogen
PID	Proportional, integral, derivative
PWM	Pulse width modulation
IoT	Internet of things
VCC	Tegangan supply
GND	Ground
AO	Analog output
DO	Digital output
NH ₃	Amonia
NO _x	Nitrogen oksida
CO	Carbon monoksida
CO ₂	Carbon dioksida
ppm	Parts per million
RH	Relative humidity
ml	Mililiter

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Permintaan jamur di Indonesia yang besar terutama yang berasal dari kota-kota besar bahkan kota-kota kecil meningkat terutama permintaan datang dari restaurant yang mengolah makanan berbahan jamur sehingga potensi pertumbuhan industri jamur di Indonesia sangatlah menjanjikan. Pertumbuhan sektor ini didorong oleh meningkatnya permintaan pasar dan dukungan kebijakan pemerintah yang kondusif. Hal ini telah menciptakan peluang bisnis yang menarik minat banyak pelaku usaha untuk menginvestasikan sumber dayanya dalam budidaya jamur (Machfudi, Asep supriyatna, Henky hendrawan, 2021). Meskipun potensi pertumbuhan industri jamur di Indonesia sangat menjanjikan, perlu diketahui bahwa di beberapa wilayah praktik budidaya jamur masih mengandalkan metode konvensional. Hal ini mengindikasikan diperlukan inovasi terhadap penerapan teknologi otomatisasi dalam sektor pertanian jamur, guna membantu untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas hasil panen. Peralihan dari metode konvensional ke metode modern yang berbasis teknologi otomatisasi diharapkan dapat mengatasi berbagai kendala yang dihadapi petani jamur dan membuka peluang untuk meningkatkan skala produksi serta daya saing produk jamur Indonesia di pasar global. Budidaya jamur tiram memerlukan optimalisasi terutama dalam pengendalian kondisi lingkungan dalam kumbung karena kualitas dan produktivitas panen jamur tiram dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tumbuh yang ideal, seperti suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara yang terkontrol dengan baik. (Sofwan, A., Wafdulloh, Y., Akbar, M. R., & Setiyono, B. 2020). Oleh karena itu, melalui peralihan dari metode konvensional ke metode modern berbasis teknologi otomatisasi seperti sistem kendali otomatis diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang seringkali dihadapi oleh petani jamur serta membantu para petani dalam memantau kondisi lingkungan pada kumbung tanpa harus pergi ke tempat budidaya untuk mengetahui kondisi lingkungan pada saat itu.

Sistem kendali adalah interaksi antar komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem untuk menghasilkan suatu keluaran yang diinginkan. Dengan sistem kendali, variabel yang diatur dapat mencapai nilai yang diinginkan melalui mekanisme umpan balik terhadap suatu pengendalian. Selain itu, sistem kendali juga dapat dirancang untuk melakukan pengendalian otomatis. Sistem kendali banyak digunakan di dunia industri karena dapat meningkatkan hasil produksi, efisiensi dan keselamatan di banyak industri, yaitu pertanian, pabrik kimia, logam dan tambang, kontrol lingkungan, dan masih banyak lagi (Kirvan, 2023). Secara umum, Terdapat dua jenis utama sistem kendali yang umum digunakan, yaitu sistem *loop* terbuka dan sistem *loop* tertutup.

Sistem *loop* terbuka adalah sistem yang tidak memiliki mekanisme umpan balik sehingga keluaran dari sistem tidak digunakan untuk mengoreksi atau menyesuaikan *input*. Oleh karena itu, sistem ini bekerja berdasarkan perintah awal tanpa mempertimbangkan kondisi aktual dan kurang mampu menangani gangguan atau perubahan kondisi yang dapat mengurangi kemampuannya untuk

menyelesaikan tugas yang diinginkan. Sebaliknya sistem *loop* tertutup adalah sistem kendali umpan balik yang berasal dari pengembangan sistem *loop* terbuka yang memiliki jalur maju untuk memberikan perintah, sistem ini juga memiliki jalur umpan balik yang membawa informasi mengenai hasil akhir kembali ke awal sistem, informasi ini digunakan untuk menyesuaikan perintah awal agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Sistem *loop* tertutup dirancang untuk bisa mengatur dirinya sendiri untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan, sehingga sistem ini terus membandingkan hasil yang didapat dengan hasil yang diinginkan, kemudian melakukan penyesuaian agar hasilnya sesuai sedangkan sistem *loop* terbuka dirancang lebih sederhana dan memiliki akurasi yang rendah karena tidak bisa menyesuaikan diri dengan perubahan. Sistem *loop* tertutup adalah bagian integral dari sistem kendali otomatis, sehingga hampir semua sistem kendali otomatis yang modern menggunakan prinsip *loop* tertutup. Hal ini dikarenakan *loop* tertutup memberikan sejumlah keuntungan yang signifikan dalam hal akurasi, stabilitas, dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan kondisi (Alfian Ma'rif, 2020). Sistem kendali otomatis adalah sistem yang menggunakan perangkat atau komputer untuk mengontrol secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung yang bertujuan untuk mencapai suatu kondisi yang diinginkan dan mempertahankan kondisi tersebut (Muqit, Abdul, 2020). Sistem kendali otomatis dapat menggunakan berbagai pendekatan logika komputer, salah satunya adalah logika fuzzy. Logika fuzzy adalah cabang ilmu dari matematika yang merepresentasikan informasi yang tidak pasti atau ambigu, logika fuzzy merupakan peningkatan logika boolean yang mengenalkan konsep kebenaran sebagian dengan tingkat kebenaran. Logika fuzzy dapat dijadikan sebagai algoritma yang berguna dalam mendesain sistem kendali otomatis, melalui kemampuan dalam menangani ketidakpastian dan dapat merepresentasikan pengetahuan secara intuitif sehingga logika fuzzy telah diterapkan di berbagai bidang, yaitu industri, pertanian, dirgantara, dan lain-lain (Alamsyah, A, 2021). Dengan demikian, penggunaan logika fuzzy dalam sistem kendali otomatis merupakan salah satu contoh pendekatan logika komputer yang dapat dikombinasikan untuk mencapai solusi yang terbaik. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan sistem kendali otomatis untuk mengetahui kondisi lingkungan dalam kumbung jamur secara *realtime* yang diharapkan proses budidaya jamur dapat optimal dan menghasilkan panen jamur yang berkualitas dan segar.

Sistem kendali otomatis otomatis telah membawa perubahan paradigma dalam bidang pertanian. Dengan menggabungkan teknologi informasi dan pendekatan logika komputer, sensor, serta perangkat lunak. Keunggulan dari penerapan sistem ini dapat menguntungkan petani serta konsumen yang mendapatkan produk hasil panen yang segar dan berkualitas. Salah satu penerapan di bidang pertanian adalah budidaya jamur tiram putih. Jamur tiram (*Pleurotus sp.*) adalah salah satu jenis jamur kayu yang bisa dimakan oleh manusia. Jamur ini secara alami dapat tumbuh liar di hutan tropis, banyaknya hutan tropis di Indonesia dapat menjadi tempat ideal bagi jamur tiram untuk berkembang pesat. Budidaya jamur tiram saat ini telah banyak dibudidayakan di kalangan masyarakat karena menawarkan peluang menjanjikan dengan modal yang relatif kecil dan

kemudahan dalam pelaksanaannya (Rosmiah dan lin Siti Aminah 2020). Jamur tiram umumnya siap panen sekitar 40 hari pasca pembibitan, ketika jamur telah berumur 2-3 minggu tubuh buah jamur muncul hingga tubuh buah jamur sudah tumbuh sempurna dengan ditandai dengan ukuran jamur cukup besar dan bertepi runcing, belum mekar penuh atau belum pecah. Budidaya jamur tiram secara optimal memerlukan suhu sekitar 22-28°C dan kelembaban udara sekitar 80-90% agar dapat tumbuh secara maksimal (Susilawati & Budi Raharjo, 2010).

Jamur tiram tumbuh optimal apabila tidak terkena matahari secara langsung. Oleh karena itu, jamur membutuhkan lingkungan yang teduh dan sirkulasi udara yang lancar, sehingga membutuhkan oksigen sebagai senyawa pertumbuhan atau semi anaerob. Selain itu, selama masa pertumbuhan jamur memerlukan ketersediaan nutrisi berupa air, karbon, nitrogen, vitamin dan unsur-unsur mineral. Petani jamur mengalami gagal panen karena faktor lingkungan dalam kumbung yang menyebabkan pertumbuhan jamur menjadi kurang optimal. Suhu yang terlalu panas, jumlah oksigen yang terbatas dan tidak lancar serta intensitas Cahaya yang rendah menyebabkan tangkai buah jamur menjadi kerdil dan tudung tumbuh tidak normal. Jika kondisi pH terlalu asam atau terlalu basa dapat menghambat pertumbuhan miselium. Kelembaban dibawah 80% mengakibatkan gangguan absorpsi nutrisi sehingga terjadi kekeringan (Djarajah & Djarajah, 2001). Selain itu, di beberapa tempat budidaya jamur proses penyiraman kumbung masih dilakukan secara manual dan harus mengawasi pertumbuhan jamur secara berkala, sehingga menyulitkan petani apabila mereka tidak di sekitar daerah budidaya tersebut.

Pada penelitian ini pernah dilakukan oleh Steve Lukis dengan judul "Penggunaan Neural Network dalam Tuning Kontroler Proportional-Integral-Derivative Untuk Mengatur Suhu dan Kelembaban Dalam Inkubator Jamur Tiram", penelitian ini berupa penggunaan *Neural Network* dan algoritma genetika sebagai optimasi untuk *auto-tuning* pada kontroler PID dalam mengatur suhu dan kelembaban pada inkubator jamur tiram. Parameter yang digunakan adalah nilai suhu dan kelembaban, menggunakan aktuator *peltier* dan *humidifier*. Pengambilan data diawali dengan memberikan nilai *output* PWM minimal 0 untuk mendapatkan nilai suhu dan kelembaban awal, selanjutnya nilai *output* diubah menjadi maksimal 1023 ke modul MOSFET IRF520 untuk mengatur *load peltier* dan *humidifier*, perubahan nilai suhu dan kelembaban setelah aktuator aktif dicatat sehingga menghasilkan data akhir yang diperoleh untuk korelasi nilai *input* dan *output* pada *hardware* dalam domain waktu. Perbedaan dari penelitian sebelumnya, yaitu mengembangkan ide dengan menggunakan *Internet of Things* dalam mengendalikan kondisi lingkungan ideal untuk pertumbuhan jamur dalam kumbung. Penelitian ini terdapat pemantauan dan pengendalian. Untuk pemantauan yaitu suhu, kelembaban, karbondioksida, dan kapasitas air dalam tandon, sedangkan pengendalian menggunakan *fuzzy logic* untuk menggerakkan aktuator yaitu pompa, kipas, humidifier dan berdasarkan parameter suhu, kelembaban dan karbondioksida. Pengambilan data dilakukan secara *realtime* dan menggunakan *fuzzy logic* sebagai sistem pengambilan keputusan terhadap aksi yang akan dilakukan oleh aktuator. Berdasarkan masalah yang telah diuraikan, penulis mengusulkan judul "**Sistem Kendali Pada Kumbung Jamur Guna**

Mempertahankan Kondisi Lingkungan Ideal Menggunakan *Fuzzy logic*” untuk mengembangkan penerapan teknologi berbasis IoT di bidang pertanian dalam memantau dan mengendalikan secara otomatis guna mempertahankan kondisi lingkungan yang ideal terhadap pertumbuhan jamur di dalam kumbung menggunakan *fuzzy logic*.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana merancang sistem kendali pada kumbung untuk pemantauan dan pengendalian lingkungan menggunakan *fuzzy logic*?
- b. Apakah kondisi lingkungan ideal tersebut dapat tercapai dan bertahan selama budidaya berlangsung?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Merancang sistem kendali pada kumbung untuk pemantauan dan pengendalian lingkungan menggunakan *fuzzy logic*
- b. Mengetahui kondisi lingkungan ideal yang tercapai dan bertahan selama budidaya jamur

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, manfaat yang diharapkan adalah:

- a. Bagi masyarakat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat sebagai informasi terhadap penerapan konsep teknologi IoT yang dapat membantu aktivitas masyarakat.
- b. Bagi petani jamur. Dapat diterapkan di kumbung jamur secara langsung untuk membantu dalam memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara *realtime*.
- c. Bagi peneliti. Menambah wawasan mengenai sistem kendali otomatis berbasis logika fuzzy yang diterapkan pada suatu sistem, melalui penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan penelitian terkait topik ini yang akan datang.

1.5 Batasan Masalah

- a. Pengambilan data dilakukan selama masa budidaya hingga panen
- b. Tidak dilakukan uji coba antara sensor dan alat pembandingnya
- c. Pemantauan kondisi lingkungan dapat diakses melalui website yang telah terautentikasi
- d. Merancang model eksperimen yang menghasilkan *prototype*
- e. Kumbung yang digunakan merupakan ukuran kecil dari ukuran kumbung yang sebenarnya.

BAB II. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Waktu penelitian dilakukan selama kurang lebih 7 bulan, dimulai sejak 1 Februari 2024 hingga pelaporan hasil tugas akhir pada Agustus 2024.

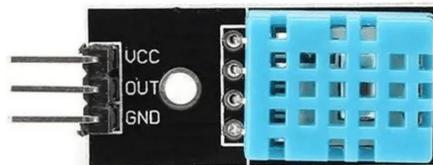
2.1.1 Tempat

Penelitian ini dilakukan di Departemen Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin serta Kota Makassar sebagai lokasi perakitan serta evaluasi kinerja sistem dalam pengambilan data.

2.2 Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Sensor DHT11



Gambar 1. Sensor DHT11

DHT11 adalah sensor suhu dan kelembaban yang memiliki 3 pin, yaitu VCC, GND, Pin Data. Sensor ini banyak digunakan untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, sensor ini mencakup NTC suhu dan mikrokontroler 8-bit yang mengeluarkan nilai suhu dan kelembaban sebagai data serial. Sensor ini telah dikalibrasi oleh pabrik, sehingga mudah untuk dihubungkan dengan mikrokontroler lainnya. Sensor DHT11 memiliki akurasi ± 1 C dan $\pm 1\%$ serta dapat mengukur suhu dari 0 C hingga 50 C dan kelembaban dari 20% hingga 90% (Padara. 2022).

- b. Sensor MQ-135



Gambar 2. Sensor MQ-135

MQ-135 adalah sensor gas yang mendeteksi beberapa jenis kadar gas yang berbahaya. Sensor ini memiliki 4 pin, yaitu VCC, GND, DO (*Digital Output*), AO (*Analog Output*). Sensor ini dapat mendeteksi senyawa NH₃, Nox, alkohol, benzol, CO, CO₂, dan masih banyak lagi. Tingkat kepekaan sensor ini terhadap gas bisa diatur, semakin banyak gas maka nilai resistansinya akan semakin berubah (Isaac, 2024).

c. Sensor Ultrasonik HC-SR04



Gambar 3. Sensor ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 adalah sensor yang menggunakan gelombang ultrasonik dan memiliki 4 pin, yaitu VCC, GND, TriggerPin, EchoPin. Sensor ini bekerja berdasarkan pantulan gelombang suara sehingga dapat dipakai untuk mengetahui jarak suatu benda menggunakan frekuensi tertentu. Umumnya, sensor ini akan menembakkan gelombang ultrasonik ke suatu target tertentu, ketika gelombang tersebut sudah menyentuh permukaan target, maka target akan memantulkan kembali gelombang tersebut, sehingga gelombang pantulan yang dihasilkan target akan ditangkap oleh sensor. Selanjutnya, sensor akan menghitung selisih antara waktu pengiriman gelombang dan waktu gelombang pantul yang diterima (Yuda, 2024).

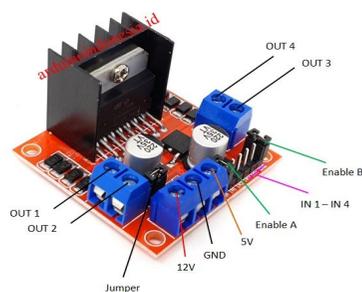
d. ESP32



Gambar 4. ESP32

ESP32 adalah serangkaian mikrokontroler sistem yang pada chip berbiaya rendah dan berdaya rendah. Dllengkapi dengan fitur WiFi dan Bluetooth bawaan, ESP32 juga mengintegrasikan berbagai komponen RF untuk memastikan koneksi nirkabel yang stabil dan handal. ESP32 umumnya beroperasi pada tegangan 3.3V, tegangan ini merupakan tegangan yang diperlukan untuk menjalankan komponen inti mikrokontroler seperti prosesor, memori, dan lainnya. Pada tegangan *input* daya, ESP32 dapat menerima *input* daya dalam rentang 7-12V, jika *input* daya yang diterima melebihi 12V maka regulator tegangan internal akan rusak. ESP32 memiliki 25 pin *input/output* digital yang dapat diatur sebagai *input* atau *output*. Selain itu, terdapat 6 pin *input* analog untuk membaca sinyal analog dan 2 pin *output* analog untuk menghasilkan sinyal analog. Pada komunikasi serial, terdapat 3 port UART, 2 port SPI, dan 3 port I2C. ESP32 memiliki memori *flash* sebesar 4 mega *byte* untuk menyimpan program dan data agar tidak hilang saat perangkat dimatikan, selain itu terdapat memori SRAM sebesar 520 kb untuk penyimpanan data sementara yang dapat diakses dengan cepat (Radya M, 2024).

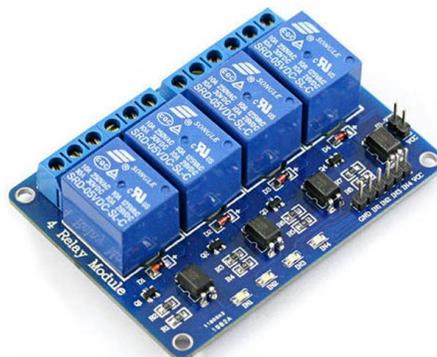
e. Motor Driver I298n



Gambar 5. Motor driver L298N

Motor driver L298N adalah komponen elektronik yang berfungsi sebagai penghubung dengan mikrokontroler dan motor DC, melalui modul ini dapat mengendalikan arah putaran dan kecepatan motor dengan mengirimkan sinyal digital dari mikrokontroler. Alat ini memiliki 4 Pin Out, yaitu OUT1, OUT2, OUT3, OUT4 yang berfungsi sebagai kabel penghubung yang tidak memiliki perbedaan kabel positif dan negatif sehingga kabel ini bisa dipasang secara terbalik. Pin *Input*, yaitu IN1, IN2, IN3, IN4 yang berfungsi untuk memberi perintah ke motor untuk berputar melalui aturan nilai logika (*HIGH-LOW*) pada pin *input*, apabila IN1 bernilai *HIGH* dan IN2 bernilai *LOW* maka motor berputar searah jarum jam. Pin Enable, yaitu Enable A dan Enable B yang berfungsi mengatur kecepatan motor, semakin tinggi tegangan yang diberikan pada pin ini, semakin cepat motor berputar. Pin daya yaitu 12V dan 5V yang berfungsi untuk menghubungkan modul ke sumber daya, pin 12V untuk memberikan daya ke motor dan pin 5V memberikan daya ke bagian logika modul. Pin GND berfungsi menghubungkan modul ke *ground* pada rangkaian (Alfian Kurniawan, 2021).

f. Relay 4 Channel



Gambar 6. Relay 4 Channel

Relay adalah perangkat yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik agar dapat menggerakkan kontaktor untuk memindahkan posisi *ON* ke *OFF* atau sebaliknya dengan memanfaatkan arus listrik. Komponen utama relay terdiri dari kumparan sebagai bagian yang menghasilkan gaya magnet, kontak sebagai bagian yang menghubungkan atau memutuskan arus listrik, inti besi sebagai bagian yang memperkuat medan magnet, amature sebagai bagian yang bergerak karena pengaruh gaya magnet, dan pegas sebagai bagian yang mengembalikan *armature* ke posisi semula ketika kumparan tidak memiliki arus. Relay memiliki 3 pin, yaitu COM (*Common*) sebagai kontak yang selalu terhubung, NO (*Normally Open*) sebagai kontak yang awalnya terbuka, akan tertutup ketika relay aktif dan NC (*Normally Closed*) sebagai kontak yang awalnya tertutup, akan terbuka ketika relay aktif (Razor. A, 2021).

g. Kipas PWM AUB0912VH



Gambar 7. Kipas PWM AUB0912VH

Kipas PWM AUB0912VH adalah jenis kipas pendingin yang dirancang khusus untuk perangkat elektronik, yang menggunakan teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur kecepatan putarnya. Penamaan "AUB0912VH" merujuk pada spesifikasi fisik dan teknis kipas tersebut.

h. Module Ultrasonik *Mist Maker*Gambar 8. Module Ultrasonik *Mist Maker*

Ultrasonik *mist maker* adalah perangkat elektronik yang mengubah air menjadi kabut halus melalui proses ultrasonikasi, proses ini melibatkan penggunaan getaran suara berfrekuensi tinggi untuk memecah molekul air menjadi partikel yang sangat kecil sehingga menghasilkan kabut. Cara kerja modul ini adalah modul menerima arus listrik yang diubah menjadi getaran listrik dengan frekuensi sangat tinggi, kemudian getaran listrik ini diteruskan ke sebuah transduser keramik yang berfungsi mengubah getaran listrik menjadi getaran

mekanik. Getaran mekanik yang cepat dari transduser menciptakan gelombang pada permukaan air di dalam modul, gelombang ini memecah permukaan air menjadi tetesan kecil yang sangat halus sehingga membentuk kabut. Kemudian, kabut yang terbentuk disemprotkan ke udara melalui lubang-lubang kecil pada modul (Hareendran. A. K, 2023).

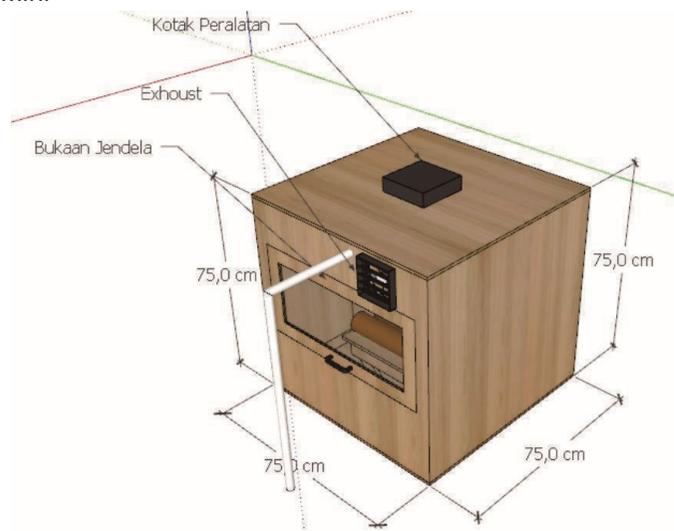
i. Adaptor 12V 5A



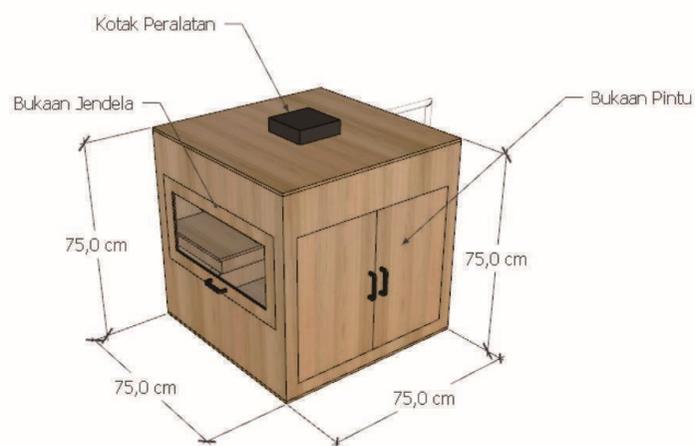
Gambar 9. Adaptor 12V 5A

Adaptor 12V 5A adalah perangkat elektronik yang berfungsi mengubah arus listrik bolak-balik (AC) dari stopkontak menjadi arus listrik searah (DC) dengan tegangan 12V dan kapasitas arus hingga 5A. Adaptor ini sering digunakan untuk memberi daya pada berbagai perangkat elektronik yang membutuhkan sumber daya DC, seperti pompa dan kipas.

j. Kumbung Mini



Gambar 10. Perspektif belakang



Gambar 11. Perspektif depan

Berdasarkan gambar 11. *Prototype* kumbung berbentuk persegi berukuran 75 cm dan terdapat sensor node dan aktuator node yang disematkan ke dalam *prototype*. Sensor node bertugas untuk mendeteksi kondisi lingkungan dalam kumbung, sedangkan aktuator node bertugas untuk menjalankan tindakan yang telah diinstruksikan oleh sistem melalui data yang dikirimkan oleh sensor node. Pada gambar. Perspektif belakang terlihat kotak box sebagai tempat semua komponen elektronik yang digunakan untuk sistem kendali, selang sebagai saluran air untuk penyemprotan dalam kumbung, dan kipas untuk melancarkan sirkulasi udara dalam kumbung. Gambar. Perspektif Depan terlihat bukaan pintu dan jendela *prototype* kumbung.

k. Perangkat Penyiraman



Gambar 12. Perangkat penyiraman

Pada perangkat ini dilengkapi dengan nozzle, selang, dan tandon air. Perangkat ini dirancang untuk melakukan penyiraman secara berkala di dalam kumbung. Jadwal

penyiraman diterapkan guna menghindari kelebihan air pada baglog, sehingga dapat menyebabkan kelembaban berlebihan di dalam media tanam.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Sistem operasi windows
- b. Arduino IDE
- c. Visual studio code
- d. Google chrome
- e. Matlab
- f. Sketchup

2.3 Pelaksanaan penelitian

Pada penelitian ini dilakukan tahap persiapan sebagai tahapan awal dalam melakukan penelitian. Pada tahap persiapan penulis melakukan studi literatur terlebih dahulu baik melalui jurnal, buku, artikel maupun tugas akhir dengan referensi yang valid. Selanjutnya, penulis melakukan observasi kebutuhan kondisi lingkungan budidaya jamur untuk dijadikan sebagai referensi dalam budidaya jamur agar pertumbuhan jamur dapat optimal. Setelah dilakukan observasi, pembuatan sistem dilakukan untuk menghasilkan sebuah *prototype* sebagai sistem kendali kumbung jamur. Selanjutnya, pengambilan data akan dilakukan selama budidaya berlangsung hingga panen.

2.4 Pembuatan sistem

2.4.1 tahap perancangan sistem

Pada tahap ini diawali dengan analisis kebutuhan sistem yang merupakan hasil referensi berupa buku panduan dan diskusi dengan petani jamur.

- a. Sistem dikendalikan secara otomatis
- b. Sistem dapat diakses kapan saja
- c. Penyajian data secara *realtime* terkait kondisi lingkungan dalam kumbung
- d. Sistem sebagian akan bekerja berdasarkan penjadwalan yaitu aktuator kipas dan pompa. Kedua aktuator ini akan bekerja berdasarkan jadwal yang ditentukan disertai penentuan kondisi yang akan menjadi acuan terhadap aksi yang akan dilakukan oleh aktuator
- e. Sistem ini dinyalakan selama 24 jam, sehingga dapat memantau kondisi lingkungan kapan saja

Selanjutnya data yang akan diambil oleh sistem yang akan dibuat adalah:

- a. Data kondisi lingkungan kumbung yaitu suhu, kelembaban, CO₂
- b. Data kapasitas air dalam tandon

Sistem ini akan dibuat untuk mendapatkan data kondisi lingkungan dan data debit air dalam tandon untuk menghasilkan *output fuzzy* yang akan didistribusikan ke aktuator untuk dilakukan pengendalian secara otomatis berdasarkan kondisi melalui *rule*

yang dirancang. Cara kerja dari sistem ini diawali oleh pengambilan data dari *sensor node* untuk membaca suhu dan kelembaban yang menggunakan sensor DHT11, mendeteksi gas karbondioksida menggunakan MQ-135 dan mengetahui kapasitas air dalam tandon menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Setelah pengambilan data dilakukan, selanjutnya akan ada proses fuzzy untuk mengolah data *inputan* tersebut untuk menghasilkan *output* yang akan didistribusikan ke aktuator yaitu kipas, pompa dan humidifier.

Menurut Buku Petunjuk Teknis Budidaya Jamur Tiram (*Pleurotus ostreatus* var *florida*) yang ramah lingkungan (Materi Pelatihan Agribisnis bagi KMPH) Susilawati dan Budi Raharjo menjelaskan bahwa suhu pada pembentukan tubuh buah sampai panen berkisar antara 22-28 °C dengan kelembaban 90-95%. Namun, berdasarkan pertimbangan yang dilakukan oleh penulis, sistem yang akan dirancang untuk mencapai dan mempertahankan kondisi ideal dalam kumbung berdasarkan kondisi lingkungan sekitar tempat penelitian dilakukan sehingga penulis menetapkan kondisi ideal untuk pertumbuhan jamur yaitu:

1. Suhu sekitar 22-29 C
2. Kelembaban sekitar 80-93%
3. Karbondioksida tidak boleh lebih dari 1000 ppm

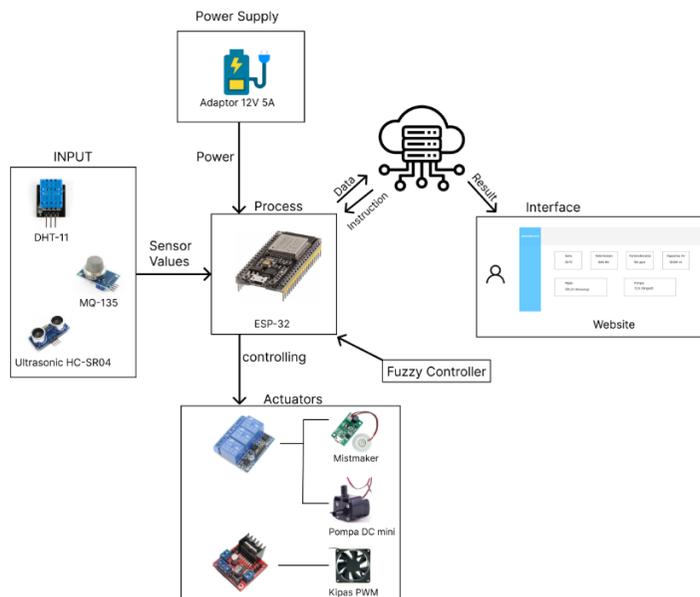
No	Parameter	Kondisi	Aksi
1.	Suhu	< 22 C	Ketiga aktuator yaitu kipas, pompa, dan mistmaker tidak menyala
		≥ 30	<i>Mist maker</i> , pompa, dan kipas akan menyala secara paralel. Namun, pompa dan kipas akan menyala apabila masuk dalam penjadwalan dan kondisi memenuhi untuk menjalankan aksi.
2.	Kelembaban	< 80%	Ketiga aktuator akan menyala secara paralel. Namun, pompa dan kipas akan menyala apabila masuk dalam penjadwalan, sedangkan <i>mist maker</i> akan tetap menyala disertai <i>delay</i> selama kondisi memenuhi.
		> 93%	Kipas akan menyala berdasarkan aturan fuzzy yang dirancang dan

3.	Karbondioksida		penjadwalan yang telah ditetapkan, sedangkan pompa dan <i>mist maker</i> dimatikan.
		< 1000 ppm	Terdapat beberapa aturan fuzzy terhadap kipas yang diinstruksikan untuk menyala dan ada yang tidak menyala.
		> 1025 ppm	Kipas menyala untuk menurunkan kadar CO2 yang ada di dalam kumbung dan melancarkan sirkulasi udara.

Table 1. Skema perlakuan sistem

Kemudian *output* yang telah diproses melalui kondisi yang ditetapkan akan dikirim ke database dan didistribusikan aksi yang akan dilakukan oleh aktuator. Selanjutnya, informasi mengenai kondisi lingkungan dalam kumbung ditampilkan di website secara *realtime*.

2.4.1.1 rangkaian sistem secara keseluruhan

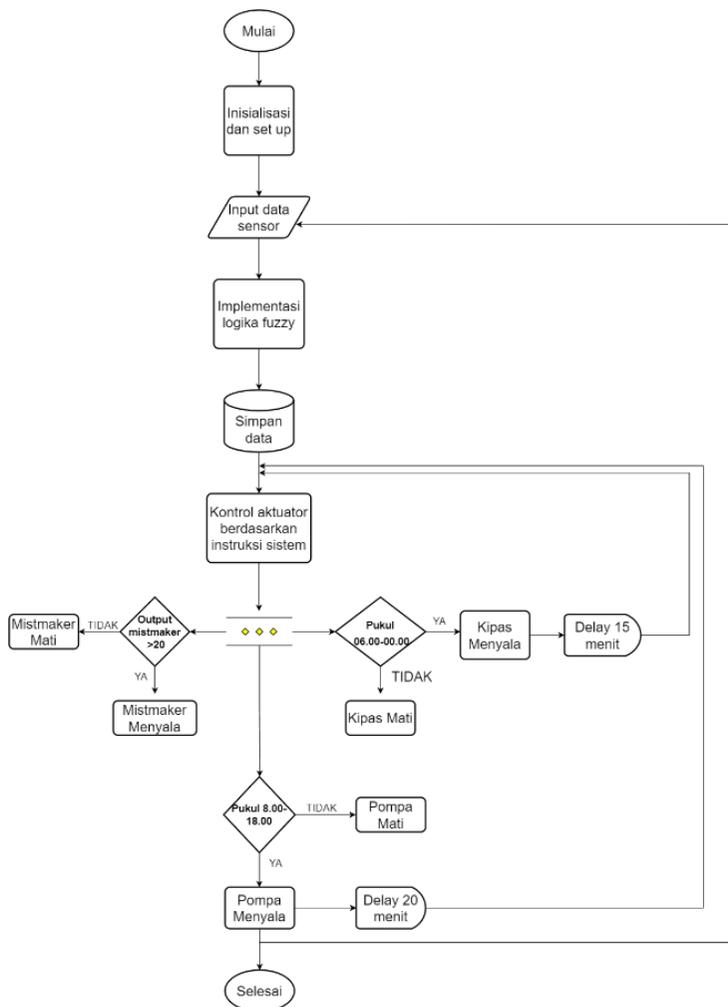


Gambar 13. Rangkaian sistem keseluruhan

Berdasarkan gambar 13. *input* terdiri dari 3 macam sensor, yaitu sensor DHT11 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, sensor MQ-135 untuk mendeteksi kadar karbondioksida, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengetahui kapasitas air dalam tandon. Data ketiga sensor tersebut akan diproses oleh mikrokontroler ESP32 disertai logika fuzzy yang diprogramkan ke dalam mikrokontroler tersebut. Selanjutnya, *output* fuzzy yang diperoleh akan dikirimkan ke database. Database yang digunakan adalah *realtime database* yang dikelola secara *backend* oleh Firebase. Setelah data dikirimkan ke database, sistem memberikan instruksi ke aktuator untuk menjalankan aksi berdasarkan *output* yang diberikan. Selain itu, data yang ada di database juga akan ditampilkan ke website sebagai *monitoring* kondisi lingkungan kumbung jamur.

2.4.1.2 Diagram alur sistem

Rangkaian alur sistem kendali ini dirancang untuk mengetahui proses jalannya sistem kendali otomatis.



Gambar 14. Flowchart sistem

Berdasarkan gambar 14. sistem melakukan inisialisasi dan setup terlebih dahulu, baik untuk sensor, aktuator, firebase dan NTP client. Selanjutnya, dilakukan *input* data sensor untuk mengetahui kondisi lingkungan kumbung pada saat itu. kemudian, dilakukan proses fuzzy berdasarkan nilai *crisp inputan* yang diterima. Pada proses fuzzy ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Setelah ketiga tahapan ini telah dilalui dan mendapatkan nilai *output* untuk masing-masing aktuator, maka nilai *output* yang telah diperoleh dikirim ke database sambil menunggu instruksi dari sistem terhadap aksi yang akan diberikan oleh aktuator. Pada *flowchart* di atas terdapat proses paralel yang dilakukan di dalam sistem tersebut. Proses paralel itu terjadi ketika aksi yang dilakukan oleh *mist maker*, kipas, dan pompa berjalan bersamaan. Untuk kipas dan pompa itu sendiri memiliki penjadwalan untuk melakukan aksi, hal ini dihindari terjadinya aksi yang berlebihan yang dilakukan oleh kedua aktuator tersebut sehingga dapat memengaruhi proses pertumbuhan jamur. Pada penjadwalan kipas itu sendiri adalah kipas akan menyala jika berada dalam waktu penjadwalan dan memenuhi kondisi yang telah ditentukan dalam bentuk aturan fuzzy, sedangkan kipas akan mati apabila di luar waktu penjadwalan atau memenuhi kondisi yang telah ditentukan dalam bentuk aturan fuzzy. Pada penjadwalan pompa/*mistmaker* adalah pompa/*mistmaker* akan menyala jika berada dalam waktu penjadwalan dan memenuhi kondisi yang telah ditentukan dalam bentuk aturan fuzzy, sedangkan pompa/*mistmaker* akan mati apabila di luar waktu penjadwalan atau memenuhi kondisi yang telah ditentukan dalam bentuk aturan fuzzy. Ketiga aktuator ini memiliki *delay* masing-masing memberikan jeda untuk mencegah penggunaan daya pada aktuator secara berlebihan.

2.4.1.3 Implementasi Fuzzy

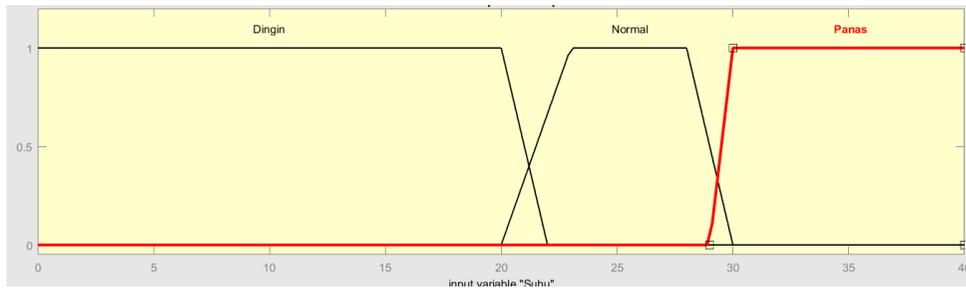
Logika fuzzy yang digunakan pada penelitian ini adalah fuzzy mamdani. fuzzy digunakan sebagai penentu terhadap nilai *output* yang akan dihasilkan. pada sistem kendali yang akan dibuat ini adalah terdapat *inputan* fuzzy yaitu suhu, kelembaban dan CO₂ dan *output* yang diperoleh dari hasil proses fuzzy yaitu kipas dan pompa. Proses yang digunakan oleh fuzzy mamdani adalah sebagai berikut.

1. Masukan

Proses fuzzifikasi akan mengubah nilai *input* yang bersifat tegas (*crisp*) menjadi variabel fuzzy. Proses ini dilakukan dengan memetakan nilai *input* ke dalam fungsi keanggotaan yang telah dilakukan. Data masukan suhu dan kelembaban diperoleh dari pembacaan sensor DHT11, sedangkan data karbondioksida diperoleh dari pembacaan sensor MQ-135. Data keluaran terdiri dari durasi penyiraman dengan parameter mati, lama, dan singkat. Sedangkan penggunaan PWM kipas menggunakan parameter mati, normal, dan kencang.

a. Suhu

Variabel suhu memiliki himpunan semesta dari rentang 0 °C hingga 40 °C. Nilai suhu diperoleh dari hasil pembacaan sensor DHT11. Parameter yang digunakan terdiri atas 3 bagian, yaitu dingin, normal, dan panas. Berikut gambar di bawah ini untuk merepresentasikan parameter suhu.



Gambar 15. Fungsi keanggotaan input suhu

Berdasarkan gambar 15. dapat dijelaskan melalui rumus/persamaan matematis berikut:

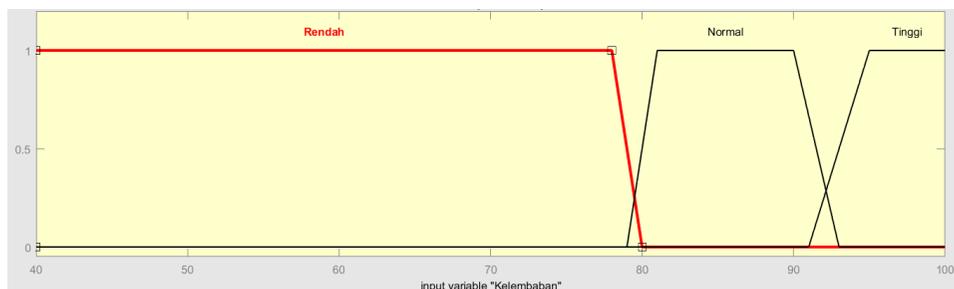
$$dingin = \begin{cases} 0 & ; x \geq 22 \\ \frac{22-x}{22-20} & ; 20 \leq x \leq 22 \\ 1 & ; 0 \leq x \leq 20 \end{cases}$$

$$normal = \begin{cases} 0 & ; x \leq 20 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-20}{23-20} & ; 20 \leq x \leq 23 \\ 1 & ; 23 \leq x \leq 28 \\ \frac{30-x}{30-28} & ; 28 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$panas = \begin{cases} 0 & ; x \leq 29 \text{ atau } x \geq 40 \\ \frac{x-29}{30-29} & ; 29 \leq x \leq 30 \\ 1 & ; 30 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

b. Kelembaban

Variabel kelembaban memiliki himpunan semesta dari rentang 40%-100%. Nilai kelembaban diperoleh dari hasil pembacaan sensor DHT11. Parameter yang digunakan terdiri atas 3 bagian, yaitu rendah, normal, dan tinggi. Berikut gambar di bawah ini untuk merepresentasikan parameter kelembaban.



Gambar 16. Fungsi keanggotaan input kelembaban

Berdasarkan gambar 16. dapat dijelaskan melalui rumus/persamaan matematis berikut:

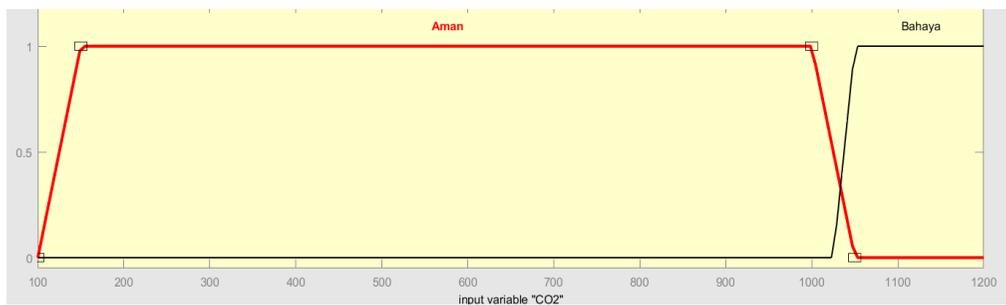
$$rendah = \begin{cases} 0; x \leq 40 \text{ atau } x \geq 80 \\ \frac{80 - x}{80 - 78}; 78 \leq x \leq 80 \\ 1; 40 \leq x \leq 78 \end{cases}$$

$$normal = \begin{cases} 0; x \leq 79 \text{ atau } x \geq 93 \\ \frac{x - 79}{81 - 79}; 79 \leq x \leq 81 \\ 1; 81 \leq x \leq 93 \\ \frac{93 - x}{93 - 90}; 90 \leq x \leq 93 \end{cases}$$

$$tinggi = \begin{cases} 0; x \leq 91 \text{ atau } x \geq 100 \\ \frac{x - 91}{95 - 91}; 91 \leq x \leq 95 \\ 1; 95 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

c. Karbondioksida

Variabel karbondioksida memiliki himpunan semesta dari rentang 100 ppm - 1200 ppm. Nilai karbondioksida diperoleh dari hasil pembacaan sensor MQ-135. Parameter yang digunakan terdiri dari 2 bagian yaitu aman dan bahaya. Berikut gambar di bawah ini untuk merepresentasikan parameter karbondioksida.



Gambar 17. Fungsi keanggotaan input karbondioksida

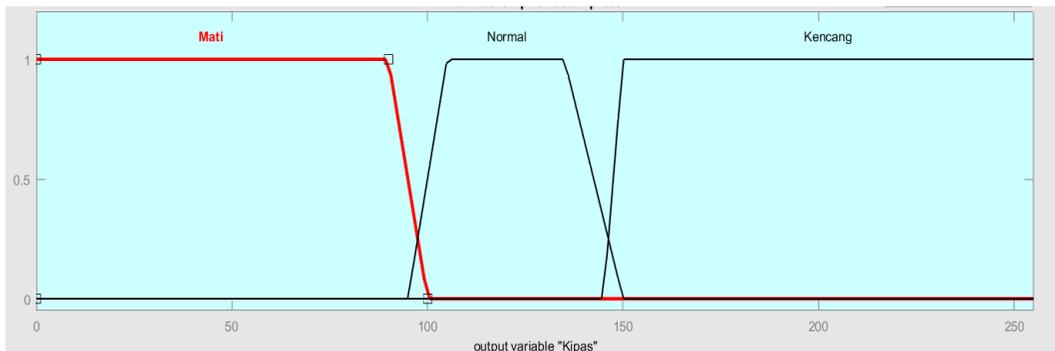
Berdasarkan gambar 17. dapat dijelaskan melalui rumus/persamaan matematis berikut:

$$aman = \begin{cases} 0; x \leq 100 \text{ atau } x \geq 1050 \\ \frac{x - 100}{150 - 100}; 100 \leq x \leq 150 \\ 1; 150 \leq x \leq 1000 \\ \frac{1050 - x}{1050 - 1000}; 1000 \leq x \leq 1050 \end{cases}$$

$$bahaya = \begin{cases} 0; x \leq 1025 \text{ atau } 1200 \\ \frac{x - 1025}{1050 - 1025}; 1025 \leq x \leq 1050 \\ 1; 1050 \leq x \leq 1200 \end{cases}$$

2. Keluaran

Variabel kipas memiliki himpunan semesta dari rentang 0 PWM hingga 255 PWM. Nilai keluaran kipas diperoleh dari hasil proses perhitungan antara variabel suhu, kelembaban, dan karbondioksida. Parameter yang digunakan terdiri dari 3 bagian yaitu mati, normal, dan kencang. Semakin banyak PWM yang digunakan maka semakin kencang kipas bergerak. Berikut gambar di bawah ini untuk merepresentasikan parameter keluaran pada kipas.



Gambar 18. Fungsi keanggotaan output kipas

Berdasarkan gambar 18. dapat dijelaskan melalui rumus/persamaan matematis berikut:

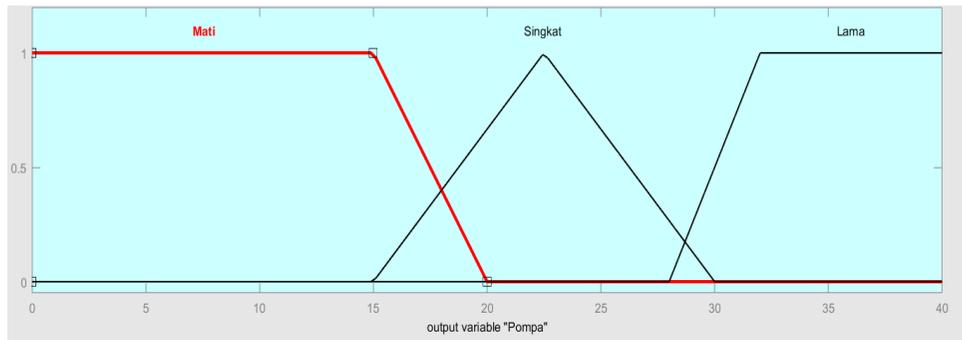
$$mati = \begin{cases} 0; x \geq 100 \\ \frac{100 - x}{100 - 90}; 90 \leq x \leq 100 \\ 1; 0 \leq x \leq 90 \end{cases}$$

$$normal = \begin{cases} 0; x \leq 95 \text{ atau } x \geq 150 \\ \frac{x - 95}{105 - 95}; 95 \leq x \leq 105 \\ 1; 105 \leq x \leq 135 \\ \frac{150 - x}{150 - 135}; 135 \leq x \leq 150 \end{cases}$$

$$kencang = \begin{cases} 0; x \leq 145 \text{ atau } x \geq 255 \\ \frac{x - 145}{150 - 145}; 145 \leq x \leq 150 \\ 1; 150 \leq x \leq 255 \end{cases}$$

d. Pompa/Mist maker

Variabel pompa/mist maker memiliki himpunan semesta dari rentang 0 detik hingga 40 detik. Nilai keluaran pompa diperoleh dari hasil proses perhitungan antara variabel suhu dan kelembaban. Parameter yang digunakan terdiri dari 3 bagian yaitu mati, singkat, dan lama. Semakin lama durasi penyiraman yang dilakukan oleh pompa/mist maker maka semakin lama nozzle menyiram air dan semakin lama mist maker memberikan pengkabutan. Berikut gambar di bawah ini untuk merepresentasikan parameter keluaran pada pompa/mist maker.



Gambar 19. Fungsi keanggotaan pompa/mist maker

Berdasarkan gambar 19. dapat dijelaskan melalui rumus/persamaan matematis berikut:

$$mati = \begin{cases} 0 ; x \geq 20 \\ \frac{20-x}{20-15} ; 15 \leq x \leq 20 \\ 1 ; 0 \leq x \leq 15 \end{cases}$$

$$singkat = \begin{cases} 0 ; x \leq 15 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-15}{22,5-15} ; 15 \leq x \leq 22,5 \\ \frac{22,5-x}{30-22,5} ; 22,5 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$lama = \begin{cases} 0 ; x \leq 28 \text{ atau } x \geq 40 \\ \frac{x-28}{32-28} ; 28 \leq x \leq 32 \\ 1 ; 32 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

2. Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy digunakan sebagai proses pengambilan keputusan berdasarkan aturan-aturan yang telah ditetapkan. Dalam sistem ini, variabel suhu, kelembaban, dan karbondioksida akan digunakan sebagai masukan untuk menghasilkan keluaran melalui penerapan aturan-aturan tersebut.

No	Kipas	Pompa
1	Jika suhu dingin DAN kelembaban rendah DAN karbondioksida aman MAKA kipas normal	Jika suhu dingin DAN kelembaban rendah MAKA pompa/ <i>mist maker</i> lama
2	Jika suhu dingin DAN kelembaban rendah DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang	Jika suhu dingin DAN kelembaban normal MAKA pompa/ <i>mist maker</i> mati
3	Jika suhu dingin DAN kelembaban normal DAN karbondioksida aman MAKA kipas mati	Jika suhu dingin DAN kelembaban tinggi MAKA pompa/ <i>mist maker</i> mati
4	Jika suhu dingin DAN kelembaban normal DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang	Jika suhu normal DAN kelembaban rendah MAKA pompa/ <i>mist maker</i> singkat
5	Jika suhu dingin DAN kelembaban tinggi DAN karbondioksida aman MAKA kipas mati	Jika suhu normal DAN kelembaban normal MAKA pompa/ <i>mist maker</i> mati
6	Jika suhu dingin DAN kelembaban tinggi DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang	Jika suhu normal DAN kelembaban tinggi MAKA pompa/ <i>mist maker</i> mati
7	Jika suhu normal DAN kelembaban rendah DAN karbondioksida aman MAKA kipas normal	Jika suhu panas DAN kelembaban rendah MAKA pompa/ <i>mist maker</i> lama
8	Jika suhu normal DAN kelembaban rendah DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang	Jika suhu panas DAN kelembaban normal MAKA pompa/ <i>mist maker</i> singkat
9	Jika suhu normal DAN kelembaban normal DAN karbondioksida aman MAKA kipas mati	Jika suhu panas DAN kelembaban tinggi MAKA pompa/ <i>mist maker</i> singkat
10	Jika suhu normal DAN kelembaban normal DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang	
11	Jika suhu normal DAN kelembaban tinggi DAN karbondioksida aman MAKA kipas mati	

12	Jika suhu normal DAN kelembaban tinggi DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang
13	Jika suhu panas DAN kelembaban rendah DAN karbondioksida aman MAKA kipas kencang
14	Jika suhu panas DAN kelembaban rendah DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang
15	Jika suhu panas DAN kelembaban normal DAN karbondioksida aman MAKA kipas kencang
16	Jika suhu panas DAN kelembaban normal DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang
17	Jika suhu panas DAN kelembaban tinggi DAN karbondioksida aman MAKA kipas normal
18	Jika suhu panas DAN kelembaban tinggi DAN karbondioksida bahaya MAKA kipas kencang

Table 2. Aturan Fuzzy

Berdasarkan aturan-aturan yang telah dibuat di atas, aturan tersebut akan digunakan di program sistem kendali otomatis untuk memberikan tindakan yang akan dilakukan oleh aktuator melalui informasi yang dikirim oleh sensor. Data yang telah dikumpulkan oleh sensor akan diolah melalui proses fuzzifikasi terhadap masing-masing variabel, kemudian inferensi sebagai aturan-aturan yang melakukan penalaran berdasarkan nilai keanggotaan yang dihasilkan dari proses fuzzifikasi untuk menentukan hubungan antara kondisi masukan dan keluaran. Selanjutnya proses defuzzifikasi sebagai tahap terakhir dari proses perhitungan fuzzy melalui hasil dari proses inferensi fuzzy berupa nilai keanggotaan untuk *output*, diubah kembali menjadi nilai tegas sebagai nilai yang akan ditentukan untuk tindakan yang dilakukan oleh aktuator.

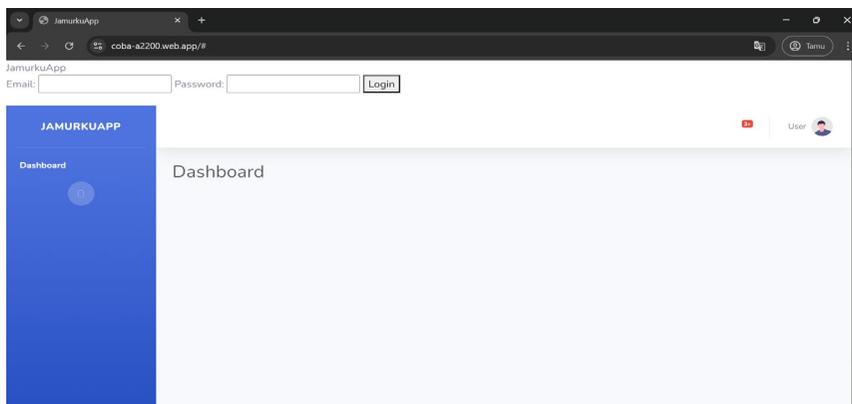
2.4.2 Pembuatan website

Pada tahap ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Pembuatan *frontend*

Pada pembuatan tampilan antar muka di website, penulis menggunakan HTML dasar yang telah terstruktur dengan baik untuk memastikan tampilan yang responsif dan mudah digunakan. HTML yang digunakan adalah HTML5, dimana versi ini merupakan versi yang terbaru dari HTML. Website ini memiliki beberapa elemen kunci yang digunakan untuk menampilkan data sensor dan menangani autentikasi pengguna. Selain itu, pemanfaatan bootstrap untuk desain responsif dan modern yang bertujuan untuk menyediakan antarmuka yang ramah terhadap pengguna untuk memantau kondisi lingkungan dalam kumbung.

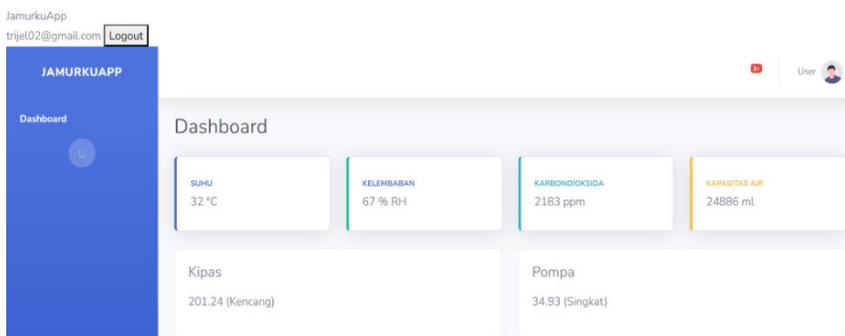
a. Halaman login



Gambar 20. Halaman Login

Berdasarkan gambar 20. halaman login untuk “JAMURKUAPP” mencakup formulir yang sederhana agar pengguna yang telah terautentikasi di firebase sebelumnya agar dapat memasukkan email dan kata sandi untuk mengakses akun mereka, sehingga apabila alamat email dan kata sandi tidak valid maka sistem akan memunculkan pesan *error*. Halaman ini hanya menampilkan sidebar dengan label aplikasi dan tidak menampilkan data yang ada di dashboard.

b. Dashboard

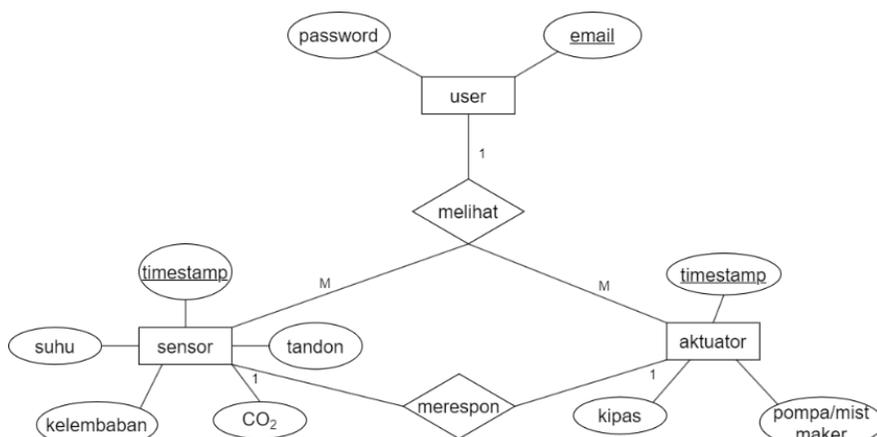


Gambar 21. Halaman dashboard

Berdasarkan gambar 21. halaman dashboard untuk “JAMURKUAPP” mencakup data sensor dan aktuator yang ditampilkan secara realtime. Data sensor mencakup suhu, kelembaban, karbondioksida, dan kapasitas air. Sedangkan data aktuator mencakup kipas dan pompa. Perubahan data sensor dan aktuator memiliki jeda 30 detik.

2. Pembuatan *backend*

Pembuatan backend memanfaatkan layanan firebase yang dikelola oleh google. Layanan firebase yang digunakan adalah *realtime database*. Firebase menyimpan data dalam format JSON. JSON adalah format data yang mudah dibaca dan sering digunakan untuk komunikasi antara aplikasi. Struktur data firebase menyerupai pohon, dimana data disusun dalam bentuk objek dan array. Salah satu fitur utama dari firebase yaitu realtime database menyediakan layanan penyimpanan data NoSQL berbasis cloud secara *realtime* yang dapat memungkinkan aplikasi untuk menyimpan dan mengambil data dengan mudah, sehingga perubahan data akan terlihat secara langsung oleh semua pengguna yang terhubung ke database tersebut.



Gambar 22. ER diagram database

Berdasarkan gambar 22. *user* memuat informasi berupa email, password dan *UserId* yang digunakan sebagai autentikasi. *UserId* berfungsi sebagai kunci utama untuk mengidentifikasi setiap pengguna secara unik. Entitas *sensor* memuat *UserId* sebagai kunci utama agar database dapat mengumpulkan data kondisi lingkungan, yaitu suhu, kelembaban, CO₂, kapasitas air. Setiap rekaman data masing-masing sensor memiliki *timestamp*. Entitas *aktuator* memuat *UserId* agar dapat mencatat data terkait pengoperasian kipas dan *pompa/mist maker* yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Setiap pengendalian aktuator memiliki *timestamp* yang sama dengan *timestamp* dari entitas *sensor* untuk memastikan sinkronisasi antara data sensor dan pengoperasian aktuator. Dengan demikian, sistem dapat melacak data sensor yang akan dilihat oleh pengguna dan memastikan bahwa setiap tindakan yang dilakukan oleh aktuator

berkaitan dengan data sensor melalui timestamp yang sama, meskipun kontrol aktuator dilakukan oleh mikrokontroler.

2.5 Teknik pengolahan data

Teknik pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengolahan data sampling. Teknik sampling menurut Margono (2004) dapat didefinisikan sebagai cara untuk menentukan sampel yang jumlahnya sesuai dengan ukuran sampel yang akan menjadi sumber data sebenarnya, dengan memperhatikan sifat-sifat dan penyebaran populasi agar diperoleh sampel yang representatif. Dalam konteks studi statistik, metode pengambilan sampel menentukan cara pemilihan sampel populasi untuk dijadikan subjek penelitian sehingga sampel yang tidak acak dapat menyebabkan bias dan hasil penelitian yang tidak akurat. Teknik sampling dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu *probability sampling* dan *nonprobability sampling*.

Probability sampling merupakan teknik *sampling* yang berdasarkan fakta bahwa setiap anggota populasi memiliki peluang yang sama untuk dipilih menjadi sampel. *Probability sampling* memiliki berbagai variasi, diantaranya sampling acak sederhana (*Simple Random Sampling*), sampling acak sistematis (*Systematic Random Sampling*), sampling acak stratifikasi (*Stratified Random Sampling*), sampling rumpun (*Cluster Sampling*), sampling bertahap (*Multistage Sampling*). Sedangkan *nonprobability sampling* adalah teknik sampling dimana setiap anggota populasi memiliki peluang nol, pengambilan sampel berdasarkan pada kriteria tertentu seperti status, kuantitas, kesukarelaan dan sebagainya. *Nonprobability sampling* memiliki variasi, diantaranya sampling kuota (*Quota Sampling*), sampling kebetulan (*Accidental Sampling*), sampling purposif (*Purposive Sampling*), sampling sukarela (*Voluntary Sampling*), dan sampling bola salju (*Snowball Sampling*).

Pada penelitian ini, penulis menggunakan teknik sampling acak stratifikasi (*Stratified Random Sampling*). Teknik sampling acak stratifikasi (*Stratified Random Sampling*) adalah teknik pengambilan sampel yang membagi populasi menjadi kelompok-kelompok homogen lalu memilih sampel secara acak dari setiap kelompok. Metode ini digunakan untuk pengolahan data kondisi lingkungan sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu mengetahui kondisi lingkungan ideal yang tercapai dan bertahan selama proses budidaya jamur.