

Sistem Kontrol Kelembapan Otomatis Berbasis Arduino pada Terrarium *Tropidolaemus* sp dengan Metode Logika Fuzzy Mamdani

Ahmad Syawal Fadillah^{*1}, Dewi Lestari², Ketut Bayu Yoghya Bintoro³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains, Teknik dan Desain, Universitas Trilogi, Kalibata, Jakarta, Indonesia

Email: ¹ahmad.syawal@trilogi.ac.id, ²dewy24@trilogi.ac.id, ³ketutbayu@trilogi.ac.id

Abstrak

Tropidolaemus sp. merupakan spesies ular pohon berbisa yang membutuhkan kelembapan lingkungan yang stabil untuk menjaga kesehatan dan fungsi fisiologisnya. Pengaturan kelembapan secara manual dalam penangkaran sering kali tidak mampu menjaga kondisi ideal, sehingga diperlukan sistem otomatis yang mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengatur kelembapan otomatis berbasis fuzzy logic Mamdani menggunakan sensor DHT11, pompa, dan kipas sebagai aktuator. Pengujian dilakukan untuk membandingkan performa sistem dengan dan tanpa penerapan fuzzy logic. Data kelembapan dikumpulkan setiap 1, 3, dan 5 menit selama 30 menit. Penurunan error tercatat sebesar 76,8%, 66,7%, dan 64,6% secara berturut-turut dari variasi pertama hingga ketiga, menunjukkan kemampuan fuzzy logic dalam merespons perubahan lingkungan dengan lebih presisi. Nilai rata-rata error dari ketiga pengujian fuzzy logic Mamdani ini adalah 0,92%. Selain itu, akurasi sistem juga meningkat pada setiap variasi, yaitu 99,03% pada pengujian pertama, 99,14% pada pengujian kedua, dan 99,08% pada pengujian ketiga, dengan rata-rata akurasi sebesar 99,08% dengan rata-rata peningkatan sekitar 2 poin persen pada ketiga pengujian. Keunggulan ini menunjukkan bahwa logika fuzzy Mamdani mampu memberikan kontrol yang lebih presisi dan responsif terhadap kondisi lingkungan.

Kata kunci: Arduino, Kelembapan Otomatis, Logika Fuzzy, Mamdani, *Tropidolaemus* sp.

Arduino Based Automatic Humidity Control System in *Tropidolaemus* SP Terrarium Using Fuzzy Logic Mamdani Method

Abstract

Tropidolaemus sp., a genus of venomous pit vipers, requires stable environmental humidity to maintain its health and physiological functions. Manual humidity regulation in captive environments often fails to sustain these ideal conditions, necessitating an automated system capable of adapting to environmental changes. This research details the design and implementation of an automated humidity control system based on a Mamdani fuzzy logic model, which uses a DHT11 sensor for input and a pump and fan as actuators. The study was conducted to compare the system's performance with and without the fuzzy logic controller. In three separate trials, humidity data were collected over 30-minute periods at intervals of 1, 3, and 5 minutes. The application of fuzzy logic achieved significant error reductions of 76.8%, 66.7%, and 64.6% across the three respective trials, demonstrating its ability to respond to environmental changes with high precision. The average error rate across the three fuzzy logic tests was only 0.92%. Furthermore, the system's accuracy also increased in each trial, reaching 99.03% in the first, 99.14% in the second, and 99.08% in the third. This resulted in an average system accuracy of 99.08%, an average improvement of approximately two percentage points across the tests. These results confirm that the Mamdani fuzzy logic model delivers more precise and responsive control of environmental conditions.

Keywords: Arduino, Automatic Humidity, Fuzzy Logic, Mamdani, *Tropidolaemus* sp.

1. PENDAHULUAN

Tropidolaemus sp. merupakan ular pohon berbisa dari subfamili Crotalinae yang hidup di hutan hujan tropis Asia Tenggara seperti Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Filipina. Ular ini dikenal karena warna tubuhnya yang mencolok dan menarik minat para kolektor reptil. Sebagai hewan berdarah dingin yang suhu tubuhnya tidak konstan dan mengikuti suhu lingkungan sekitarnya (poikiloterm), *Tropidolaemus* sp. sangat bergantung pada

kelembapan lingkungan untuk mempertahankan fungsi tubuhnya seperti metabolisme, pernapasan, dan proses pergantian kulit. Pemeliharaan ular ini di penangkaran membutuhkan lingkungan buatan yang stabil dan menyerupai habitat aslinya. Habitat aslinya meliputi hutan dataran rendah hingga ketinggian 900 meter di atas permukaan laut dengan kelembapan tinggi dan vegetasi yang lebat. Hingga saat ini, belum ditemukan jurnal ilmiah yang secara spesifik membahas kebutuhan kelembapan ideal bagi spesies *Tropidolaemus* sp. Namun, mengingat ular ini berasal dari habitat hutan hujan tropis di Asia Tenggara yang dikenal memiliki kelembapan tinggi sepanjang tahun, maka acuan kebutuhan kelembapan dapat merujuk pada penelitian yang membahas ular-ular tropis secara umum. Berdasarkan hasil penelitian oleh Jesus et al. [1], menunjukkan bahwa aktivitas ular di hutan hujan tropis sangat dipengaruhi oleh kelembapan relatif, dengan tingkat aktivitas tertinggi terjadi saat kelembapan berada pada kisaran tinggi, yaitu di atas 70%. Oleh karena itu, rentang kelembapan 70%–85% dianggap relevan dan sesuai untuk mendukung aktivitas fisiologis *Tropidolaemus* sp. seperti proses pergantian kulit, metabolisme, dan pernapasan.

Dalam lingkungan penangkaran, pengaturan kelembaban umumnya masih dilakukan secara manual yang seringkali tidak stabil dan tidak efisien. Penelitian yang dilakukan veteriner, seperti Veterinary Information Network (VIN), Veterinary Practice News, DVM360, Animal Veterinary Hospital of Orlando (AVHO) serta PetMD, secara konsisten menyebutkan bahwa kelembapan lingkungan yang tidak sesuai atau rendah adalah faktor utama dan umum yang menyebabkan dysecdysis pada ular. Selain itu ketidakstabilan kelembapan dapat menyebabkan stres, infeksi kulit, dan gangguan pernafasan pada *Tropidolaemus* sp. Selain itu, Spesies ini juga memiliki nilai ekonomi dan konservasi yang tinggi, sehingga diperlukan sistem pemeliharaan yang lebih adaptif dan tepat [2]. Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa kontrol otomatis kelembapan dapat diterapkan secara efektif dalam inkubator, kandang, maupun sistem tertutup lainnya. seperti pada sistem pemeliharaan Bearded Dragon berbasis IoT [3], serta pengendalian suhu dan kelembapan pada kandang maggot BSF menggunakan fuzzy Mamdani [4].

Seiring berkembangnya teknologi di bidang otomasi, logika fuzzy semakin banyak diterapkan untuk mengontrol kondisi lingkungan berskala kecil, seperti pada inkubator dan kandang ternak [5], [6]. Misalnya, penggunaan logika fuzzy Mamdani pada sistem pemantauan suhu dan kelembapan inkubator telur menunjukkan efektivitas kontrol otomatis yang tinggi, begitu pula dalam sistem mikroklimat untuk ruangan dan lingkungan rumah kaca [7]. Pendekatan ini dinilai sesuai karena mampu menangani data yang bersifat tidak pasti dan perubahan kondisi yang tidak menentu [8]. Logika fuzzy memungkinkan sistem mengambil keputusan secara fleksibel, menyerupai cara berpikir manusia melalui aturan-aturan berbasis Bahasa [9]. Di antara berbagai metode fuzzy yang ada, pendekatan Mamdani menjadi pilihan yang populer karena strukturnya yang sederhana namun cukup andal dalam mengatur sistem kendali otomatis [10].

Meskipun telah banyak penelitian yang membahas sistem kontrol suhu dan kelembapan otomatis pada lingkungan buatan seperti inkubator, rumah kaca, dan akuarium menggunakan fuzzy logic Mamdani [11], sebagian besar difokuskan pada tanaman, ternak, atau ruang bayi. Penelitian-penelitian tersebut belum secara spesifik menerapkan sistem otomatis berbasis fuzzy logic pada lingkungan pemeliharaan reptil eksotik, khususnya *Tropidolaemus* sp. Selain itu, masih jarang yang mengkaji performa sistem dari sisi perbandingan antara metode manual dan otomatis menggunakan fuzzy logic dalam konteks pengaturan kelembapan secara real-time. Oleh karena itu, penelitian ini menghadirkan pendekatan yang lebih spesifik dan aplikatif terhadap kebutuhan pemeliharaan reptil eksotik, dengan mengintegrasikan sensor DHT11, aktuator misting dan kipas, serta metode fuzzy logic Mamdani untuk menjaga kelembapan dalam rentang ideal.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah prototipe sistem otomatis pengatur kelembapan pada terrarium *Tropidolaemus* sp. Sistem ini menggunakan sensor DHT11 untuk memantau kelembapan secara real-time, serta mengaktifkan perangkat misting untuk meningkatkan kelembapan dan kipas sebagai pendingin apabila kelembapan melebihi batas ideal. Untuk menentukan keputusan pengaturan secara otomatis, digunakan metode logika fuzzy Mamdani karena metode ini mampu mengakomodasi ketidakpastian data dari sensor serta mudah diterapkan dalam sistem berbasis mikrokontroler. Dengan pendekatan ini, sistem dapat beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dan menjaga kelembapan pada rentang yang sesuai dengan kebutuhan biologis *Tropidolaemus* sp. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem otomatis pengatur kelembapan pada terrarium *Tropidolaemus* sp. menggunakan metode fuzzy logic Mamdani, serta mengevaluasi performanya dibandingkan sistem manual. Diharapkan rancangan alat ini tidak hanya meningkatkan efektivitas pemeliharaan ular di lingkungan buatan, tetapi juga menjadi kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi konservasi reptil serta mendukung kegiatan pendidikan dan penelitian di bidang herpetologi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja sistem yang telah ada dengan mengoptimalkan penggunaan logika fuzzy dalam terrarium. Fokus utamanya adalah merancang sistem kontrol yang lebih efektif dan efisien melalui pengembangan teknologi berbasis logika fuzzy.

2.1 Gambaran Umum Sistem

2.1.1 Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras yang digunakan untuk membuat sistem kontrol kelembapan terrarium *Tropidolaemus sp.* dengan penggunaan logika fuzzy mamdani berbasis Arduino yaitu sebagai berikut.

Table 1. Perangkat Keras

| No | Nama Alat | Jumlah |
|-----|--|--------|
| 1. | Laptop | 1 buah |
| 2. | ESP8266 & NodeMCU | 1 buah |
| 3. | DHT11 | 1 buah |
| 4. | Relay 2 channel | 1 buah |
| 5. | Kabel USB | 1 buah |
| 6. | Botol Plastik | 1 buah |
| 7. | Adaptor DC 12V 10A | 1 buah |
| 8. | Terrarium GEX 40 cm x 25,5 cm, x 28 cm | 1 buah |
| 9. | Selang | 1 buah |
| 10. | Kipas DC 12V | 1 buah |
| 11. | Pompa DC 12V | 1 buah |
| 12. | Kabel Jumper | 1 buah |
| 13. | Sprinkle | 1 buah |
| 14. | Box Container | 1 buah |
| 15. | LCD 16x2 | 1 buah |

2.1.2 Perangkat Lunak (Software)

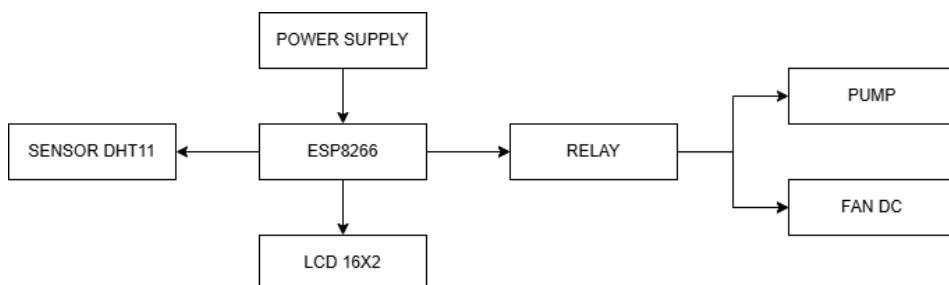
Berikut penggunaan perangkat lunak pada penelitian ini, yaitu:

Table 2. Perangkat Lunak

| No | Nama Perangkat Lunak |
|----|----------------------|
| 1. | Arduino IDE |
| 2. | Thingspeak |
| 3. | Matlab |

2.2 Cara Kerja

Dalam membuat sistem pemantau kelembapan pada terrarium *Tropidolaemus sp.* menggunakan logika fuzzy mamdani, berikut cara kerjanya:



Gambar 1. Blok diagram sistem kontrol kelembaban terrarium *Tropidolaemus sp.*

Pada tahap perencanaan, dilakukan penggambaran diagram blok terlebih dahulu sebelum merangkai. Pada tahap ini akan dilakukan penyesuaian dengan diagram blok sistem pemantau kelembapan terrarium *Tropidolaemus* sp. yang ditunjukkan pada Gambar 1.

2.2.1 Analisa Kebutuhan

1. Analisis Kebutuhan Masukan (Input)

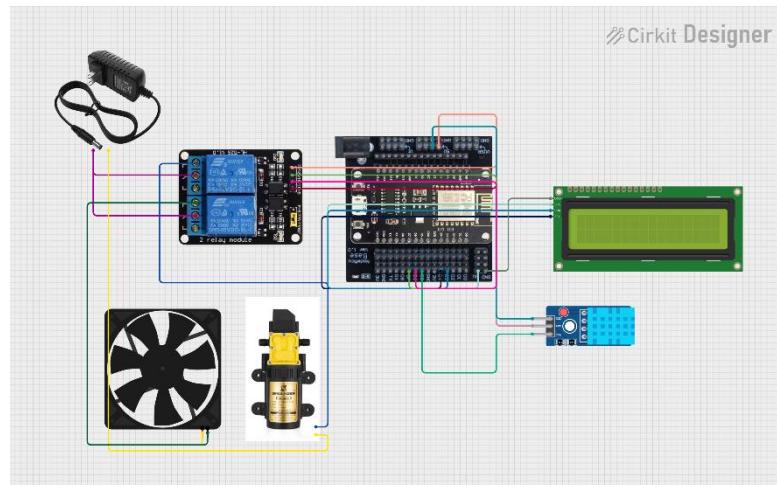
Dalam analisis kebutuhan, tahapan masukan melibatkan kegiatan menguraikan informasi menjadi komponen untuk perancangan sebuah sistem sesuai rencana yang dibangun. Adapun kebutuhan masukan yang dimasukkan berupa informasi data kelembapan terrarium yang diperoleh dari sensor DHT11.

2. Analisis Kebutuhan Keluaran (Output)

Pada tahap ini, analisis kebutuhan keluaran yang dilakukan memberikan keputusan untuk mengaktifkan pompa air yang disalurkan ke sprinkle yang mengeluarkan kabut halus serta mengaktifkan kipas sesuai dengan data masukan kelembapan yang ada.

2.3 Perancangan Sistem

Terrarium yang digunakan menggunakan terrarium GEX dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 25,5 cm, dan tinggi 28 cm. Pada terrarium bagian dalam terdapat sensor DHT11 yang ditempelkan/diletakkan pada akrilik, lalu terdapat sprinkle untuk menghasilkan kabut air yang halus dan juga menjaga kelembapan kandang, dan kipas untuk menstabilkan kelembapan pada terrarium.



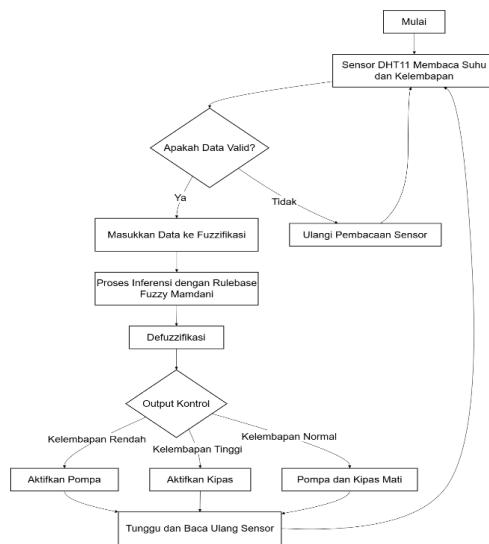
Gambar 2. Desain skematik sistem kontrol kelembaban otomatis.

Gambar 2 menunjukkan skematik perancangan, perancangan hardware terdiri dari sensor DHT11, mikrokontroler ESP8266 dan NodeMCU, relay, pompa air dan sprinkle, kipas, dan LCD 16x 2 yang dihubungkan dengan baik sehingga membentuk sebuah sistem yang dapat bekerja dengan fungsinya. Lalu pada tahap ini, sistem yang akan dirancang yaitu sistem kontrol pada terrarium *Tropidolaemus* sp. dengan menggunakan sensor DHT11, mikrokontroler ESP8266 dan NodeMCU, relay, PompaDC, sprinkle, kipas, LCD 16x2, dan thingspeak. Sensor DHT11 berfungsi sebagai input untuk mendeteksi kelembapan. Mikrokontroler ESP8266 dan NodeMCU sebagai tempat pengolahan data input menggunakan metode fuzzy logic, hasil output fuzzy berfungsi untuk mengaktifkan kipas dan pompa air juga sprinkle yang dikontrol menggunakan relay. Relay berfungsi untuk mengaktifkan pompa air dan kipas sesuai output fuzzy. Pompa air untuk memompa air pada botol yang akan dialirkan ke sprinkle. Sprinkle berfungsi untuk menaikkan kelembapan pada terrarium tropidolaemus sp. kipas berfungsi untuk menstabilkan kelembapan apabila kelembapan sudah melebihi batas. LCD 16x2 berfungsi sebagai live monitor. Thingspeak berfungsi sebagai monitoring secara realtime.

Pengujian dilakukan dalam dua skenario, yaitu tanpa fuzzy logic dan dengan fuzzy logic Mamdani. Masing-masing skenario dilakukan selama 30 menit, dengan tiga variasi interval pencatatan data: setiap 10 detik, 20 detik, dan 30 detik. Kondisi awal kelembapan diukur pada titik normal lingkungan kamar yaitu 65–70%. Target kelembapan yang diharapkan berkisar antara 70–85% sesuai kebutuhan biologis *Tropidolaemus* sp. Setiap variasi dilakukan satu kali pengujian untuk setiap skenario. Parameter uji yang diamati antara lain: nilai kelembapan aktual, deviasi terhadap target kelembapan, serta akurasi sistem dalam mempertahankan kondisi ideal.

2.3.1 Flowchart

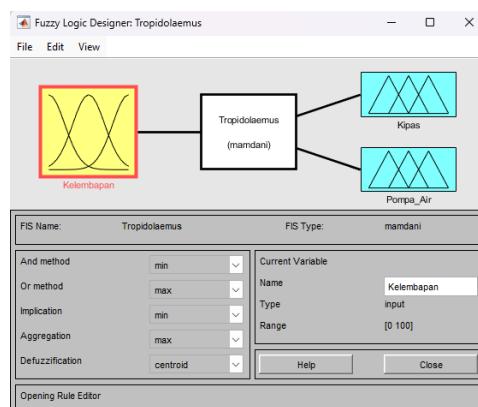
Setelah perancangan perangkat keras selesai, tahap selanjutnya adalah perancangan perangkat lunak. Flowchart sistem digambarkan untuk menjelaskan alur kerja dari pembacaan sensor hingga aktuator bekerja. Sistem dimulai dengan proses inisialisasi sensor DHT11, dilanjutkan dengan pembacaan kelembapan. Nilai ini kemudian difuzzifikasi menjadi nilai linguistik (rendah, optimal, tinggi), diproses melalui rule base, dan hasilnya didefuzzifikasi menjadi aksi (ON/OFF). Relay mengaktifkan pompa atau kipas berdasarkan keputusan akhir dari sistem fuzzy.



Gambar 3. Blok diagram sistem logika fuzzy

Nilai ini kemudian diproses dalam tahap fuzzifikasi, yaitu konversi nilai numerik kelembapan ke dalam bentuk linguistik, seperti “rendah”, “sedang”, atau “tinggi”, sesuai dengan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya, sistem melakukan proses inferensi, yaitu penarikan keputusan berdasarkan kumpulan aturan fuzzy (rule base) yang dirancang untuk mencerminkan kondisi ideal kelembapan bagi *Tropidolaemus sp*. Hasil dari inferensi berupa output fuzzy kemudian diproses melalui tahap defuzzifikasi untuk mengubah nilai linguistik menjadi nilai numerik atau crisp value yang dapat dimanfaatkan untuk mengatur aktuator. Sebelum aktuator dijalankan, sistem mengevaluasi apakah nilai hasil defuzzifikasi tersebut sudah sesuai untuk mengaktifkan perangkat kontrol. Jika belum, maka sistem akan kembali membaca input kelembapan dan mengulang proses sebelumnya. Namun jika nilai tersebut valid, maka sistem akan mengaktifkan relay yang menghubungkan pompa dan kipas ke sumber daya. Aktuator akan menyala dalam durasi tertentu sesuai dengan hasil keluaran sistem fuzzy, lalu sistem kembali ke awal untuk terus memantau kondisi secara berkala.

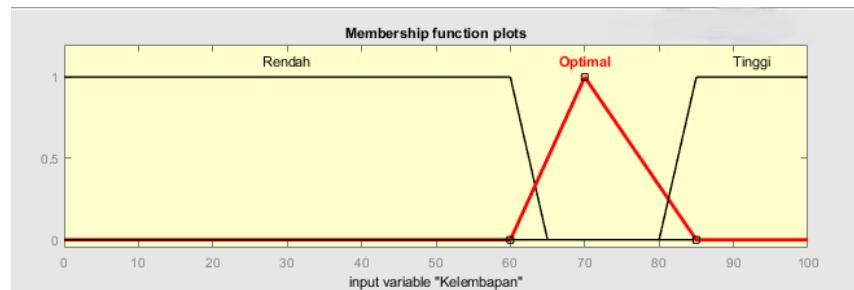
2.3.2 Fuzzyfikasi



Gambar 4. Desain sistem logika fuzzy Mamdani

Fuzzifikasi adalah proses mengubah nilai crisp input menjadi fuzzy input. Pada tahap fuzzifikasi, variabel input memiliki nilai linguistik. Variabel input pada penelitian ini adalah kelembaban. Variabel kelembaban memiliki tiga nilai linguistik yaitu rendah, optimal, dan tinggi. Membership Function output pompa air dan kipas terdiri dari 2 himpunan fuzzy, yaitu ON dan OFF.

Perancangan pada himpunan fuzzy Kelembaban memiliki range 70 % sampai 85%, penentuan batas ini berdasarkan jurnal sebelumnya yang dijadikan acuan. Keanggotaan fuzzy kelembaban ditunjukkan pada Gambar 5 yang menampilkan himpunan input variabel kelembaban yang memiliki 3 nilai linguistik yaitu rendah, optimal, dan tinggi.



Gambar 5. Membership function input Kelembapan

Keanggotaan fuzzy kelembaban memiliki persamaan sebagai berikut:

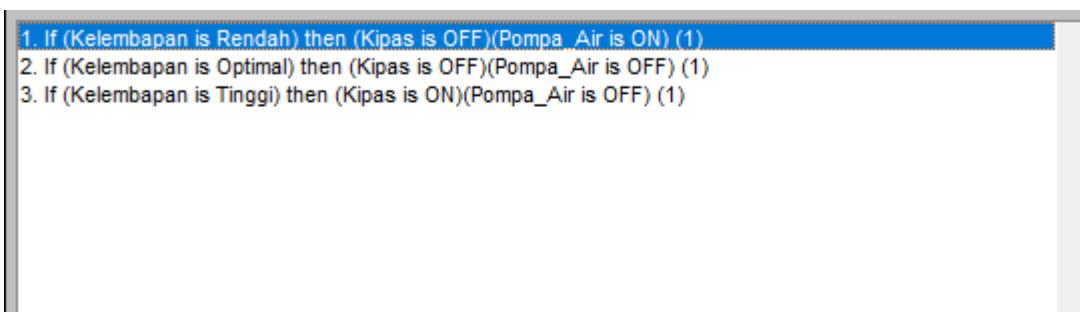
$$\mu_{Kering}(x) = \begin{cases} \frac{1}{70-x} & \text{jika } x \leq 60 \\ \frac{70-60}{70-x} & \text{jika } 60 < x < 70 \\ 0 & \text{jika } x \geq 70 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Optimal}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 60 \text{ atau } x \geq 85 \\ \frac{x-60}{70-60} & \text{jika } 60 < x \leq 70 \\ \frac{85-x}{85-70} & \text{jika } 70 < x < 85 \\ 1 & \text{jika } x = 70 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 70 \\ \frac{x-70}{85-70} & \text{jika } 70 < x < 85 \\ 1 & \text{jika } x \geq 85 \end{cases} \quad (3)$$

2.3.3 Inference (Rule Base)

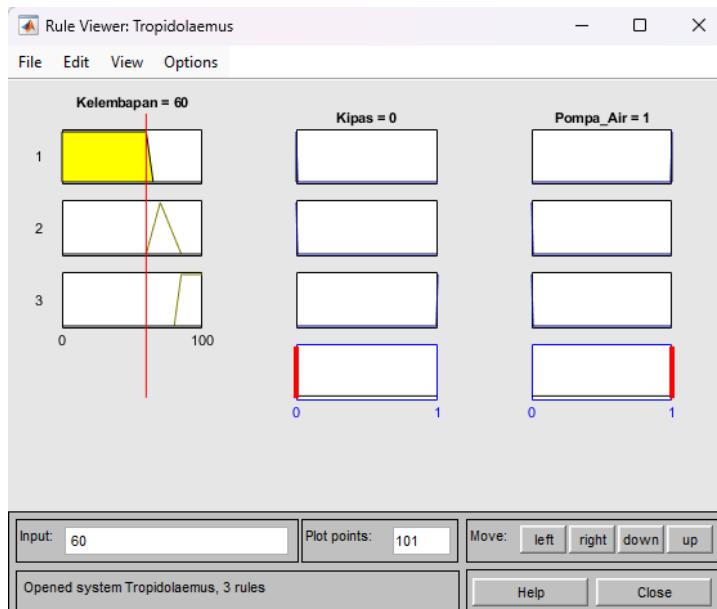
Setelah input dan output dibuat, maka suatu aturan atau rule yang akan menghasilkan keputusan dari fuzzy logic. Pada dasarnya rule ini adalah sebuah rule if-and-then yang mudah dimengerti, proses selanjutnya adalah penentuan fungsi implikasi. Setiap aturan fuzzy di dalam basis aturan biasanya berbentuk "JIKA kondisi, MAKA aksi". di mana aturan-aturan ini membantu sistem mengambil tindakan berdasarkan situasi yang kabur atau tidak pasti. Berikut terlihat pada gambar 6 merupakan rules fuzzy.



Gambar 6. Rules logika fuzzy

2.3.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam sistem logika fuzzy Mamdani yang berfungsi untuk mengubah hasil keluaran fuzzy berbentuk linguistik menjadi keputusan yang dapat dijalankan oleh sistem. Hasil defuzzifikasi tidak digunakan untuk menghitung nilai durasi, melainkan untuk menentukan aksi sederhana berupa menyalakan atau mematikan pompa air dan kipas. Hasil akhirnya tidak berupa angka, melainkan langsung dipetakan menjadi perintah ON atau OFF berdasarkan aturan yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan cara ini, sistem dapat mengambil keputusan secara otomatis sesuai dengan kondisi kelembapan di dalam terrarium, tanpa perlu intervensi manual.



Gambar 7. Defuzzifikasi Kelembapan

Pada Gambar 7 merupakan hasil dari perhitungan oleh software dan didapatkan jika set point kelembapan 60% maka kipas mendapat nilai 0 artinya OFF dan pompa air mendapat nilai 1 artinya ON.

Data hasil pengujian diolah secara statistik menggunakan metode perhitungan rata-rata error dan akurasi. Error dihitung dengan rumus:

$$Error = \left| \frac{Kelembapan\ Aktual - Target}{Target} \right| \times 100 \quad (4)$$

Nilai akurasi diperoleh dari:

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (5)$$

Hasil perhitungan dari setiap variasi uji kemudian dibandingkan untuk menunjukkan performa sistem fuzzy dibanding sistem manual.

Keterangan:

- Kelembapan Aktual: nilai pembacaan sensor DHT11 saat pengujian (dalam satuan %RH)
- Target: nilai kelembapan ideal yang ditetapkan sebesar 75%RH
- Error: besar deviasi relatif dari target (dalam satuan %)
- Akurasi: tingkat keberhasilan sistem dalam mempertahankan kelembapan optimal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

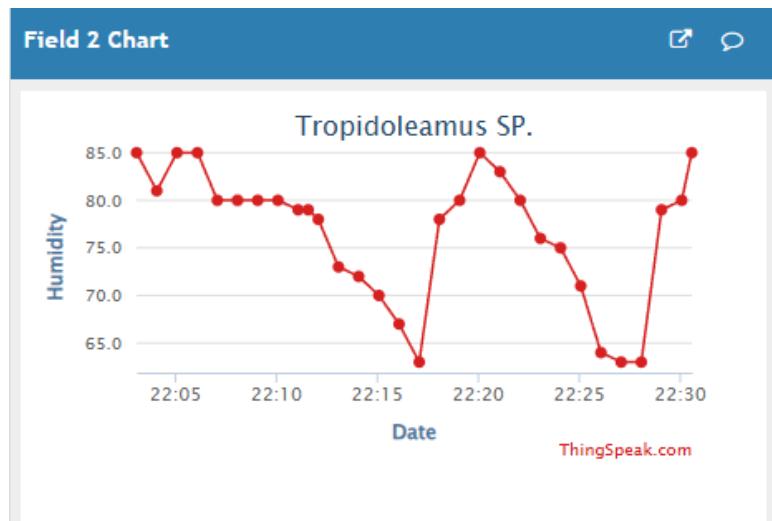
Perangkat keras diintegrasikan pada NodeMCU ESP8266 dan komponen lain yang telah dijelaskan sebelumnya, menggunakan beberapa komponen lain seperti sensor DHT11, pompa air dan sprinkle, fan dc, dan layar OLED. Semua data input dan output diproses pada ESP8266 & NodeMCU, yang berfungsi sebagai komponen utama sistem. Gambar berikut ini menunjukkan serangkaian komponen perangkat keras sistem gabungan.

3.1. Implementasi Alat

Terlihat pada gambar 8 yaitu implementasi alat ke terrarium, prinsip kerja alat ini diawali dengan menggunakan adaptor 12 Volt sebagai sumber listriknya. Sistem bekerja dengan menggunakan sensor DHT11 yang mendeteksi nilai kelembaban udara yang diujikan di dalam terarium. Hasil pembacaan nilai sensor tersebut kemudian ditampilkan pada layar OLED dan dapat dilihat di thingspeak seperti Gambar 9.



Gambar 8. Implementasi sistem kontrol kelembapan otomatis di *terrarium Tropidolaemus sp.*



Gambar 9. Tampilan pada thingspeak

3.2. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui performa alat pengatur kelembapan otomatis pada terrarium *Tropidolaemus sp.*, baik saat menggunakan metode fuzzy logic Mamdani maupun saat menggunakan metode konvensional (tanpa fuzzy). Pengujian dilakukan dengan 3 variasi pencatatan data pada masing-masing metode dengan target kelembapan yang sudah ditentukan yaitu 75%. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mencari dan membandingkan efektivitas dan kestabilan sistem dalam menjaga kelembapan pada rentang optimal yang dibutuhkan oleh *Tropidolaemus sp.*, yaitu antara 70% hingga 85%. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sensor DHT11 sebagai pemantau kelembapan secara real-time. Aktuator yang digunakan meliputi pompa air dan kipas. Pengujian Alat dilakukan selama 30 menit pada masing-masing pengujian (tanpa dan dengan fuzzy) dengan pencatatan data kelembapan setiap satu, tiga, dan lima menit.

Pada mode manual (tanpa fuzzy), sistem dikendalikan dengan logika threshold sederhana: pompa air menyala saat kelembapan $< 70\%$, dan mati saat $\geq 70\%$; kipas menyala saat kelembapan $> 85\%$. Mode ini tidak mempertimbangkan perubahan bertahap atau tren nilai sensor. Sementara itu, pada mode otomatis berbasis fuzzy logic Mamdani, sistem mengatur ON-OFF pompa air dan kipas berdasarkan rulebase yang telah ditentukan, dengan mempertimbangkan kondisi kelembapan menggunakan logika linguistik. Data hasil pengujian dari masing-masing mode akan digunakan untuk mengevaluasi respons sistem terhadap perubahan kelembapan. Pengujian ini juga bertujuan untuk menilai apakah sistem berbasis fuzzy logic lebih efisien dan stabil dibandingkan pengaturan manual dalam menjaga kondisi lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan *Tropidolaemus sp.*

Untuk menentukan nilai error pada masing-masing pengujian tersebut dapat dihasilkan dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Error (\%)} = \frac{(\text{Kelembapan Terdeteksi} - \text{Target Kelembapan})}{\text{Target Kelembapan}} \times 100\% \quad (6)$$

Untuk menentukan nilai rata-rata dapat dihasilkan dengan persamaan berikut:

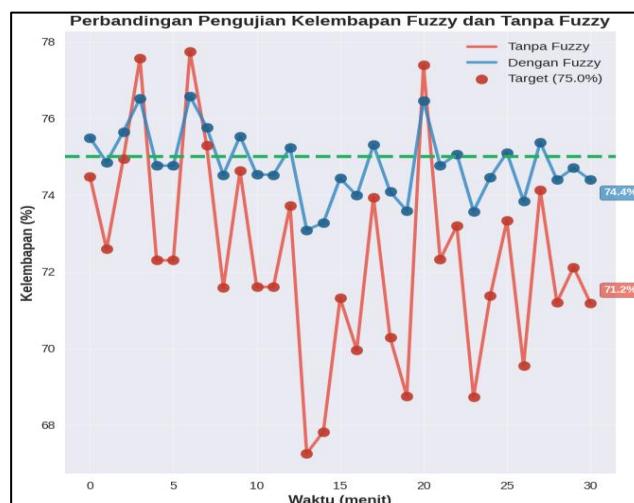
$$\text{Rata - rata (\%)} = \frac{\text{Jumlah kesalahan}}{\text{Banyak pengujian}} \times 100\% \quad (7)$$

Untuk menentukan Ketepatan akurasi dapat dihasilkan dengan persamaan berikut:

$$\text{Ketepatan akurasi} = 100\% - \text{Presentase rata - rata} \quad (8)$$

3.2.1 Grafik Perbandingan Pengujian

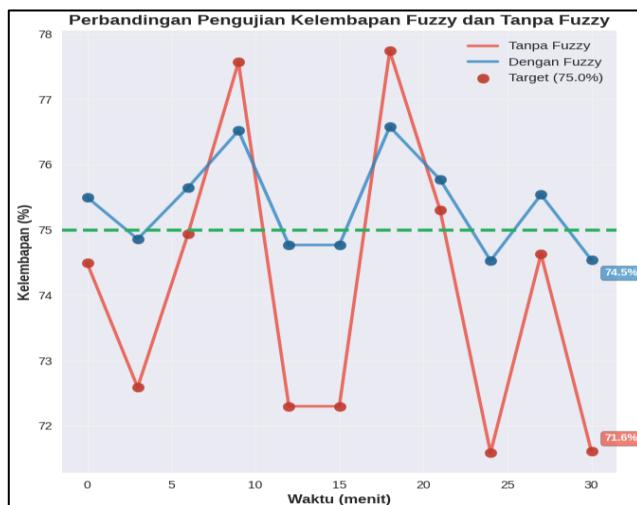
Pengujian pertama interval 1 menit dengan lama pengujian 30 menit.



Gambar 10. Grafik Perbandingan sistem fuzzy dan non-fuzzy pada interval 1 menit

Pada Gambar 10 terdapat grafik perbandingan pengujian dengan pencatatan data setiap 1 menit, Visualisasi grafis memperlihatkan bahwa sistem dengan logika fuzzy (kurva biru) berhasil menjaga tingkat kelembapan jauh lebih stabil dan sangat dekat dengan target 75% (garis hijau), sementara sistem tanpa fuzzy (kurva merah) menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dan penyimpangan yang lebih jauh dari target. Sistem fuzzy menunjukkan stabilitas yang jauh lebih baik, dengan rentang fluktuasi kelembapan yang lebih sempit (minimum 73,09% dan maksimum 76,58%). Berdasarkan hasil analisis statistik perbandingan antara sistem tanpa fuzzy dan sistem dengan fuzzy logic Mamdani, terlihat bahwa penerapan fuzzy logic memberikan peningkatan performa yang signifikan. Rata-rata kelembapan yang dicapai oleh sistem dengan fuzzy lebih mendekati target (74,80%) dibandingkan sistem tanpa fuzzy (72,40%), dengan nilai error rata-rata yang jauh lebih rendah, yaitu 0,97% dibandingkan 4,16%. Hal ini menunjukkan penurunan error sebesar 76,8%. Selain itu, akurasi sistem juga mengalami peningkatan dari 95,84% menjadi 99,03%, atau naik sebesar 3,19 persen.

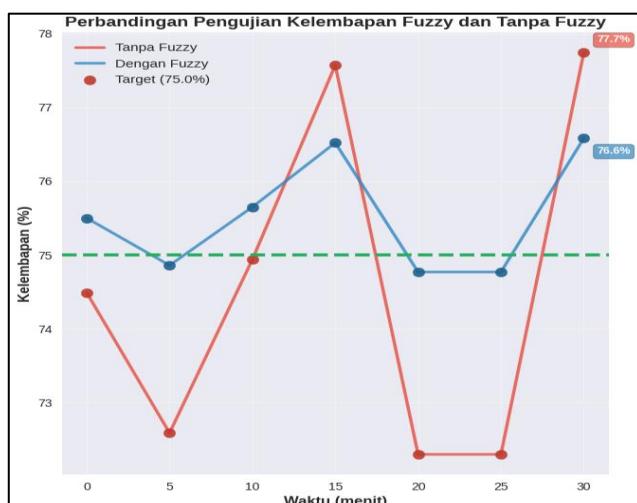
Pengujian kedua interval 3 menit, lama pengujian 30 menit.



Gambar 11. Grafik Perbandingan sistem fuzzy dan non-fuzzy pada interval 3 menit

Pada Gambar 11 terdapat grafik perbandingan pengujian dengan pencatatan data setiap 3 menit, Visualisasi grafis memperlihatkan bahwa sistem dengan logika fuzzy (kurva biru) berhasil menjaga tingkat kelembapan jauh lebih stabil dan sangat dekat dengan target 75% (garis hijau), sementara sistem tanpa fuzzy (kurva merah) menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dan penyimpangan yang lebih jauh dari target. Sistem fuzzy menunjukkan stabilitas yang jauh lebih baik, dengan rentang fluktuasi kelembapan yang lebih sempit (minimum 74.53% dan maksimum 76.58%). Berdasarkan hasil analisis statistik perbandingan antara sistem tanpa fuzzy dan sistem dengan fuzzy logic Mamdani, terlihat bahwa penerapan fuzzy logic memberikan peningkatan performa yang signifikan. Rata-rata kelembapan yang dicapai oleh sistem dengan fuzzy lebih mendekati target (75,37%) dibandingkan sistem tanpa fuzzy (74,10%), dengan nilai error rata-rata yang jauh lebih rendah, yaitu 0,86% dibandingkan 2,57%. Hal ini menunjukkan penurunan error sebesar 66,7%. Selain itu, akurasi sistem juga mengalami peningkatan dari 97,43% menjadi 99,14%, atau naik sebesar 1,71 persen.

Pengujian ketiga interval 5 menit, lama pengujian 30 menit.



Gambar 12. Grafik Perbandingan sistem fuzzy dan non-fuzzy pada interval 5 menit

Pada Gambar 12 terdapat grafik perbandingan pengujian dengan pencatatan data setiap 3 menit, Visualisasi grafis memperlihatkan bahwa sistem dengan logika fuzzy (kurva biru) berhasil menjaga tingkat kelembapan jauh lebih stabil dan sangat dekat dengan target 75% (garis hijau), sementara sistem tanpa fuzzy (kurva merah) menunjukkan fluktuasi yang lebih besar dan penyimpangan yang lebih jauh dari target. Sistem fuzzy menunjukkan stabilitas yang jauh lebih baik, dengan rentang fluktuasi kelembapan yang lebih sempit (minimum 74.77% dan maksimum 76.58%). Berdasarkan hasil analisis statistik perbandingan antara sistem tanpa fuzzy dan sistem dengan fuzzy logic Mamdani, terlihat bahwa penerapan fuzzy logic memberikan peningkatan performa yang signifikan. Rata-rata kelembapan yang dicapai oleh sistem dengan fuzzy lebih mendekati target (75,52%)

dibandingkan sistem tanpa fuzzy (74,56%), dengan nilai error rata-rata yang jauh lebih rendah, yaitu 0,92% dibandingkan 2,61%. Hal ini menunjukkan penurunan error sebesar 64,6%. Selain itu, akurasi sistem juga mengalami peningkatan dari 97,39% menjadi 99,08%, atau naik sebesar 1,69 persen.

3.3. Diskusi

Penerapan fuzzy logic Mamdani memberikan kontribusi signifikan terhadap kestabilan kelembapan dalam sistem kontrol otomatis. Metode ini mampu mempertimbangkan tingkat ketidakpastian nilai sensor dan mengambil keputusan berdasarkan aturan linguistik, bukan hanya nilai batas tetap seperti pada logika biner. Hal ini membuat sistem lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Secara matematis, fuzzy logic memungkinkan sistem memberikan output yang bersifat gradual (tidak langsung ON atau OFF), sehingga aktuator bekerja lebih responsif dan tidak terlalu sering berpindah kondisi.

Penelitian ini sejalan dengan studi oleh [5], yang menunjukkan efektivitas fuzzy logic dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembapan pada inkubator telur ayam. Studi lain oleh [7] juga menegaskan bahwa fuzzy control efektif dalam mempertahankan mikroklimat greenhouse. Perbandingan ini menunjukkan bahwa metode fuzzy logic Mamdani memiliki potensi luas untuk diterapkan pada sistem kontrol lingkungan mikro lainnya, seperti peternakan reptil, inkubator hewan, atau budidaya tanaman dalam ruang tertutup.

Dengan hasil yang diperoleh, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi otomatisasi lingkungan buatan, khususnya pada pemeliharaan satwa eksotik. Sistem yang dirancang tidak hanya mampu menjaga parameter kelembapan dengan lebih akurat, tetapi juga membuka peluang aplikasi serupa pada bidang konservasi dan pemeliharaan spesies sensitif lainnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dari ketiga variasi waktu pencatatan, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode fuzzy logic Mamdani secara konsisten memberikan peningkatan performa pada sistem pengatur kelembapan otomatis dibandingkan sistem tanpa fuzzy. Pada seluruh skenario, sistem dengan fuzzy menunjukkan kelembapan yang lebih stabil dan mendekati target 75%, dengan tingkat error yang jauh lebih rendah dibandingkan sistem manual. Keakuratan yang dicapai juga menunjukkan peningkatan yang signifikan, menunjukkan bahwa sistem fuzzy mampu menyesuaikan pengaktifan aktuator berdasarkan data sensor dengan lebih presisi. Hal ini menegaskan bahwa logika fuzzy Mamdani sangat cocok diterapkan pada sistem pengaturan mikroklimat yang memerlukan respons adaptif dan fleksibel, seperti pada terrarium *Tropidolaemus sp.*

Untuk penelitian berikutnya pengembangan sistem dapat diarahkan pada penerapan kontrol suhu secara terintegrasi atau adaptasi sistem ini untuk jenis reptil tropis lainnya. Selain itu, sistem dapat ditingkatkan melalui integrasi IoT yang lebih kompleks, seperti pemantauan jarak jauh berbasis platform web atau machine learning untuk optimasi pengambilan keputusan secara dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. M. G. Jesus, J. J. M. Guedes, M. R. Moura, R. N. Feio, and H. C. Costa, "Environmental drivers of tropical forest snake phenology: Insights from citizen science," *Ecology and Evolution*, vol. 13, no. 7, p. e10305, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.10305>
- [2] A. Annisa and R. Satria, "Perdagangan Satwa Reptil Jenis Ular (Squamata) Secara E-Commerce," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 8, no. 1, pp. 9502–9508, 2024 DOI: <https://doi.org/10.31004/jptam.v8i1.13808>
- [3] A. R. Zain, M. Sultony, and S. Holid, "Rancang Bangun Sistem Otomasi untuk Pemeliharaan Reptil Bearded Dragon Berbasis Internet of Things," *Jurnal Multinetics*, vol. 10, no. 2, pp. 156-165, Nov. 2024. DOI: <https://doi.org/10.32722/multinetics.v10i2.6093>
- [4] W. M. Luluk Suryani, Ery Murniyah, Marcellinus Petrus Saptono, Raditya Faisal Waliulu, Imam Trianggoro Saputro, Sony Rumalutur, "Implementation of Maggot Cage Temperature and Humidity Control Using ESP8266 Based On the Internet of Things," *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 6, no. 5, pp. 877-882, Apr. 2022, DOI: <https://doi.org/10.29207/resti.v6i5.4502>
- [5] P. Dutta and N. Anjum, "Optimization of Temperature and Relative Humidity in an Automatic Egg Incubator Using Mamdani Fuzzy Inference System," *Int. Conf. Robot. Electr. Signal Process. Tech.*, pp. 12–16, 2021. DOI: 10.1109/ICREST51555.2021.9331155
- [6] F. Aulia, U. Islam, and N. Sumatera, ""Sistem Kendali Suhu pada Kandang DOC Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno dengan Metode Logika Fuzzy Mamdani," *Journal of Science and Social Research*, vol. VII, no. 2, hlm. 482-486, Mei 2024. DOI: <https://doi.org/10.54314/jssr.v7i2.1935>

- [7] J. Riahi, H. Nasri, A. Mami, and S. Vergura, "Effectiveness of the Fuzzy Logic Control to Manage the Microclimate Inside a Smart Insulated Greenhouse," *Smart Cities*, vol. 7, no. 3, pp. 1304–1329, Jun. 2024, DOI: <https://doi.org/10.3390/smartcities7030055>
- [8] R. A. S. Rahman Arifuddin, Wahyu Dirgantara, Andrijani Sumarahinsih, Rizky Putri Intan Hafsatari, Fairuz Iqbal Maulana, Anggara Trisna Nugraha, "Baby Room Temperature and Humidity Control System Using Fuzzy Logic," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 24, no. 3, pp. 275-280, Nov. 2024, DOI: <https://doi.org/10.23917/emitor.v24i3.6403>
- [9] D. Dipali, T. Subramanian, and G. S. Kumaran, "A Smart Oyster Mushroom Cultivation Using Automatic Fuzzy Logic Controller," *J. Discret. Math. Sci. Cryptogr.*, vol. 26, no. 3, pp. 601–615, 2022 "A smart oyster mushroom cultivation using automatic fuzzy logic controller," *Journal of Discrete Mathematical Sciences & Cryptography*, vol. 26, no. 3, pp. 601–615, 2023, DOI: 10.47974/JDMSC-1731.
- [10] H. N. Y. Al-talb, S. N. M. Al-faydi, T. A. Fathi, and M. A. S. Al-adwany, "A Fuzzy Logic IoT- Based Temperature and Humidity Control System for Smart Buildings," *International Journal of Computing and Digital Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 139-147, Jan. 2023, DOI: 10.12785/ijcds/13011.
- [11] R. Wahyudi and A. Faizal, "Implementation of Fuzzy Logic in the Monitoring and Controlling System for Temperature and pH of Fry Aquarium Water Betta Fish Based on the Internet of Things," *PROtek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 51-59, Jan. 2025, DOI: <https://doi.org/10.33387/protk.v12i1.7619>
- [12] A. Alimuddin, R. Arafiah, I. Saraswati, R. Alfanz, P. Hasudungan, and T. Taufik, "Development and Performance Study of Temperature and Humidity Regulator in Baby Incubator Using Fuzzy-PID Hybrid Controller," *Energies*, vol. 14, no. 20, p. 6505, Oct. 2021, DOI: <https://doi.org/10.3390/en14206505>
- [13] N. R. Hamala, Sumadi, and S. R. Sulistiyanti, "Design and Development of a Fuzzy Logic-Based Temperature and Humidity Control System for Cricket Breeding Enclosures," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 24, no. 2, pp. 161-168, Jul. 2024, DOI: <https://doi.org/10.23917/emitor.v24i2.3263>
- [14] S. C. Vanegas-Ayala, J. Barón-Velandia, and D. D. Leal-Lara, "A Systematic Review of Greenhouse Humidity Prediction and Control Models Using Fuzzy Inference Systems," *Advances in Human-Computer Interaction*, vol. 2022, p. 8483003, Jan. 2022, DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/8483003>
- [15] S. Widiono and I. H. T. Untoro, "Fuzzy Logic Implementation In Internet Of Things Technology For Foging Greenhouse Plants," *International Journal of Engineering, Technology and Natural Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 59-66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.46923/ijets.v5i1.205>
- [16] M. Woźniak, J. Szczotka, A. Sikora, and A. Zielonka, "Fuzzy logic type-2 intelligent moisture control system," *Expert Systems With Applications*, vol. 238, p. 121581, 2024, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121581>
- [17] R. Muradi dan Kartika, "Fish Dryer With Temperature Control Using the Fuzzy Logic Method," *International Journal of Engineering, Science & Information Technology (IJESTY)*, vol. 3, no. 1, hlm. 1-8, 2023, DOI: <https://doi.org/10.52088/ijesty.v3i1.403>
- [18] E. Maya Olalla, A. Lopez Flores, M. Zambrano, M. Domínguez Limaico, H. Diaz Iza, and C. Vasquez Ayala, "Fuzzy Control Application to an Irrigation System of Hydroponic Crops under Greenhouse: Case Cultivation of Strawberries (*Fragaria Vesca*)," *Sensors*, vol. 23, no. 8, p. 4088, Apr. 2023, DOI: <https://doi.org/10.3390/s23084088>
- [19] D. C. Lettoof, T. Parkin, C. J. Jolly, A. de Laive, dan B. von Takach, "Snake life history traits and their association with urban habitat use in a tropical city," *Urban Ecosystems*, Jan. 2023, DOI: 10.1007/s11252-023-01327-x.
- [20] R. D. A. Pramana dan A. R. C. Baswara, "Implementation of Tsukamoto Fuzzy Logic for Watering Interval Control in Mini Greenhouse Temperature and Humidity Monitoring System with Aeroponic Method," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 6, no. 3, hlm. 223-236, Sep. 2024, DOI: <https://doi.org/10.12928/biste.v6i3.10809>
- [21] P. Zwart, "Morphology and Physiology of Reptiles," *Entomology, Ornithology & Herpetology: Current Research*, vol. 11, no. 4, hlm. 286, Agu. 2022, DOI: 10.35248/2161-0983.22.11.286.
- [22] F. R. Imran, G. Rahana, F. H. Mahda, dan D. A. L. Sari, "Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu Otomatis Berbasis Internet of Things Untuk Greenhouse Dengan Algoritma Fuzzy Logic," *Journal Electric Field*, vol. 1, no. 2, hlm. 71-81, 2024. DOI: <https://doi.org/10.63440/jef.v1i2.41>
- [23] D. S. M. Cahyani dan M. Ikhsan, "Implementation of Sugeno Fuzzy Logic Method as an Automatic Humidity and Moisture Control System in Terrarium," *International Journal of Recent Technology and*

Applied Science, vol. 6, no. 2, hlm. 101-113, Sep. 2024, DOI: <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0602.711>

- [24] M. R. Muzaky, Y. A. Pranoto, dan N. Vendyansyah, "Penerapan IoT (Internet of Things) pada Pemantauan Kesehatan Kandang Hewan Jenis Landak Mini Berbasis Arduino dengan Menggunakan Metode Logika Fuzzy," JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), vol. 5, no. 2, hlm. 541-547, Sep. 2021. DOI: <https://doi.org/10.36040/jati.v5i2.3732>
- [25] A. K. Nisa, M. Abdy, dan A. Zaki, "Penerapan Fuzzy Logic untuk Menentukan Minuman Susu Kemasan Terbaik dalam Pengoptimalan Gizi," Journal of Mathematics, Computations, and Statistics, vol. 3, no. 1, hlm. 51-64, Apr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v3i1.19902>
- [26] R. Satria, D. N. P. Jannah, M. A. Ridwan, and E. S. D. Putra, "Variasi Morfologi Ular Cantik Manis, *Tropidolaemus wagleri* (Wagler, 1830) (Serpentes: Viperidae) di Sumatera Barat, Indonesia," Jurnal Biologi UNAND, vol. 11, no. 3, pp. 191–197, 2022, DOI: <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2018.v05.i01.p20>