

Rancang Bangun Alat Penetas Telur dengan Sistem Pengendali Suhu dan Kelembapan Menggunakan Metode Fuzzy dan Monitoring Berbasis IoT

Wendy Kriswanto Simangunsong^{1*}, Cyntya Tri Hartati Manurung^{2*}, Ika Karlina Laila Nur Suciningtyas^{3*}

* Politeknik Negeri Batam
Electrical Engineering Study Program
Parkway Street, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
E-mail: ikakarlina@polibatam.ac.id

Abstrak

Proses penetasan telur merupakan tahap penting dalam industri peternakan unggas yang memerlukan pengendalian suhu dan kelembapan secara optimal. Penelitian ini mengembangkan alat penetas telur otomatis yang dilengkapi dengan pengendalian berbasis logika fuzzy Mamdani dan monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Sistem fuzzy digunakan untuk mengatur suhu dan kelembapan secara presisi, sementara teknologi IoT memungkinkan pemantauan real-time melalui website. Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi dengan rata-rata error sebesar 0,78% untuk suhu dan 1,08% untuk kelembapan. Monitoring IoT memiliki performa andal dengan delay pengiriman data 5-7 detik. Selain itu, alat ini berhasil mencapai daya tetas 71,4%, membuktikan efektivitasnya dalam menciptakan kondisi lingkungan optimal untuk penetasan. Alat ini memberikan solusi modern yang meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas hasil penetasan telur, serta mempermudah peternak dalam memantau dan mengontrol proses secara otomatis.

Kata kunci: Alat Penetas Telur, Suhu dan Kelembapan, Metode Fuzzy, Monitoring IoT

Abstract

The egg hatching process is an important stage in the poultry farming industry that requires optimal temperature and humidity control. This research develops an automatic egg hatcher equipped with Mamdani fuzzy logic-based control and Internet of Things (IoT)-based monitoring. The fuzzy system is used to precisely regulate temperature and humidity, while IoT technology enables real-time monitoring through a digital platform. The test results show high accuracy with an average error of 0.78% for temperature and 1.08% for humidity. IoT monitoring has reliable performance with a data transmission delay of 5-7 seconds. In addition, it achieved 71.4% hatchability, proving its effectiveness in creating optimal environmental conditions for hatching. It provides a modern solution that improves the efficiency, productivity, and quality of hatching eggs, and makes it easier for farmers to monitor and control the process automatically.

Keywords: Egg Hatching Tool, Temperature and Humidity, Fuzzy Method, IoT Monitoring

1. Pendahuluan

Perkembangan pesat penduduk Indonesia telah mengakibatkan peningkatan signifikan dalam konsumsi daging unggas dan telur sebagai sumber protein utama. Data yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik menunjukkan rata – rata konsumsi daging ayam di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 0,14 kilogram (kg) per kapita setiap minggu. Angka tersebut meningkat sebesar 7,69% dibandingkan tahun sebelumnya. Untuk menetas telur, kebanyakan peternak hanya mengandalkan induk

ayam, sehingga tingkat akurasi penetasannya tidak optimal [1].

Produktivitas penetasan alami dengan menggunakan induk unggas umumnya terbatas hingga empat butir telur per periode pengeraman, yang kurang efisien dalam memenuhi kebutuhan konsumen [2]. Selain itu, terdapat beberapa permasalahan dalam proses penetasan telur. Yang pertama, penetasan alami memiliki tingkat keberhasilan yang relatif rendah, sekitar 50% - 60%. Kondisi lingkungan yang tidak stabil menjadi penyebab terhambatnya perkembangan

embrio di dalam telur [3]. Kedua, sebagian besar alat penetas telur yang tersedia masih beroperasi secara manual, yang memerlukan intervensi operator dan memakan waktu. Selain itu, alat penetas telur konvensional belum dilengkapi dengan sistem kontrol suhu dan kelembaban yang otomatis, sehingga kualitas hasil penetasan telur masih belum optimal [4]. Oleh karena itu diperlukan suatu alat yang dapat berfungsi untuk mengatur suhu agar dapat meningkatkan kualitas dan efektifitas produksi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan dalam proses penetasan telur. Penelitian oleh [5] mengembangkan sistem inkubator telur ayam berbasis logika fuzzy menggunakan sensor DS18B20 untuk mengontrol suhu dan kelembaban. Namun, penelitian ini hanya mencakup simulasi dan belum sampai pada tahap implementasi prototipe. Penelitian lainnya oleh [6] menggunakan logika fuzzy untuk pengendalian suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22. Hasilnya menunjukkan bahwa metode fuzzy efektif dalam menjaga kondisi ideal, tetapi penelitian ini belum menggunakan telur asli dalam pengujian, sehingga tingkat keberhasilannya belum terukur. Sementara itu, [7] mengembangkan mesin penetas berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat memantau suhu secara real-time melalui platform Thingspeak menggunakan sensor DHT11. Meski sistem ini sudah mendukung monitoring jarak jauh, kontrol otomatis kelembaban belum diterapkan. Sebaliknya, [8] menggunakan metode kontrol PID untuk menjaga suhu dalam inkubator, tetapi belum mencakup pengendalian kelembaban, sehingga sistem masih memiliki keterbatasan dalam menciptakan kondisi lingkungan yang benar-benar optimal.

Dari penelitian sebelumnya, terlihat adanya kesenjangan dalam hal kualitas dan efektifitas produksi. Peningkatan kualitas dan efektifitas produksi dapat dilakukan dengan memilih metode yang tepat. Metode fuzzy merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengendalikan dan mengoptimalkan suhu serta kelembaban sehingga dapat meningkatkan kualitas serta efektivitas produksi telur. Metode fuzzy mamdani merupakan salah satu metode yang dapat diimplementasikan dalam sistem fuzzy. Metode ini disebut juga MAX-MIN atau MAX-PRODUCT, memiliki empat langkah dalam proses prediksinya. Langkah pertama adalah pembentukan himpunan fuzzy yang mencakup pengelompokan variabel masukan dan keluaran ke dalam satu atau beberapa himpunan fuzzy. Langkah kedua adalah penerapan fungsi implikasi, yang mengambil nilai terendah dari himpunan fuzzy yang digunakan. Selanjutnya, langkah ketiga adalah komposisi aturan, yang menentukan penilaian himpunan fuzzy dengan berbagai cara. Langkah terakhir adalah defuzzifikasi, yaitu himpunan fuzzy yang merupakan hasil dari komposisi aturan fuzzy

diolah menjadi sebuah nilai numerik dalam domain himpunan fuzzy terkait [9].

Kebutuhan akan sistem yang dapat memantau serta mengontrol suhu dan kelembaban di dalam alat penetas telur secara real time dari jarak jauh menjadi topik utama penelitian ini agar kualitas hasil penetasan telur dapat dioptimalkan. Pengembangan inkubator otomatis dilengkapi pengendalian suhu dan kelembaban berbasis IoT menawarkan solusi efektif untuk memenuhi kebutuhan tersebut [10]. Pemanfaatan teknologi berbasis IoT berpotensi meningkatkan efektivitas pemantauan suhu dan kelembaban secara real time, yang pada akhirnya berkontribusi pada pencapaian hasil penetasan telur yang optimal [11].

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, maka penelitian ini difokuskan untuk membuat alat penetas telur yang dilengkapi sistem pengendali suhu dan kelembaban menggunakan metode fuzzy Mamdani sebagai pendukung pengambilan keputusan untuk outputnya, serta berbasis IoT untuk memonitoring data suhu dan kelembaban pada alat tersebut secara *realtime*. Meskipun sistem pengendalian telah berjalan otomatis menggunakan logika fuzzy, pemanfaatan teknologi IoT tetap memiliki urgensi yang tinggi. IoT memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi inkubator secara real-time dari jarak jauh, sehingga peternak dapat melakukan pengawasan tanpa harus berada di lokasi. Selain itu, IoT juga memberikan kemudahan dalam pencatatan data historis yang dapat digunakan untuk evaluasi performa alat dan peningkatan efektivitas proses penetasan.

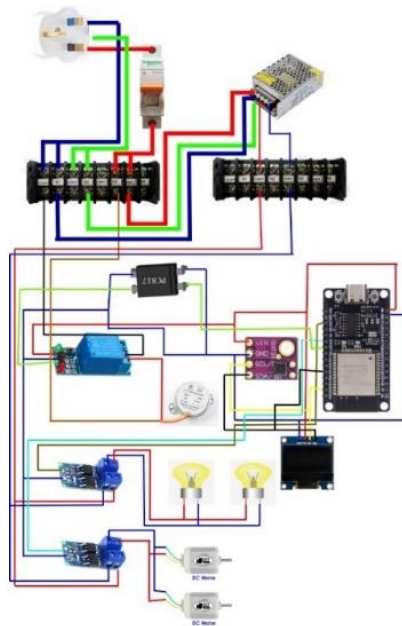
Dengan mengintegrasikan teknologi fuzzy Mamdani untuk pengendalian otomatis dan IoT untuk monitoring jarak jauh, penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi yang signifikan terhadap efisiensi proses penetasan, keberhasilan penetasan telur, dan kemudahan bagi peternak dalam memantau serta mengontrol kondisi inkubator secara real-time. Hal ini menjadi landasan penting untuk pengembangan teknologi peternakan unggas yang lebih maju dan berkelanjutan.

2. Metode Pelaksanaan

A. Perancangan Elektrikal

Perancangan elektrikal alat penetas telur ini tersusun pada rangkaian elektrikal. Sistem ini dialiri oleh sumber listrik utama 220-250 VAC yang diamankan oleh MCB dan diubah menjadi tegangan 12 VDC melalui *power supply*. Distribusi daya dan sinyal antar komponen menggunakan blok terminal. Pengendalian sistem dipusatkan pada mikrokontroler ESP32 yang menerima data suhu dan kelembaban dari sensor SHT30. Mikrokontroler berfungsi untuk

mengendalikan keseluruhan sistem serta untuk modul komunikasi untuk *IoT*. Motor AC diterapkan pada rak geser otomatis yang dikendalikan menggunakan relay, dan untuk meningkatkan keamanan serta mencegah kerusakan pada mikrokontroler, ditambahkan optocoupler PC817 sebagai isolasi antara rangkaian kontrol dan rangkaian motor AC. Sementara itu, untuk pengendalian *output* digunakan MOSFET Trigger Switch Drive Module PWM yang memungkinkan pengaturan intensitas cahaya lampu dan kecepatan kipas melalui PWM. Informasi suhu dan kelembapan ditampilkan pada display LCD OLED SSD1306. Data sensor juga dikirim ke server melalui koneksi *IoT* untuk monitoring jarak jauh. Penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Rangkaian Elektrikal

B. Perancangan Mekanikal

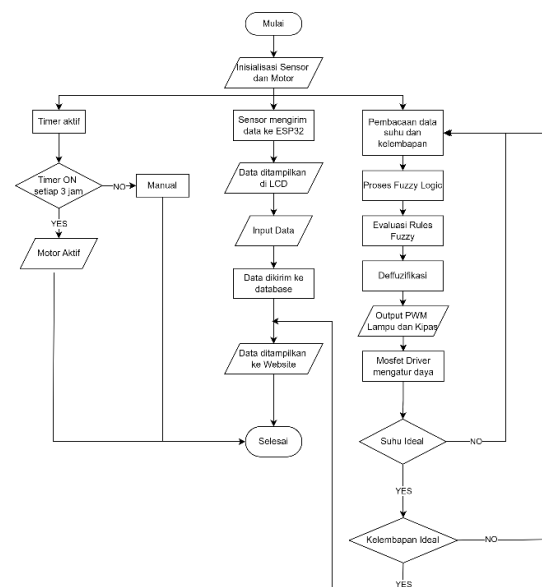
Desain mekanik alat penetas telur berukuran 520mm x 380mm x 400mm. Struktur utama terbuat dari papan kayu karena memiliki insulasi yang cukup baik untuk menjaga kestabilan suhu di dalam alat. Pintu depan memudahkan akses dan pengamatan telur, dilengkapi ventilasi untuk sirkulasi udara. Rak geser otomatis memastikan distribusi suhu dan kelembapan merata. Penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2: 3D Mekanikal

C. Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak, diperlukan alur pemrograman sistem yang diawali dengan inisiasi sensor dan motor. Sensor mengirim data ke mikrokontroler ESP32. Data tersebut kemudian ditampilkan di LCD, lalu data diinput dan dikirim ke database untuk penyimpanan serta ditampilkan di website untuk monitoring jarak jauh. Sistem memeriksa apakah suhu dan kelembapan berada pada kondisi ideal. Jika suhu tidak ideal, MOSFET menyesuaikan PWM untuk lampu. Hal serupa juga dilakukan untuk kelembapan, MOSFET menyesuaikan PWM kipas jika kelembapan tidak ideal. Terdapat juga sistem timer yang mengaktifkan motor setiap 3 jam untuk memutar rak telur secara otomatis. Jika timer tidak aktif, pengguna dapat mengoperasikan motor secara manual. Tampilan flowchart sistem dapat dilihat pada gambar 3.



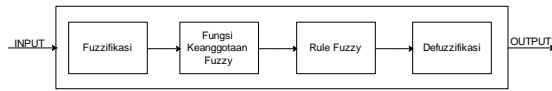
Gambar 3: Flowchart Sistem

D. Perancangan Sistem Fuzzy

Logika fuzzy merujuk pada suatu pendekatan yang tepat untuk memetakan variabel input ke dalam keluaran dengan lebih fleksibel. Pengenalan konsep logika fuzzy pertama kali dilakukan pada tahun 1962 oleh Prof. Lotfi Astor Zadeh [12]. Dalam konteks ini, penyelesaian permasalahan tidaklah berdasarkan angka secara eksplisit, melainkan menggunakan linguistik atau variabel yang mengekspresikan ketidakpastian atau ketidakjelasan, sehingga logika fuzzy sering disebut logika samar atau kabur.

Terdapat tiga metode umum yang digunakan dalam logika fuzzy, yaitu metode Sugeno, Tsukamoto, dan Mamdani. Masing-masing metode memiliki sistem inferensi dan defuzzifikasi yang berbeda [13]. Pada penelitian ini menggunakan metode fuzzy mamdani

yaitu kerangka kerja linguistik yang memungkinkan penjelasan terhadap proses berpikir manusia. Berikut ialah blok diagram sistem kendali logika fuzzy.



Gambar 4: Diagram Blok Sistem Fuzzy

Proses awal dalam perancangan sistem logika fuzzy melibatkan fuzzifikasi, yaitu transformasi nilai crisp menjadi himpunan fuzzy. Pada tahap ini, variabel input yang digunakan adalah suhu dan kelembapan, sedangkan variabel outputnya berupa PWM yang mengendalikan intensitas lampu dan kecepatan kipas..

Pemanfaatan variabel linguistik dalam merepresentasikan suhu, kelembapan, serta output lampu dan kipas krusial untuk mencapai kondisi lingkungan yang optimal dalam inkubasi telur. Variabel linguistik ini kemudian diterjemahkan ke dalam himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan tertentu.

Berdasarkan [14] yang meneliti suhu dan kelembapan optimal untuk ayam kampung, didapatkan rentang suhu 37-39°C dan kelembapan 55-60% sebagai kondisi ideal. Informasi ini sangat penting dalam mendefinisikan himpunan fuzzy "Normal" untuk suhu dan kelembapan.

TABEL I VARIABEL LINGUISTIK INPUT

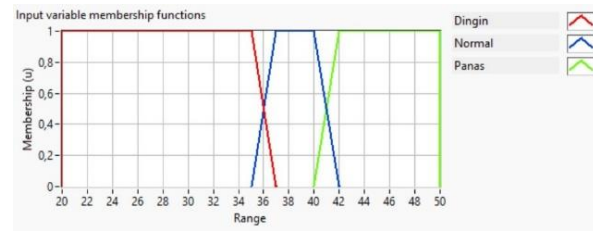
Input	Variabel Linguistik	Numerical Term
Suhu	Dingin	[20 20 35 37]
	Normal	[35 37 40 42]
	Panas	[40 42 50 50]
Kelembapan	Kering	[0 0 52 55]
	Normal	[52 55 58 60]
	Lembab	[58 60 100 100]

Pada Tabel 2, output yang dialokasikan untuk lampu dan kipas berfungsi untuk memodulasi intensitas pencahayaan dan kecepatan sirkulasi udara di dalam inkubator. Pengaturan pencahayaan dan kecepatan kipas yang optimal berkontribusi pada pengendalian suhu dan kelembapan inkubator, yang pada akhirnya berdampak signifikan terhadap keberhasilan proses penetasan telur.

TABEL II VARIABEL LINGUISTIK OUTPUT

Input	Variabel Linguistik	Numerical Term
Lampu	Redup	[0 0 89 91]
	Normal	[89 91 151 191]
	Terang	[151 191 255 255]
Kipas	Pelan	[0 0 89 91]
	Normal	[89 91 151 191]
	Cepat	[151 191 255 255]

Dalam penelitian ini, fungsi keanggotaan direpresentasikan menggunakan kurva berbentuk trapesium. Deskripsi fungsi keanggotaan untuk input dan output disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



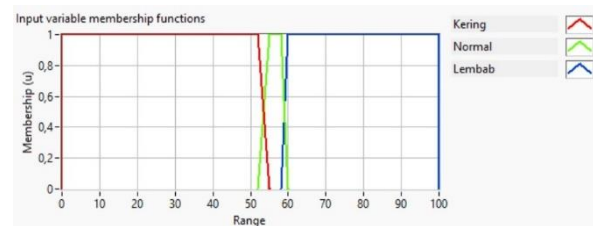
Gambar 5: Grafik Fungsi Keanggotaan Suhu

Pada Gambar 5, fungsi keanggotaan variabel input suhu digambarkan dengan tiga kurva trapesium yang mencakup rentang 20°C-50°C. Setiap kurva trapesium tersebut merepresentasikan parameter yang berbeda, yaitu dingin, normal, dan panas. Fungsi keanggotaan untuk input suhu didefinisikan melalui persamaan (1),(2), dan (3).

$$\mu_{dingin}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 35 \\ \frac{37-x}{2} & 35 \leq x \leq 37 \\ 0 & x \geq 37 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 35 \text{ atau } x \geq 42 \\ \frac{x-35}{2} & 35 \leq x \leq 37 \\ 1 & 37 \leq x \leq 40 \\ \frac{42-x}{2} & 40 \leq x \leq 42 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{panas}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 40 \\ \frac{x-40}{2} & 40 \leq x \leq 42 \\ 1 & x \geq 42 \end{cases} \quad (3)$$



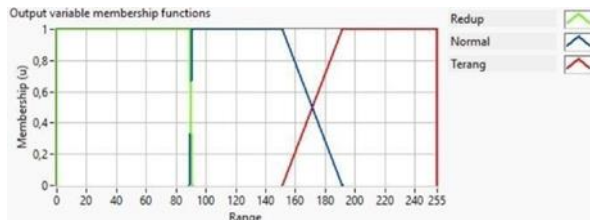
Gambar 6: Grafik Fungsi Keanggotaan Kelembapan

Pada Gambar 6, fungsi keanggotaan variabel input kelembapan digambarkan dengan tiga kurva trapesium yang mencakup rentang 0% hingga 100%. Ketiga kurva ini merepresentasikan nilai untuk setiap parameter kelembapan, yaitu kering, normal, dan lembab. Fungsi keanggotaan untuk input kelembapan didefinisikan melalui persamaan (4),(5), dan (6).

$$\mu_{kering}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 52 \\ \frac{x-52}{3} & 52 \leq x \leq 55 \\ 0 & x \geq 55 \end{cases} \quad (4)$$

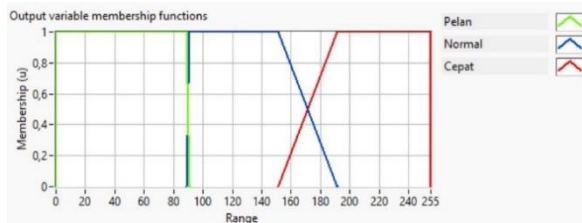
$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 52 \text{ atau } x \geq 60 \\ \frac{x-52}{3} & 52 \leq x \leq 55 \\ 1 & 55 \leq x \leq 58 \\ \frac{60-x}{2} & 58 \leq x \leq 60 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{lembab}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 58 \\ \frac{x-58}{2} & 58 \leq x \leq 60 \\ 1 & x \geq 60 \end{cases} \quad (6)$$



Gambar 7: Grafik Fungsi Keanggotaan Lampu

Pada Gambar 7, fungsi keanggotaan variabel output lampu digambarkan oleh tiga kurva yang merepresentasikan nilai-nilai Pulse Width Modulation (PWM) dalam rentang 0 hingga 255. Nilai-nilai PWM ini kemudian digunakan oleh mikrokontroler untuk mengatur tingkat kecerahan lampu. Ketiga kurva tersebut merepresentasikan tiga kondisi output lampu, yaitu redup, normal, dan terang.



Gambar 8: Grafik Fungsi Keanggotaan Kipas

Pada Gambar 8, fungsi keanggotaan variabel output kipas digambarkan oleh tiga kurva yang merepresentasikan nilai PWM dalam rentang 0 hingga 255. Nilai-nilai PWM ini kemudian digunakan oleh mikrokontroler untuk mengatur kecepatan kipas. Ketiga kurva tersebut merepresentasikan tiga kondisi output kipas, yaitu pelan, normal, dan cepat.

Pada metode mamdani, setelah variabel input dan output ditentukan. langkah berikutnya adalah menentukan fungsi implikasi, fungsi implikasi yang digunakan adalah MIN, yang dirumuskan dalam persamaan (7).

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[x]) \quad (7)$$

Hasil dari proses fuzzifikasi disesuaikan dengan menggunakan aturan fuzzy yang telah ditentukan, untuk menyesuaikan output dengan desain. Proses yang dilakukan untuk memperoleh nilai output dari aturan fuzzy tersebut ialah proses inferensi. Aturan fuzzy ini akan menjadi panduan dalam proses defuzzifikasi [15].

Berikut ialah aturan – aturan fuzzy yang telah

ditentukan berdasarkan variabel input dan variabel output.

TABEL III

ATURAN FUZZY MAMDANI

Rules	Input		Output	
	Suhu	Kelembapan	Kipas	Lampu
1	Dingin	Kering	Pelan	Terang
2	Dingin	Normal	Pelan	Normal
3	Dingin	Lembab	Pelan	Terang
4	Normal	Kering	Pelan	Normal
5	Normal	Normal	Normal	Normal
6	Normal	Lembab	Pelan	Normal
7	Panas	Normal	Cepat	Redup
8	Panas	Lembab	Cepat	Redup
9	Panas	Kering	Cepat	Redup

Dalam penelitian ini, digunakan metode inferensi sistem fuzzy dengan pendekatan MAX. Metode ini memerlukan pengambilan nilai maximum dari aturan untuk mendapatkan solusi himpunan fuzzy. Selanjutnya, nilai maximum tersebut digunakan untuk memodifikasi daerah fuzzy dan diterapkan pada output [16]. Secara umum, proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\mu_{sf}[X_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[X_i], \mu_{kf}[X_i]) \quad (8)$$

Proses terakhir dalam sistem fuzzy adalah defuzzifikasi. Pada proses ini akan dihasilkan nilai output berupa PWM. Metode defuzzifikasi yang digunakan yaitu Centroid yaitu solusi untuk mengambil titik pusat daerah fuzzy dengan domain continue [17], dapat dilihat pada persamaan (9).

$$\text{defuzzifikasi}(Z^*) = \frac{\int_a^b Z \cdot \mu(z) dz}{\int_a^b \mu(z) dz} \quad (9)$$

E. Perancangan Sistem Monitoring berbasis IoT

Sistem pemantauan ini menggunakan IoT untuk monitoring suhu dan kelembapan, sistem pemantauan ini memanfaatkan modul sensor SHT30 untuk mengukur nilai suhu dan kelembapan secara real time. Monitoring ini memiliki sistem untuk mengirimkan data suhu dan kelembapan, pertama membaca data suhu dan kelembapan oleh ESP32, kemudian data tersebut akan diparsing sehingga menghasilkan 2 variabel, dan kemudian mengirimkannya ke database mysql, pengiriman data tersebut menggunakan http sebagai protocol komunikasi untuk mengirim dan menerima data melalui jaringan internet, kemudian data yang sudah dikirim ke database mysql akan ditampilkan pada halaman website secara realtime.

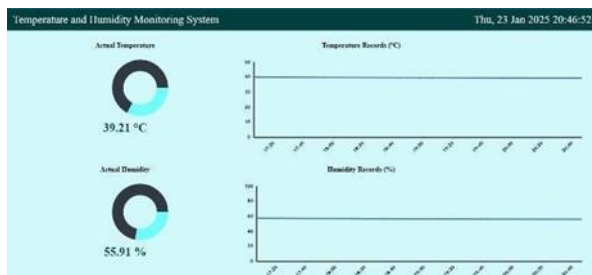


Gambar 9: Blok Diagram IoT



Gambar 10: Halaman Monitoring Web Dashboard

Halaman Monitoring pada website monitoring suhu dan kelembapan penetas telur menyediakan informasi tentang kondisi suhu dan kelembapan di dalam penetas telur secara real time serta terdapat data rata-rata, minimal, dan maksimal dari suhu dan kelembapan.



Gambar 11: Halaman ChartWeb Dashboard

Halaman chart pada website untuk pemantauan suhu dan kelembapan alat penetas telur memberikan visualisasi data yang menunjukkan pola perubahan suhu dan kelembapan di dalam alat penetas telur secara periodik.

3. Hasil dan Pembahasan

Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi manfaat penerapan logika fuzzy dalam menjaga kondisi lingkungan yang optimal bagi penetasan telur, serta kemudahan dan efisiensi yang ditawarkan oleh sistem monitoring jarak jauh. Bab ini membahas hasil implementasi dan pengujian alat penetas telur yang dilengkapi dengan sistem pengendalian suhu dan kelembapan berbasis logika Fuzzy dan monitoring berbasis IoT. Data yang dikumpulkan selama pengujian akan dianalisis untuk mengukur performa sistem, mengidentifikasi potensi perbaikan, dan membuktikan keunggulan pendekatan yang diusulkan dibandingkan metode konvensional. Alat penetas telur ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12: Alat Penetas Telur

A. Pengujian Sensor SHT30

Pengujian terhadap sensor SHT30 dilaksanakan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam deteksi dan pengukuran suhu serta kelembapan pada alat penetas telur. Metode pengujian yang digunakan adalah perbandingan langsung antara hasil pembacaan sensor SHT30 yang diproses oleh mikrokontroler dan hasil pengukuran thermohygrometer digital. Berikut hasil perbandingan tingkat kesalahan (error) antara sensor SHT30 dengan Thermohygrometer digital.

TABEL IV

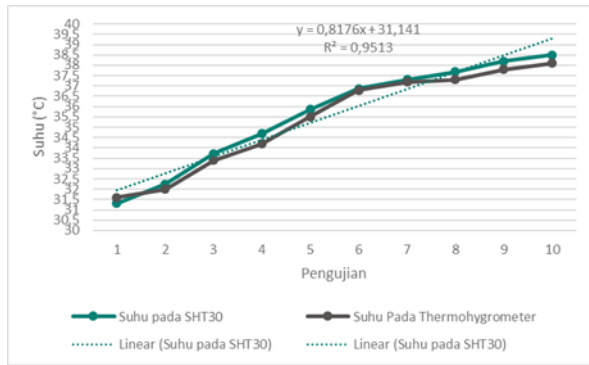
PERBANDINGAN PEMBACAAN SUHU DAN KELEMBAPAN SHT 30 DENGAN THERMOHYGROMETER

Suhu pada SHT30 (°C)	Suhu pada Thermohygrometer (°C)	Error (%)	Kelembapan pada SHT30 (%RH)	Kelembapan pada Thermohygrometer (%RH)	Error (%)
31,32	31,6	0,89	72,13	72	0,18
32,24	32,0	0,75	70,69	70	0,99
33,73	33,4	0,99	67,34	68	0,97
34,68	34,2	1,40	65,66	66	0,52
35,87	35,5	1,04	64,10	66	2,88
36,86	36,8	0,16	60,00	61	1,64
37,31	37,2	0,30	58,03	59	1,64
37,68	37,3	1,02	57,22	58	1,34
38,19	37,8	1,03	57,67	58	0,57
38,50	38,1	1,05	57,94	58	0,10
Rata-rata error		0,86	Rata-rata error		1,08

Berdasarkan data pada Tabel 4, perhitungan error untuk setiap data dilakukan menggunakan rumus berikut:

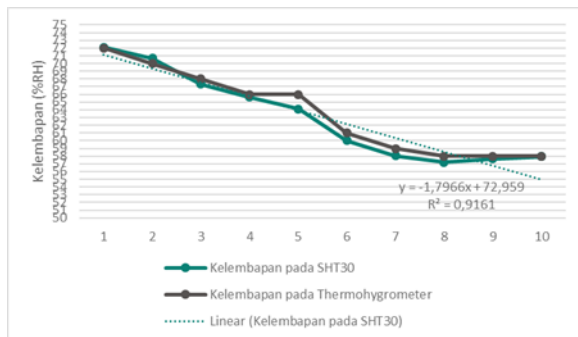
$$Error = \frac{[Nilai\ Thermohygrometer - Nilai\ SHT30]}{Nilai\ Thermohygrometer} \times 100\% \quad (9)$$

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa rata-rata error perbandingan antara sensor SHT30 dan thermohygrometer digital adalah 0,78% untuk suhu dan 1,08% untuk kelembapan. Grafik yang menggambarkan korelasi antara data suhu kedua alat tersebut ditampilkan pada Gambar 13.



Gambar 13: Grafik Perbandingan Pembacaan Suhu pada Sensor SHT30 dengan Thermohygrometer

Kemudian untuk grafik hubungan antara data kelembapan sensor SHT30 dengan Thermohygrometer pada Gambar 14.



Gambar 14: Grafik Perbandingan Pembacaan Kelembapan pada Sensor SHT30 dengan Thermohygrometer

B. Pengujian dan Pembahasan Fuzzy

TABEL V

PERBANDINGAN HASIL OUTPUT FUZZY DENGAN LABVIEW

Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	PWM Kipas		PWM Lampu	
		Serial Monitor	Labview	Serial Monitor	Labview
38,50	54,17	108	108,3	133	133,5
38,13	55,01	131	131,3	131	131,3
39,02	53,50	90	90,6	135	135,4
39,22	52,26	53	54,0	131	131,9
39,12	52,31	55	55,7	132	132,1
40,20	52,23	92	92,8	121	121,5
39,79	51,51	45	45,0	131	131,3
40,25	53,25	95	95,3	118	119,3
40,14	53,25	90	90,3	125	125,8
40,65	52,98	104	104,5	104	104,5

Pada Tabel 5, output sistem fuzzy dibandingkan dengan pembacaan Labview untuk pengendalian kipas dan lampu. Perbedaan yang kecil ini menunjukkan sistem Fuzzy bekerja akurat dan konsisten dalam mengendalikan parameter lingkungan, serta integrasi yang baik dengan Labview.

TABEL VI

PERBANDINGAN HASIL OUTPUT FUZZY DENGAN HITUNGAN MANUAL

Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	PWM Kipas		PWM Lampu	
		Serial Monitor	Hitung Manual	Serial Monitor	Hitung Manual
38,50	54,17	108	108,1	133	133,5
38,13	55,01	131	131,3	131	131,3
39,02	53,50	90	90,6	135	135,4
39,22	52,26	53	53,3	131	131,5
39,12	52,31	55	55,3	132	132,1
40,20	52,23	92	92,5	121	122,7
39,79	51,51	45	45,0	131	131,3
40,25	53,25	95	95,5	118	118,9
40,14	53,25	90	90,6	125	125,4
40,65	52,98	104	104,2	104	104,2

Tabel 6 membuktikan bahwa program fuzzy yang dijalankan pada sistem memberikan hasil yang sangat mirip dengan perhitungan teoritisnya, sehingga memvalidasi kebenaran dan keefektifan implementasi sistem fuzzy pada alat penetas telur.

Pengujian dilakukan yaitu hasil output program fuzzy dibandingkan dengan hitungan manual dan simulasi menggunakan aplikasi labview. Untuk pengujian data yang digunakan pada suhu 38,50 °C dan kelembapan 54,17 %RH. Ada beberapa langkah yang perlu dilakukan dalam pengujian perhitungan manual, yang pertama yaitu menentukan derajat keanggotaan dari himpunan fuzzy.

Derajat keanggotaan suhu dari himpunan normal

$$\mu_{normal}[38,50] = 1$$

Derajat keanggotaan kelembapan dari himpunan kering dan normal.

$$\mu_{kering}[54,17] = 0,28$$

$$\mu_{normal}[54,17] = 0,72$$

Berdasarkan data suhu yang diperoleh, selanjutnya diterapkan fungsi keanggotaan berdasarkan setiap aturan fuzzy menggunakan operator MIN. Dalam analisis ini, hanya aturan 4 dan aturan 5 yang diterapkan dan akan dibahas lebih lanjut sebagai berikut:

Rules 4 : IF suhu is normal and kelembapan is kering then kipas is pelan also lampu is normal

$$\begin{aligned} \alpha_{R4} &= \mu_{normal} \cap \mu_{kering} \\ &= \min(normal[38,50], \mu_{kering}[54,17]) \\ &= \min(1; 0,28) \\ &= 0,28 \end{aligned}$$

Rules 5 : IF suhu is normal and kelembapan is normal then kipas is normal also lampu is normal

$$\begin{aligned} \alpha_{R5} &= \mu_{normal} \cap \mu_{normal} \\ &= \min(normal[38,50], \mu_{normal}[54,17]) \\ &= \min(1; 0,72) \\ &= 0,72 \end{aligned}$$

Selanjutnya menggunakan metode MAX untuk melakukan komposisi aturan *fuzzy* pada bagian himpunan keanggotaan output yaitu kipas sebagai berikut:

$$\mu_{sf}(x_{pelan}) = 0,28$$

Untuk evaluasi dan menentukan nilai PWM kipas yaitu menggunakan defuzzifikasi.

$$\frac{\int_0^{89} 0,28 z dz + \int_{89}^{89,56} \frac{z-89}{2} z dz + \int_{89,56}^{162,2} z dz + \int_{162,2}^{191} \frac{191-z}{40} z dz}{\int_0^{89} 0,28 dz + \int_{89}^{89,56} \frac{z-89}{2} dz + \int_{89,56}^{162,2} dz + \int_{162,2}^{191} \frac{191-z}{40} dz}$$

PWM kipas = 108,23

Selanjutnya menentukan komposisi aturan *fuzzy* pada bagian himpunan keanggotaan output lampu sebagai berikut:

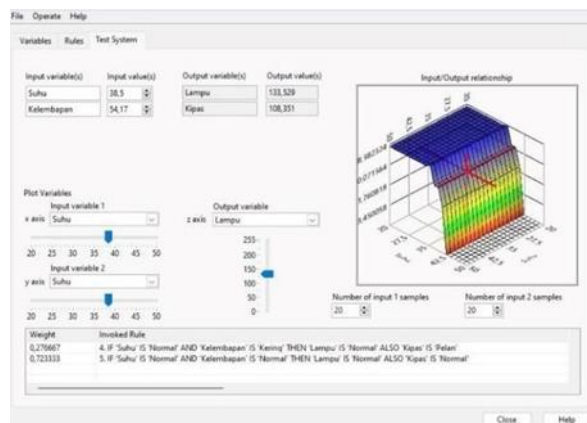
$$\mu_{sf}(x_{normal}) = \max(0,28; 0,72) = 0,72$$

Untuk evaluasi dan menentukan nilai PWM kipas yaitu menggunakan defuzzifikasi.

$$\frac{\int_{89}^{90,44} \frac{z-89}{2} z dz + \int_{90,44}^{162,2} 0,72 z dz + \int_{162,2}^{191} \frac{191-z}{40} z dz}{\int_{89}^{90,44} \frac{z-89}{2} dz + \int_{90,44}^{162,2} 0,72 dz + \int_{162,2}^{191} \frac{191-z}{40} dz}$$

PWM lampu = 133,5

Pembuktian menggunakan labview dapat dilihat pada gambar 15.



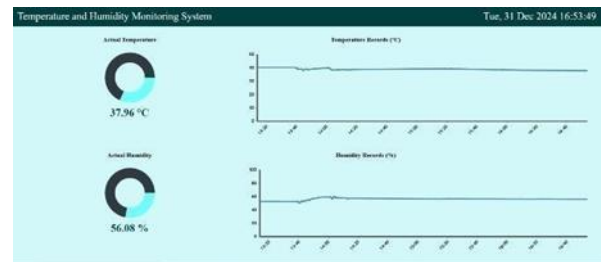
Gambar 15: Pembuktian *fuzzy* menggunakan labview

Pembuktian menggunakan Arduino IDE untuk hasil output PWM kipas dan lampu dapat dilihat pada gambar 16.

```
13:33:56.327 -> 80546 80546 Suhu: 38.50 Kelembapan: 54.17 Kipas: 108 Lampu: 133
13:33:58.575 -> ["device_id": "1", "temp_data": 38.54, "humidity_data": 54.16]
13:34:02.989 -> HTTP Response code: 200
13:34:02.989 -> Server Response:
13:34:03.036 -> [{"statusCode": "200", "statusMessage": "Data record success", "timestamp": "2024-12-26 13:33:44", "device_id": "1"}]
```

Gambar 16: Pembuktian menggunakan Arduino IDE untuk hasil output PWM kipas dan lampu

C. Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Suhu dan Kelembapan



Gambar 17: Analisis Pengaruh Hujan terhadap suhu dan kelembapan

Gambar 17 menunjukkan data monitoring suhu dan kelembapan. Pada pukul 14:00, terjadi penurunan suhu yang signifikan akibat hujan. Suhu turun dari sekitar 40°C menjadi 36°C. Grafik Temperature Records (°C) memperlihatkan jelas penurunan ini. Meskipun suhu turun, sistem Fuzzy berhasil merespons dan menaikkan kembali suhu mendekati rentang optimal. Grafik menunjukkan peningkatan suhu setelah titik terendah. Ini membuktikan kemampuan logika Fuzzy dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan. Hujan juga sedikit meningkatkan kelembapan yang terlihat pada grafik Humidity Record (%), tetapi peningkatannya kecil dan masih dalam batas yang dapat diterima.

D. Pengujian Penetasan Telur

Data hasil pengamatan penetasan telur ayam yang meliputi jumlah telur, kondisi penetasan, dan daya tetas disajikan pada Tabel 7.

TABEL VII
PENGUJIAN HASIL PENETASAN TELUR

Jumlah telur yang ditetaskan	Telur menetas	Telur tidak menetas	Kondisi anak ayam		Daya tetas (%)
			Normal	Mati	
7	5	2	5	2	71,4

Hasil pengujian penetasan telur menunjukkan keberhasilan. Dari 7 butir telur yang diinkubasi, seluruhnya berhasil menetas dengan persentase daya tetas mencapai 71,4%. Semua anak ayam yang menetas (5 ekor) menunjukkan kondisi normal dan memiliki daya hidup yang baik. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa proses penetasan telah dilakukan dengan tepat meliputi pengaturan suhu, kelembapan, dan pemutaran telur yang optimal.



Gambar 18. Hasil dari Alat Penetas Telur

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa alat penetas telur dengan sistem fuzzy mamdani dan IoT ini efektif dalam menjaga kondisi optimal suhu dan kelembapan. Pengujian sensor SHT30 menunjukkan rata-rata error rendah, masing-masing 0,78% untuk suhu dan 1,08% untuk kelembapan. Sistem monitoring berbasis IoT memiliki performa andal dengan delay pengiriman 5-7 detik. Dalam pengujian penetasan, alat ini mencapai daya tetas 71,4%, menunjukkan keberhasilan penerapan metode fuzzy dan IoT dalam mendukung produktivitas peternakkan unggas. Penelitian ini memberikan solusi praktis dan modern untuk meningkatkan efisiensi proses penetasan telur.

Acknowledgment

Terima kasih penulis sampaikan kepada P3M Politeknik Negeri Batam yang telah berkontribusi dalam pembiayaan Penelitian dengan skema Penelitian internal untuk Penelitian sistem Monitoring suhu dan kelembapan. Selain itu juga disampaikan terima kasih atas kontribusi terbesar dari tim PBL monitoring suhu dan kelembapan TRE.

References

- [1] C. M. Annur, "Konsumsi Daging Ayam Warga RI Meningkat, Capai Rekor pada 2021," *Databooks.Katada*, pp. 1–1, 2022, [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/10/06/konsumsi-daging-ayam-warga-ri-meningkat-capai-rekor-pada-2021#:~:text=M enurut laporan Badan Pusat Statistik,terakhir seperti terlihat pada grafik.>
- [2] F. Rahman, S. Sriwati, N. Nurhayati, and L. Suryani, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Suhu Pada Mesin Penetas Telur Otomatis Berbasis Mikrokontroler Esp8266," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 15, no. 01, pp. 5–8, 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i01.3.
- [3] K. Karsid, "Sistem Kontrol Suhu dan Kelembaban Udara pada Alat Penetas Telur Menggunakan Arduino Uno," *Elektriese J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 01, pp. 25–32, Apr. 2024, doi: 10.47709/elektriese.v14i01.3734.
- [4] R. Hidayat and P. W. Rusimamto, "Sistem Pengendalian Temperatur pada Inkubator Penetas Telur Otomatis Berbasis Fuzzy Logic Control," *J. Tek. Elektro*, vol. 08, no. 01, pp. 199–207, 2019, [Online]. Available: <https://www.micro4you.com/files/sensor/DH T11.pdf>
- [5] M. Islamiyah and S. Arifin, "Control Sistem Inkubator Telur Ayam Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *POSITIF J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 123–129, 2023, doi: 10.31961/positif.v9i2.2037.
- [6] Y. Z. Maulana, Firdaus Fathurrohman, and Gunawan Wibisono, "Egg Incubator Temperature and Humidity Control Using Fuzzy Logic Controller," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 7, no. 2, pp. 318–325, 2023, doi: 10.29207/resti.v7i2.4728.
- [7] K. Muttaqin, A. Ihsan, and H. Irawan, "Peningkatan Produktivitas Ternak Ayam Melalui Teknologi Inkubator Mesin Penetas Telur Berbasis Internet of Thing," *JMM (Jurnal Masy. Mandiri)*, vol. 6, no. 5, pp. 3–10, 2022, doi: 10.31764/jmm.v6i5.10812.
- [8] S. Shafiudin and N. Kholis, "Monitoring System and Temperature Controlling on PID Based Poultry Hatching Incubator," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 336, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/336/1/012007.
- [9] J. Audrey and A. Fadlil, "IN F O R M A T I K A PREDIKSI JUMLAH MAHASISWA BARU MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY METODE SUGENO," *J. Inform. Manaj. dan Komput.*, vol. 14, no. 1, 2022.
- [10] A. Chandra, B. Lubis, H. Satria, M. Fitra Alayubby, and R. M. Putri, "Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ Website: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit> Efisiensi Perbandingan Teknologi Mesin Inkubator Penetas Telur Unggas Otomatis Menggunakan Synchronous Motor AC dengan Sistem Manual," 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>

- [11] A. D. Dwipanegara, F. L. N, and M. Zaenudin, "Perancangan Dan Pembuatan Alat Inkubator Berbasis Mikrokontroler," *J. Ind. Elektro dan Penerbangan*, vol. 10, no. 1, p. 2020, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.unnur.ac.id/index.php/indept/article/view/374>
- [12] R. Purnomo, W. Priatna, and A. Fathurrozi, "PERBANDINGAN LOGIKA FUZZY DAN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS UNTUK MENILAI KINERJA DOSEN," vol. XIV, no. 1, pp. 48–59, 2019.
- [13] W. Syafrizal and M. Faris Al Hakim, "Analisis Perbandingan Akurasi Metode Fuzzy Tsukamoto dan Fuzzy Sugeno Dalam Prediksi Penentuan Harga Mobil Bekas," 2021. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- [14] M. R. Wirajaya, S. Abdussamad, and I. Z. Nasibu, "Rancang Bangun Mesin Penetas Telur Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 24–29, 2020, doi: 10.37905/jjee.v2i1.4579.
- [15] E. W. Hary Candana, I. Gede, A. Gunadi, and D. G. H. Divayana, "PERBANDINGAN FUZZY TSUKAMOTO, MAMDANI DAN SUGENO DALAM PENENTUAN HARI BAIK PERNIKAHAN BERDASARKAN WARIGA MENGGUNAKAN CONFUSION MATRIX," *J. Ilmu Komput. Indones.*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [16] B. Riadi Husda, M. Nakkir, A. Albar, A. Muhammad Asfiandy, M. Fakhrizal, and M. Ahsin Thahir, "Implementasi Metode Fuzzy Mamdani Untuk Menentukan Tingkat Jumlah Pernikahan Dini Tahun 2022 Kabupaten Barru."
- [17] A. Amaliatul Khairo and S. Sitepu, "Perbandingan Metode Defuzzifikasi Dalam Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani Untuk Penentuan Kerentanan Rawan Banjir (Studi Kasus: Kota Medan)," vol. 7, no. 2, pp. 175–184, 2024.