

Implementasi *Fuzzy Logic* pada Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Kandang Maggot Fase Imago

Muhammad Auwaluddin^{1*}, Elta Sonalitha², Subairi³

^{1,2,3}Universitas Merdeka, Malang

*Penulis Korespondensi, email: muhammadauwaluddin85@gmail.com

Received: 09/07/2025

Revised: 21/07/2025

Accepted: 29/07/2025

Abstract. The cultivation of Black Soldier Fly (BSF) maggots offers a sustainable solution for organic waste management and the production of high-protein animal feed. The success of this cultivation process highly depends on maintaining ideal environmental conditions, particularly temperature and humidity. This study aims to design an automatic control system based on fuzzy logic to stabilize temperature and humidity in the BSF maggot cage during the imago phase. A DHT22 sensor is used to measure environmental parameters in real-time, while an ESP32 microcontroller processes the data. The fuzzy logic controller adjusts the fan speed and water pump operation based on the measured temperature and humidity values. Test results show that the system successfully maintains the temperature between 26–31°C and humidity between 65–80%, which are optimal conditions for BSF growth and reproduction. The implementation of fuzzy logic provides smoother and more adaptive control compared to conventional systems. Moreover, the system operates automatically without the need for intensive manual intervention, enhancing operational efficiency and minimizing human error in cage management.

Keywords: Maggot, BSF, Fuzzy Logic, Temperature, Humidity, DHT22, ESP32.

Abstrak. Budidaya maggot *Black Soldier Fly* (BSF) menjadi solusi berkelanjutan dalam pengelolaan limbah organik dan produksi pakan bernutrisi tinggi. Keberhasilan budidaya sangat bergantung pada kondisi lingkungan yang ideal, khususnya suhu dan kelembaban. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali otomatis berbasis logika *fuzzy* yang mampu menjaga kestabilan suhu dan kelembaban pada kandang maggot fase imago. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur parameter lingkungan secara real-time, sedangkan mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pengolah data. Sistem pengendali *fuzzy* mengatur kecepatan kipas dan pompa air berdasarkan nilai suhu dan kelembaban yang terukur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil menjaga suhu dalam kisaran 26–31°C dan kelembaban antara 65–80%, yang merupakan kondisi optimal untuk pertumbuhan dan reproduksi lalat BSF. Penerapan logika *fuzzy* memberikan kendali yang lebih halus dan adaptif terhadap perubahan lingkungan dibandingkan sistem kendali konvensional. Selain itu, sistem ini mampu bekerja secara otomatis tanpa intervensi manual yang intensif, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi potensi kesalahan manusia dalam pengelolaan kandang.

Kata Kunci: Maggot, BSF, *Fuzzy Logic*, Suhu, Kelembaban, DHT22, ESP32.

I. PENDAHULUAN

Budidaya maggot atau larva lalat *Black Soldier Fly* (BSF) merupakan solusi berkelanjutan dalam mengelola limbah organik sekaligus menghasilkan pakan ternak tinggi protein. Kemampuan maggot dalam menguraikan limbah menjadi biomassa bernilai ekonomi tinggi menjadikannya semakin relevan. Namun, keberhasilan budidaya ini sangat bergantung pada kestabilan suhu dan kelembaban lingkungan [1]. Perubahan drastis pada parameter

tersebut dapat menurunkan produktivitas maggot dan memicu kerugian secara ekonomi.

Pada praktik konvensional, pemantauan suhu dan kelembaban masih dilakukan secara manual dan tidak berkelanjutan, sehingga rawan kesalahan dan tidak menghasilkan data secara *real-time* [2]. Hal ini menyulitkan peternak dalam merespons kondisi lingkungan secara cepat dan tepat, yang berujung pada stres maggot, meningkatnya risiko penyakit, dan turunnya kualitas panen.

Teknologi sensor menjadi peluang potensial untuk meningkatkan efisiensi budidaya maggot. Sensor DHT22 misalnya, mampu mengukur suhu dan kelembaban dengan akurasi tinggi [3]. Sistem ini bahkan dapat diprogram agar mengirimkan notifikasi otomatis saat parameter lingkungan menyimpang dari batas ideal, sehingga memungkinkan peternak mengambil tindakan korektif dengan segera.

Lebih jauh, penerapan sistem pemantauan dan pengendalian lingkungan berbasis sensor pada fase imago dapat meningkatkan efisiensi analisis kondisi ideal [4]. Data historis yang terekam memungkinkan peternak mengenali pola lingkungan serta menyesuaikan pengaturan guna memaksimalkan produktivitas. Integrasi dengan sistem kontrol otomatis seperti ventilasi, pemanas, dan pelembab juga mampu menjaga stabilitas lingkungan secara terus-menerus. Oleh karena itu, pengembangan sistem berbasis sensor DHT dalam budidaya maggot memiliki potensi besar dalam mendorong praktik yang lebih efisien, akurat, dan berkelanjutan [5].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem tersebut, serta mengevaluasi kinerjanya terhadap proses budidaya maggot.

II. METODOLOGI

Penelitian ini mengacu pada sejumlah teori sebagai landasan dalam merancang dan mengembangkan sistem monitoring otomatis pada kandang maggot fase imago. Berikut penjelasan teoritis dari komponen dan konsep utama yang digunakan:

A. Maggot

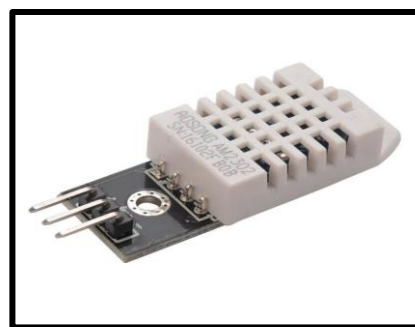


Gambar 1. Maggot fase imago

Maggot merupakan fase larva dari lalat *Black Soldier Fly (Hermetia illucens)*, yang memiliki kemampuan signifikan dalam menguraikan limbah organik menjadi biomassa bernilai tinggi. Larva ini berkembang dari telur menjadi lalat dewasa melalui beberapa tahapan: telur, larva, pra-pupa, pupa, dan imago [6]. Lalat BSF sendiri telah lama diketahui berasal dari kawasan subtropis di Amerika dan mampu bertahan hidup di lingkungan ekstrem seperti media dengan kadar garam, alkohol, atau amonia tinggi [7]. Tahapan hidup maggot dimulai dari telur yang biasanya diletakkan di media lembap yang kaya bahan organik, menetas setelah 3–4 hari. Fase larva berlangsung selama 14–18 hari, di mana maggot aktif mengonsumsi limbah. Selanjutnya, fase pra-pupa ditandai dengan berhentinya aktivitas makan dan migrasi larva ke tempat gelap untuk berubah menjadi pupa dalam waktu 7–10 hari [8]. Fase pupa merupakan waktu terjadinya metamorfosis total sebelum akhirnya keluar sebagai lalat dewasa. Imago hidup selama 5–8 hari dan berfokus pada proses reproduksi. Kondisi ideal untuk fase ini meliputi suhu 25–32°C dan kelembaban 65–80%.

Pemilihan fase imago sebagai fokus penelitian didasarkan pada pentingnya keberhasilan reproduksi dalam siklus budidaya BSF. Pada fase ini, lalat dewasa bertelur untuk menghasilkan generasi baru maggot. Kegagalan dalam menyediakan kondisi lingkungan yang ideal selama fase imago dapat berdampak langsung pada jumlah dan kualitas telur yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengendalian suhu dan kelembaban pada fase ini sangat krusial untuk menjaga kesinambungan produksi maggot secara optimal dan berkelanjutan.

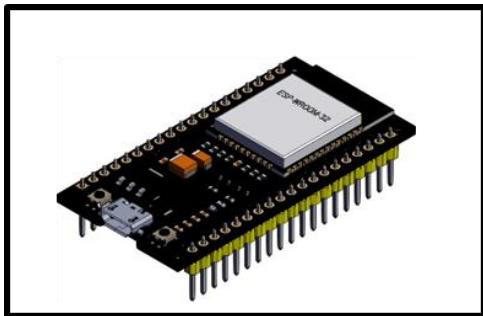
B. DHT22



Gambar 2. DHT22

DHT22 adalah sensor digital yang digunakan untuk membaca suhu dan kelembaban dengan akurasi tinggi. Sensor ini bekerja pada tegangan 3.3–5V dengan kemampuan membaca suhu dari -40°C hingga 80°C dan kelembaban dari 0% hingga 100% RH. Komunikasinya menggunakan protokol satu kabel (single-wire), dan memiliki tingkat akurasi $\pm 0.5^\circ\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2\%$ –5% RH untuk kelembaban. Studi laboratorium menunjukkan DHT22 memiliki error $\sim 1,96\%$ [9]. Dibandingkan dengan DHT11, DHT22 lebih unggul dari sisi presisi dan jangkauan pengukuran, meskipun membutuhkan waktu sampling lebih lambat

C. ESP32

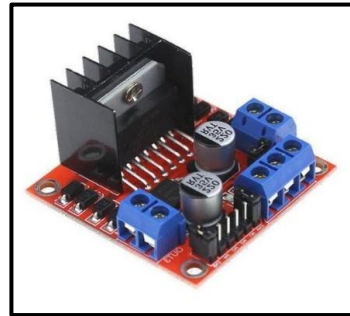


Gambar 3. ESP32

NodeMCU ESP32 merupakan modul mikrokontroler yang dilengkapi konektivitas WiFi dan Bluetooth, serta prosesor dual-core berarsitektur Xtensa LX7. Modul ini bekerja pada tegangan 3.3V dan dilengkapi fitur seperti antarmuka SPI, I2C, UART, serta mode hemat daya (*deep sleep*). ESP32 cocok untuk aplikasi pemantauan jarak jauh dan automasi, termasuk dalam sistem pengendalian suhu dan kelembaban kandang maggot. ESP32 merupakan mikrokontroler yang sangat efisien karena mendukung koneksi Wi-Fi dan Bluetooth serta mampu mengintegrasikan berbagai sensor seperti DHT22 untuk pemantauan suhu dan kelembaban secara real-time [10].

Dalam sistem ini, sensor DHT22 terhubung ke pin GPIO 2. Kipas dikendalikan melalui GPIO 27, 26, dan 14 (ENA) menggunakan sinyal PWM. Pompa air dikontrol melalui GPIO 33 yang terhubung ke modul relay dan aktif berdasarkan hasil pengolahan *fuzzy logic*.

D. Motor driver L298N



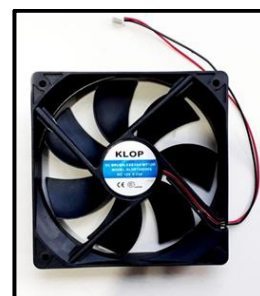
Gambar 4. Motor driver L298N

L298N adalah modul *driver* motor yang menggunakan konfigurasi dual H-bridge, mampu mengontrol dua motor DC atau satu motor stepper bipolar. Modul ini mendukung tegangan *input* 5V–35V dengan arus maksimal 2A per kanal. Penggunaannya umum dalam berbagai sistem kendali berbasis mikrokontroler karena fleksibilitas dalam mengatur arah dan kecepatan motor. Pengaturan kecepatan motor pada L298N dilakukan menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang diberikan ke pin ENA (untuk motor A) dan ENB (untuk motor B). Nilai PWM ini biasanya berupa angka antara 0 hingga 255 (8-bit), di mana:

1. 0 berarti motor berhenti (0% *duty cycle*).
2. 255 berarti kecepatan maksimum (100% *duty cycle*).

Dengan bantuan PWM, L298N tidak hanya dapat mengatur ON/OFF motor, tetapi juga mengendalikan kecepatannya secara halus dan efisien.

E. Kipas DC

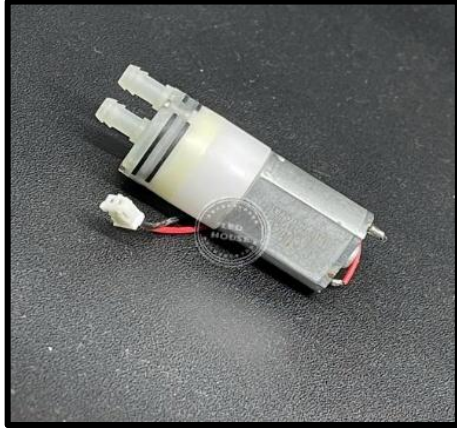


Gambar 5. Kipas DC 24V

Kipas digunakan untuk membantu sirkulasi udara dan pengendalian suhu di dalam kandang. Kipas jenis DC brushless berukuran 8 cm dan memiliki 7 bilah digunakan dalam sistem ini. Kipas

ini bekerja pada tegangan 12V DC dan memiliki kecepatan rotasi antara 1500–4000 RPM, tergantung tipe. Dengan arus operasi 0.1A–0.5A, kipas ini cukup efisien dan relatif rendah kebisingan.

F. Pompa air



Gambar 6. Pompa air

Pompa air 5V merupakan pompa mini yang dirancang untuk aplikasi skala kecil seperti pendinginan atau sistem irigasi otomatis. Pompa ini memiliki arus operasi 100–300 mA dan dapat mengalirkan air sekitar 80–120 liter per jam, tergantung pada model dan tegangan. Pompa tipe submersible ini mudah diintegrasikan dengan sistem mikrokontroler melalui relay dan efektif menjaga kelembaban kandang secara otomatis

G. Fuzzy Logic

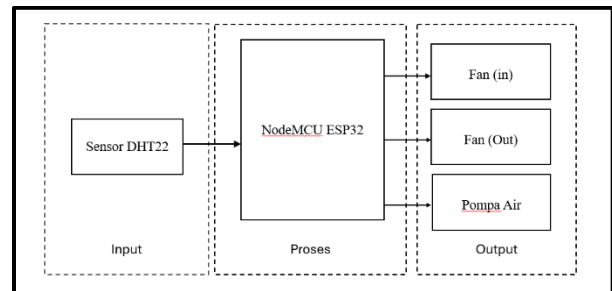
Fuzzy Logic atau logika *fuzzy* merupakan metode pengambilan keputusan berbasis logika yang meniru cara manusia berpikir dan mengambil keputusan dalam kondisi ketidakpastian. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal dua nilai pasti (0 dan 1), logika *fuzzy* memungkinkan representasi nilai di antara keduanya, seperti “rendah”, “sedang”, atau “tinggi”, sehingga sangat cocok untuk sistem kendali berbasis lingkungan yang bersifat dinamis dan tidak pasti.

Dalam sistem pengendalian suhu dan kelembaban kandang maggot, *fuzzy logic* digunakan untuk mengolah data dari sensor (seperti DHT22) dan menghasilkan aksi kendali terhadap aktuatur seperti kipas atau pompa air. Proses ini melibatkan

beberapa tahapan utama, yaitu Fuzzifikasi, Inferensi, Defuzzifikasi.

Logika *fuzzy* sangat sesuai untuk sistem ini karena kondisi suhu dan kelembaban di kandang tidak selalu konstan dan tidak dapat dikendalikan secara presisi dengan logika biner. Dengan *fuzzy*, sistem dapat membuat keputusan kendali yang lebih fleksibel dan adaptif sesuai kondisi lingkungan aktual.

H. Diagram sistem



Gambar 7. Diagram sistem

Gambar 1 tersebut menunjukkan alur kerja sistem otomatis yang dirancang untuk memantau dan mengendalikan kondisi suhu dan kelembaban di dalam kandang maggot fase imago. Sistem ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian *input*, *proses*, dan *output*.

1. Input

Bagian *input* menggunakan sensor DHT22 yang bertugas untuk mengukur parameter suhu dan kelembaban lingkungan secara real-time. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan mampu mendeteksi perubahan kondisi udara di dalam kandang dengan cepat. Data suhu dan kelembaban yang diperoleh kemudian dikirim ke mikrokontroler.

2. Proses (NodeMCU ESP32)

NodeMCU ESP32 berperan sebagai pusat pemrosesan utama dalam sistem. Setelah menerima data dari sensor DHT22, mikrokontroler ini menjalankan algoritma *fuzzy logic* yang telah diprogram sebelumnya untuk menentukan tindakan yang sesuai berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban tersebut. NodeMCU ESP32 kemudian mengontrol perangkat *output* berdasarkan hasil perhitungan *fuzzy* untuk menjaga kestabilan lingkungan kandang.

3. Output

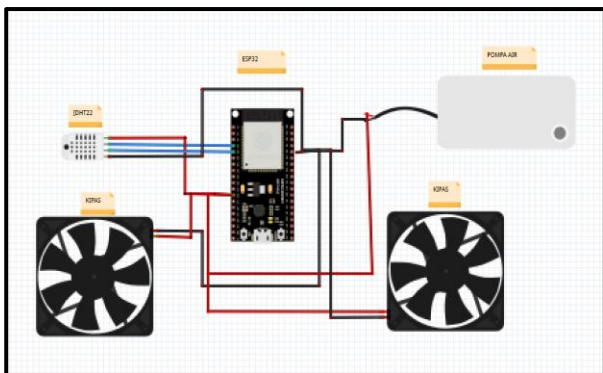
Output terdiri dari tiga perangkat aktuator, yaitu kipas masuk (*Fan In*), kipas keluar (*Fan Out*), dan pompa air:

- Fan In* diaktifkan ketika suhu lingkungan terlalu tinggi dan dibutuhkan udara segar dari luar kandang untuk menurunkan suhu.
- Fan Out* berfungsi mengeluarkan udara panas atau lembap dari dalam kandang untuk menjaga sirkulasi udara.
- Pompa air diaktifkan saat kelembaban turun di bawah ambang batas tertentu, untuk meningkatkan kelembaban melalui penyemprotan air secara otomatis.

Dengan sistem ini, suhu dan kelembaban di dalam kandang dapat dijaga dalam kondisi optimal tanpa intervensi manual secara terus-menerus. Sistem bekerja secara otomatis, responsif terhadap perubahan lingkungan, dan memberikan kontrol yang lebih efisien dalam proses budidaya maggot fase imago.

Dengan sistem ini, suhu dan kelembaban di dalam kandang dapat dijaga dalam kondisi optimal tanpa intervensi manual secara terus-menerus. Sistem bekerja secara otomatis, responsif terhadap perubahan lingkungan, dan memberikan kontrol yang lebih efisien dalam proses budidaya maggot fase imago.

I. Rangkaian sistem



Gambar 8. Rangkaian skematik

Berikut adalah penjelasan tentang cara kerja sistem yang tercermin dalam gambar 8.

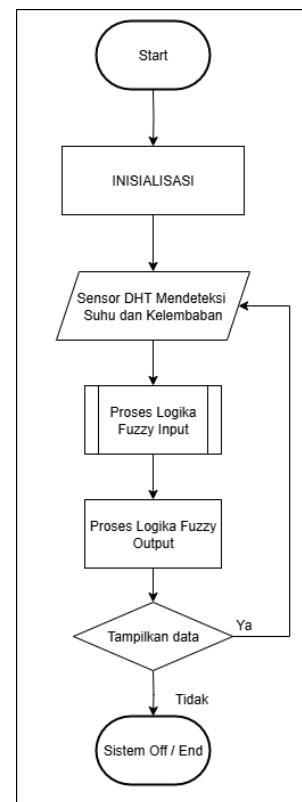
- DHT22 berfungsi Untuk memantau suhu dan kelembaban di dalam kandang, pengukuran dilakukan terlebih dahulu. Data yang terkumpul

kemudian dikirim ke ESP32 untuk dianalisis lebih lanjut.

- Fan* digunakan untuk mengatur aliran udara jika suhu di dalam kandang melebihi batas yang telah ditentukan.
- ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem. Alat ini menerima data dari sensor dan menggunakannya untuk mengontrol perangkat seperti kipas dan pompa air, berdasarkan nilai suhu dan kelembaban yang terukur.
- Fan* berguna Untuk mengendalikan sirkulasi udara apabila suhu di dalam kandang melebihi batas yang telah ditetapkan.

Pompa air digunakan pada kandang maggot untuk membasahi media seperti kandang atau pakan organik secara otomatis agar tetap lembap, sehingga menciptakan lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan maggot

J. Flowchart



Gambar 9. Flowchart

Berikut adalah keterangan untuk setiap langkah pada *flowchart* sistem *fuzzy* seperti yang ditampilkan pada gambar:

1. Start

Proses sistem dimulai ketika perangkat dinyalakan.

2. Inisialisasi

Mikrokontroler ESP32 mulai melakukan inisialisasi semua komponen, seperti sensor DHT22, dan pengaturan pin *input/output*.

3. Sensor DHT

Mendeteksi Suhu dan Kelembaban digunakan sebagai *input* dalam sistem logika *fuzzy*.

4. Proses logika fuzzy input

Nilai suhu dan kelembaban yang diperoleh dari sensor dikonversi menjadi derajat keanggotaan (membership function) menggunakan fuzzifikasi berdasarkan aturan *fuzzy* yang ditentukan.

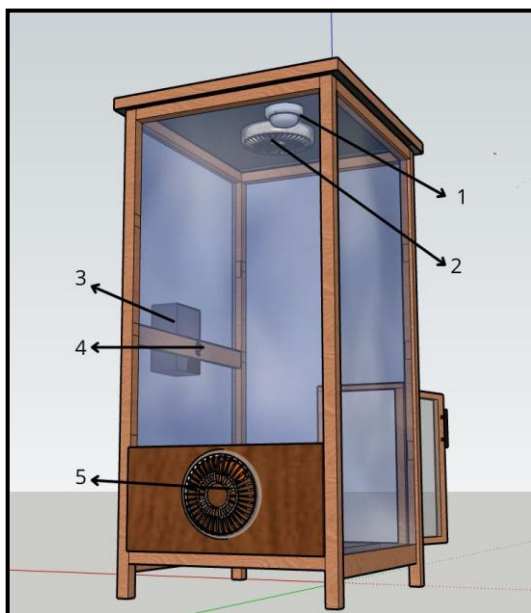
5. Proses logika fuzzy output

Berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan, sistem menghitung nilai *output* kendali untuk kipas dan pompa. Proses ini mencakup inferensi *fuzzy* dan defuzzifikasi.

6. Tampilkan data pada serial monitor. Terdapat pilihan jika ya maka sistem mengulang jika Tidak maka sistem lanjut proses selanjutnya

7. End yang berarti sistem *off*

K. Desain Kandang



Gambar 10. Desain Kandang

Berdasarkan gambar 10 yang merupakan kandang untuk budidaya maggot BSF, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pompa air

2. *Fan In*

3. Kotak Perangkat

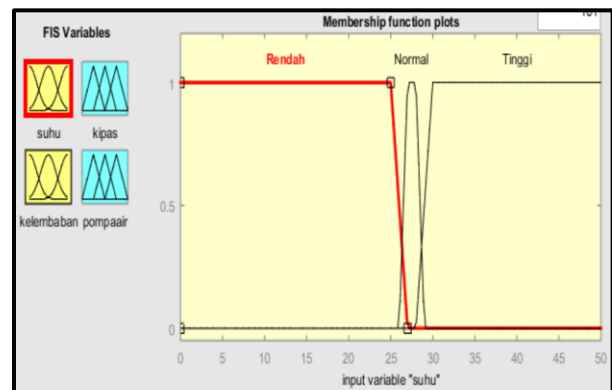
4. Sensor DHT22

5. *Fan Out*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN.

A. Input

Sumber *input* pada sistem *fuzzy* ini diperoleh dari sensor DHT22 yang mendeteksi parameter suhu dan kelembaban udara. Data yang dihasilkan kemudian diubah ke dalam bentuk variabel linguistik guna diproses menggunakan metode logika *fuzzy*. Setiap masukan memiliki fungsi keanggotaan tersendiri beserta tingkat keanggotaannya, yang dapat dinyatakan dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 11. Input variabel suhu

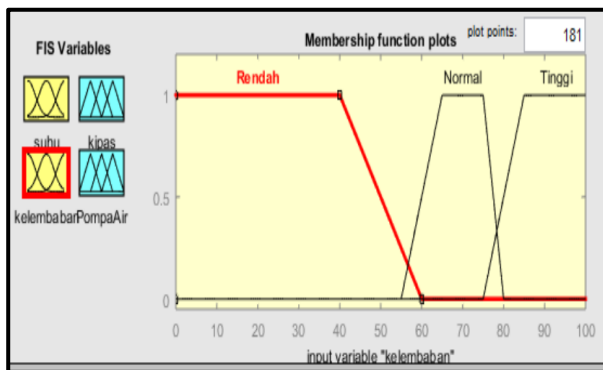
Grafik gambar 11 pada Gambar 4.8 menampilkan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel *input* suhu dalam kisaran 0°C hingga 50°C. Variabel ini dibagi ke dalam tiga kategori linguistik, yaitu Suhu Rendah, Suhu Normal, dan Suhu Tinggi.

Range Suhu:

Rendah: 0,0,25,27

Normal: 26,27,28,29

Tinggi: 28,30,50



Gambar 12. Input variabel kelembaban

Gambar 12 menggambarkan fungsi keanggotaan fuzzy untuk variabel *input* kelembapan udara dalam rentang 0% hingga 100%. Fungsi ini dibagi menjadi tiga kategori linguistik: Rendah, Normal, dan Tinggi, yang disusun secara bertingkat dan saling tumpang tindih untuk mencerminkan perubahan kelembapan secara bertahap.

Range Kelembapan:

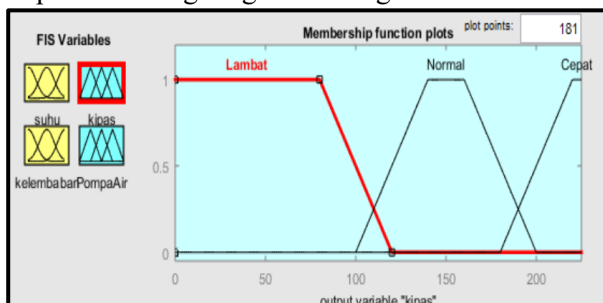
Rendah: 0,0,40,60

Normal: 55,65,75,80

Tinggi: 75,85,100

B. Output Fuzzy

Hasil dari proses inferensi fuzzy menghasilkan *output* berupa sinyal kendali. Dalam sistem ini, sinyal tersebut digunakan untuk menyesuaikan kecepatan pompa air dan putaran kipas, disesuaikan dengan kondisi suhu dan kelembaban yang terpantau di lingkungan kandang.



Gambar 13. Output variabel kipas

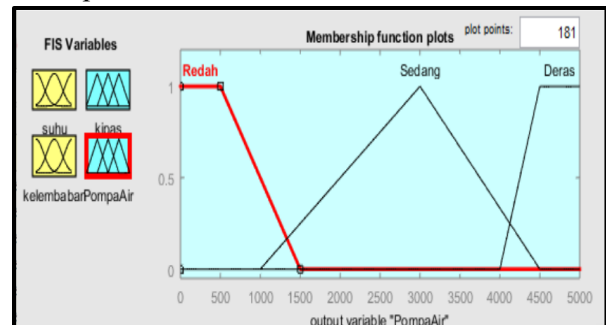
Gambar 13 memperlihatkan fungsi keanggotaan fuzzy untuk variabel *output* berupa kecepatan kipas, dengan rentang nilai antara 0 hingga 255. Fungsi ini terbagi ke dalam tiga himpunan linguistik: lambat, normal, dan cepat, yang masing-masing merepresentasikan tingkat kecepatan kipas sesuai hasil perhitungan dari logika fuzzy.

Range Kipas:0-225

Lambat: 0,0,80,120

Normal: 100,140,160,200

Cepat: 180,220,255



Gambar 14. Output variable pompa air

Gambar 14 menyajikan grafik fungsi keanggotaan (membership function) untuk variabel *output* sistem, yakni intensitas atau kecepatan kerja pompa air. Variabel ini memiliki rentang nilai antara 0 hingga 5000, yang merepresentasikan tingkat pengaliran air berdasarkan pulsa PWM. *Output* tersebut diklasifikasikan ke dalam tiga kategori linguistik: Rendah, Sedang, dan Deras.

Range pompa air: 0-5000

Rendah: 0,0,500,1500

Sedang: 1000,3000,4500

Deras: 4000,4500,5000

C. Rule Fuzzy

Aturan fuzzy adalah sekumpulan pernyataan if-then yang berfungsi untuk mengaitkan variabel *input* dan *output* dalam sistem logika fuzzy. Melalui aturan ini, sistem dapat menentukan respons yang tepat terhadap berbagai kombinasi nilai suhu dan kelembaban yang terdeteksi.

1. If (suhu is Rendah) and (kelembaban is Rendah) then (kipas is Lambat)(pompaair is Rendah) (1)
2. If (suhu is Rendah) and (kelembaban is Normal) then (kipas is Lambat)(pompaair is Sedang) (1)
3. If (suhu is Rendah) and (kelembaban is Tinggi) then (kipas is Lambat)(pompaair is Rendah) (1)
4. If (suhu is Normal) and (kelembaban is Rendah) then (kipas is Sedang)(pompaair is Sedang) (1)
5. If (suhu is Normal) and (kelembaban is Normal) then (kipas is Lambat)(pompaair is Rendah) (1)
6. If (suhu is Normal) and (kelembaban is Tinggi) then (kipas is Lambat)(pompaair is Rendah) (1)
7. If (suhu is Tinggi) and (kelembaban is Rendah) then (kipas is Cepat)(pompaair is Deras) (1)
8. If (suhu is Tinggi) and (kelembaban is Normal) then (kipas is Cepat)(pompaair is Sedang) (1)
9. If (suhu is Tinggi) and (kelembaban is Tinggi) then (kipas is Cepat)(pompaair is Rendah) (1)
10. If (suhu is Rendah) and (kelembaban is Normal) then (kipas is Lambat)(pompaair is Sedang) (1)
11. If (suhu is Normal) and (kelembaban is Rendah) then (kipas is Sedang)(pompaair is Sedang) (1)
12. If (suhu is Tinggi) and (kelembaban is Normal) then (kipas is Cepat)(pompaair is Sedang) (1)
13. If (suhu is Normal) and (kelembaban is Tinggi) then (kipas is Sedang)(pompaair is Rendah) (1)
14. If (suhu is Rendah) and (kelembaban is Tinggi) then (kipas is Lambat)(pompaair is Rendah) (1)
15. If (suhu is Tinggi) and (kelembaban is Rendah) then (kipas is Cepat)(pompaair is Deras) (1)
16. If (suhu is Tinggi) and (kelembaban is Tinggi) then (kipas is Cepat)(pompaair is Rendah) (1)

Gambar 15. Rule fuzzy

Gambar 15 di atas merupakan daftar aturan fuzzy (fuzzy rules) yang digunakan dalam sistem kendali suhu dan kelembaban pada kandang maggot fase

imago. Setiap aturan berbentuk pernyataan logika IF–THEN, yang menghubungkan dua variabel *input fuzzy*, yaitu suhu dan kelembaban, dengan dua variabel *output*, yaitu kecepatan kipas dan intensitas pompa air.

1. Input:

- a. Suhu: Rendah, Normal, Tinggi
- b. Kelembaban: Rendah, Normal, Tinggi

2. Output:

- a. Kipas: Lambat, Sedang, Cepat
- b. Pompa Air: Rendah, Sedang, Deras

Aturan ini mencakup semua kemungkinan kombinasi nilai linguistik dari suhu dan kelembaban untuk menghasilkan respons sistem yang sesuai. Tujuannya adalah untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembaban dalam rentang optimal untuk pertumbuhan maggot.

Contoh:

1. Aturan 1: *Jika suhu Rendah dan kelembaban Rendah, maka kipas Lambat dan pompa air Rendah.*
2. Aturan 11: *Jika suhu Tinggi dan kelembaban Tinggi, maka kipas Cepat dan pompa air Rendah.*

Dengan pendekatan ini, sistem dapat merespons secara otomatis terhadap berbagai kondisi lingkungan, menyesuaikan kecepatan kipas dan pompa air berdasarkan hasil inferensi dari logika *fuzzy*.

D. Pengujian sistem ideal kandang

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja kendali otomatis suhu dan kelembaban pada kandang maggot *fase imago*. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat merespons perubahan kondisi lingkungan secara akurat dan tepat waktu sesuai dengan logika *fuzzy* yang telah dirancang. Pengujian meliputi pengamatan terhadap reaksi aktuator (kipas dan pompa air) dalam berbagai skenario suhu dan kelembaban guna menilai efektivitas pengendalian yang dihasilkan.

Hasil pengujian sistem di lingkungan *indoor* pada tanggal 27–28 Mei 2025. Data meliputi waktu, suhu (°C), kelembaban (%), kecepatan kipas (*Pulse*

Width Modulation), dan durasi aktif pompa air (dalam detik).

Tabel 1. Pengujian *indoor*

No	Time	Tem (°C)	Hun (%)	Fan (PWM)	Pompa (s)
1	14:41	27,4	79	144	0
2	15:55	27,4	80	150	0
3	16:32	27,4	81	150	0
4	17:40	27,3	81	150	0
5	18:12	27,2	82	150	0
6	18:59	27,2	83	150	0
7	20:44	27,1	84	150	0
8	21:37	27	85	150	0
9	07:51	27	83	150	0
10	08:19	27,2	82	150	0

Dari data terlihat bahwa suhu dan kelembaban dalam kandang cukup stabil, dengan suhu berkisar antara 27,2–28,1°C dan kelembaban antara 78–83%. Sistem *fuzzy* mengatur kecepatan kipas di kisaran 144–150 PWM tanpa mengaktifkan pompa air, menunjukkan bahwa kondisi lingkungan telah dianggap ideal oleh sistem.

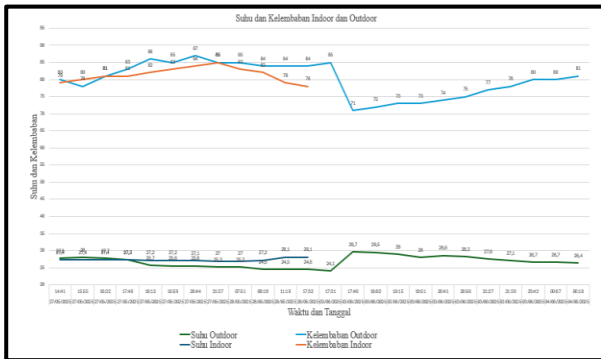
Hasil pengujian sistem di lingkungan *outdoor* pada tanggal 3–11 Juni 2025. Kondisi ini dilakukan untuk mengamati respons sistem dalam lingkungan yang tidak terkendali secara penuh.

Tabel 2. Pengujian *outdoor*

No	Time	Tem (°C)	Hun (%)	Fan (PWM)	Pompa (s)
1	17:31	27,8	80	150	0
2	17:46	28	78	100	0
3	19:51	25,7	86	53	0
4	20:56	25,6	87	53	0
5	21:27	25,3	85	51	0
6	23:42	24,5	84	51	0
7	00:18	24,6	84	51	0
8	00:30	24,1	85	50	0
9	15:14	29,7	71	185	3
10	15:30	29,5	72	184	3

Hasil *outdoor* menunjukkan variasi suhu dan kelembaban yang lebih signifikan. Suhu berkisar antara 24,1–29,7°C dan kelembaban antara 51–

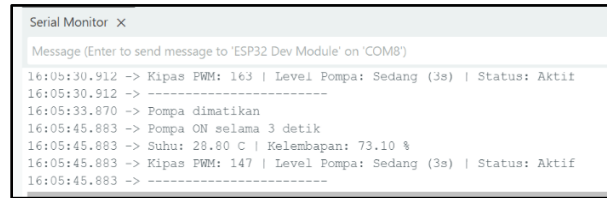
87%. Sistem *fuzzy* memberikan variasi kecepatan kipas dari 51 hingga 185 PWM, dan pompa diaktifkan beberapa kali ketika suhu dan kelembaban keluar dari batas ideal. Hal ini menunjukkan sistem mampu beradaptasi terhadap kondisi luar ruangan.



Gambar 16. Grafik pengujian

Gambar 16 menunjukkan perbandingan suhu dan kelembaban antara lingkungan *indoor* dan *outdoor*. Suhu *indoor* tampak lebih stabil dibandingkan suhu *outdoor* yang mengalami fluktuasi. Kelembaban *outdoor* juga cenderung berubah-ubah lebih drastis dibandingkan kondisi *indoor*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* mampu menyesuaikan kinerja aktuator secara efektif untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembaban di dalam kandang.

Stabilitas ini penting dalam proses budidaya maggot, terutama pada fase imago, di mana suhu dan kelembaban berperan penting terhadap keberhasilan proses reproduksi lalat BSF. Dengan referensi suhu *outdoor* sebagai pembanding, sistem menunjukkan bahwa meskipun lingkungan luar mengalami perubahan yang cukup signifikan, suhu dan kelembaban dalam kandang tetap berada dalam rentang optimal. Selain itu, data ini juga memvalidasi bahwa sensor, mikrokontroler, dan logika *fuzzy* bekerja secara sinergis dalam menanggapi perubahan lingkungan secara adaptif dan real-time.



Gambar 17. Tampilan serial monitor

Gambar 17 menunjukkan keluaran sistem kendali suhu dan kelembaban berbasis logika *fuzzy* yang ditampilkan melalui Serial Monitor pada mikrokontroler ESP32. Sistem ini dirancang untuk merespons perubahan suhu dan kelembaban lingkungan secara otomatis dengan mengatur kecepatan kipas dan durasi kerja pompa air. Pada pengujian tersebut, sensor DHT22 mencatat suhu sebesar 28,60°C dan kelembaban 73,10%. Data ini kemudian diproses melalui tahapan *fuzzifikasi*, inferensi, dan *defuzzifikasi* menggunakan metode *fuzzy*. Berdasarkan hasil pengolahan logika *fuzzy*, sistem menentukan bahwa kecepatan kipas diatur melalui sinyal PWM sebesar 147, yang merepresentasikan tingkat kecepatan menengah pada skala 0–255. Sementara itu, pompa air diaktifkan selama 3 detik, yang dikategorikan dalam level "Sedang" berdasarkan rentang kelembaban yang telah ditetapkan dalam aturan *fuzzy*.

Setelah durasi kerja pompa tercapai, sistem secara otomatis mematikan pompa dan kembali melakukan pembacaan sensor untuk siklus kendali berikutnya. Informasi yang ditampilkan melalui *Serial Monitor*, seperti nilai PWM kipas, level pompa, dan status aktuator, menunjukkan bahwa sistem bekerja secara *real-time* dan responsif terhadap perubahan parameter lingkungan. Hal ini membuktikan bahwa logika *fuzzy* mampu memberikan pengendalian yang adaptif dan halus terhadap aktuator untuk menjaga kondisi lingkungan tetap berada dalam rentang optimal.

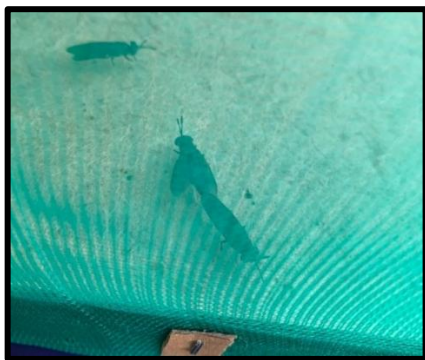
Untuk melengkapi pengujian sistem yang telah dilakukan, dokumentasi visual digunakan sebagai bukti keberhasilan penerapan sistem kendali lingkungan pada kandang maggot fase imago. Dokumentasi ini mencakup kondisi aktual di dalam kandang serta aktivitas lalat *Black Soldier Fly* (BSF) yang menunjukkan bahwa lingkungan telah mendukung proses reproduksi secara optimal.

Gambar 18 berikut memberikan gambaran langsung terhadap performa sistem dalam menjaga kestabilan kondisi kandang.



Gambar 18. Kondisi lalat dikandang

Gambar 18 ini menunjukkan kandang maggot *fase imago* yang ditempatkan di luar ruangan, tepatnya di balkon atau sisi bangunan. Kandang dirancang dengan kerangka kotak tertutup jaring halus berwarna hijau untuk mencegah lalat keluar serta menjaga sirkulasi udara. Terlihat banyak lalat *Black Soldier Fly* (BSF) yang aktif di dalam kandang, menandakan bahwa kondisi lingkungan mendukung proses reproduksi. Elemen di bagian tengah kandang tampak berupa media atau tempat bertelur.



Gambar 19. Lalat BSF kawin

Gambar 19 ini memperlihatkan dua ekor lalat BSF sedang melakukan perkawinan di bagian dalam jaring kandang. Aktivitas kawin ini menunjukkan bahwa *fase imago* berlangsung secara aktif dan berhasil, yang merupakan indikasi bahwa

suhu, kelembaban, serta pencahayaan berada dalam kondisi yang sesuai untuk perkembangan siklus hidup BSF.

Kedua gambar ini memberikan bukti visual bahwa sistem monitoring dan pengendalian berbasis *fuzzy* yang diterapkan dalam penelitian mendukung terciptanya lingkungan ideal bagi proses reproduksi lalat BSF.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kendali dan monitoring kandang maggot *fase imago* berbasis *fuzzy logic*, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem berbasis ESP32 dengan sensor DHT22 berhasil memantau suhu dan kelembaban secara real-time, serta mengontrol aktuator (kipas dan pompa air) secara otomatis menggunakan logika *fuzzy*.
2. Logika *fuzzy* memberikan pengambilan keputusan yang lebih fleksibel dan responsif terhadap perubahan suhu dan kelembaban lingkungan.
3. Sistem mampu menjaga kestabilan suhu antara 26–31°C dan kelembaban antara 65–80%, yang sesuai dengan kondisi ideal *fase imago* lalat BSF.

Saran untuk Penelitian Selanjutnya agar lebih baik kedepannya.

1. Perlu ditambahkan fitur alarm atau notifikasi ketika terjadi kondisi ekstrem (di luar batas *fuzzy*) sebagai sistem peringatan dini.
2. Dapat dikembangkan sistem kontrol berbasis kecerdasan buatan (AI) seperti *machine learning* untuk prediksi otomatis.
3. Penambahan sensor CO₂ atau kualitas udara untuk menjaga kondisi lingkungan lebih optimal.
4. Penggunaan sumber energi alternatif seperti panel surya agar sistem lebih mandiri dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan arahan, jurnal Metrotech sebagai referensi ilmiah yang mendukung, serta teman-teman yang telah membantu dalam proses penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut.

REFERENSI

- [1] I. Harlim, M. H. H. Ichsan, and E. Setiawan, "Implementasi *Fuzzy Logic* Mamdani pada Sistem Monitoring dan Kontrol Kandang Maggot BSF," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 6, pp. 2687–2695, 2022.
- [2] N. Wijaya, E. W. Sinuraya, and E. Handoyo, "Perancangan Aplikasi Mobile Dan Database Pada Sistem Otomasi Budidaya Maggot Berbasis Internet of Things," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 92–101, 2023, doi: 10.14710/transient.v12i3.92-101.
- [3] U. S. Hakiem, R. A. Salam, and F. Budiman, "Controlling Dan Monitoring Suhu Dan Kelembaban Tempat Budidaya Maggot Menggunakan Sensor DHT-22 Berbasis *IOT* Controlling And Monitoring Of Maggot Cultivation Temperature And Humidity Using *IOT*-Based DHT-22 Sensor," *e-Proceeding Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 64–72, 2023.
- [4] "Implementasi Dan Monitoring Sistem Pendayaan Listrik Mandiri Berbasis *Iot* Pada Rumah Maggot (Implementation And Monitoring Of *Iot*-Based Self Electricity Power System At Maggot House)," vol. 10, no. 1, pp. 52–57, 2023.
- [5] Y. Muhammad, "Desain Sistem Monitoring Pengolahan Sampah Organik Maggot Berbasis Internet of Things," vol. 11, no. 4, pp. 2469–2474, 2024.
- [6] S. Widyastuti and Sardin, "pengolahhan sampah Pasar dengan Menggunakan Media Larva Black Soldier Flies (BSF)," *J. Tek. Unipa*, vol. 19, no. 1, pp. 1–13, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/waktu/issue/view/321>
- [7] Tim Energi dan Pengelolaan Limbah, "Budidaya lalat hitam/*Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) untuk biokonversi limbah organik," *Pandu. Prakt. Budid.*, no. 0274, pp. 1–15, 2023.
- [8] S. Herlinda and J. M. Sari Puspita, "Sustainable urban farming : Budidaya lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*) untuk menghasilkan pupuk , dan pakan ikan dan unggas," *Pros. Semin. Nas. Lahan Suboptimal*, vol. 1, pp. 27–37, 2021.
- [9] D. Yulizar, S. Soekirno, N. Ananda, M. A. Prabowo, I. F. P. Perdana, and D. Aofany, *Performance Analysis Comparison of DHT11, DHT22 and DS18B20 as Temperature Measurement*, vol. 1. Atlantis Press International BV, 2023. doi: 10.2991/978-94-6463-232-3_5.
- [10] D. Widyawati and A. Ambarwari, "*Fuzzy Logic* Design to Control the Duration of Irrigation Time in the Greenhouse," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1012, p. 12086, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1012/1/012086.