

Implementasi Metode Fuzzy Tsukamoto pada Alat Tetas Telur untuk Monitoring dan Controlling Suhu dan Kelembapan

Aghnia Nurhidayah¹, Anandiaz Agung Pradana¹, Muhammad Rifan Fathoni¹, Anindita Septiarini¹, Masna Wati^{1*}

¹Program Studi Informatika, Universitas Mulawarman, Indonesia.

Artikel Info

Kata Kunci:

Alat Tetas Telur;
Fuzzy Tsukamoto;
IoT;
Pengendalian;
Pemantauan.

Keywords:

Egg hatching devices;
Fuzzy Tsukamoto;
IoT;
Monitoring;
Controlling.

Riwayat Artikel:

Submitted: 18 Juli 2025
Accepted: 05 November 2025
Published: 07 November 2025

Abstrak: Inkubator atau alat tetas telur berfungsi menciptakan kondisi lingkungan buatan yang menyerupai pengeraman alami, khususnya dalam menjaga suhu dan kelembapan. Ketidakstabilan dua parameter ini sering kali menjadi penyebab rendahnya tingkat keberhasilan penetasan telur ayam. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem inkubator otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang dilengkapi dengan algoritma Fuzzy Tsukamoto. Sistem ini menggunakan NodeMCU sebagai mikrokontroler, sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan, serta aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan. Sistem ini juga dirancang secara otomatis untuk mencatat data suhu dan kelembapan setiap 10 detik dan mengatur jumlah lampu pemanas yang menyala berdasarkan hasil inferensi fuzzy. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menstabilkan suhu inkubator dalam waktu 33 menit pada kisaran 37°C–37,1°C dan kelembapan antara 55%–57%. Selain itu, sistem menunjukkan kemampuan adaptif terhadap perubahan suhu lingkungan dengan menyesuaikan jumlah lampu yang menyala. Sistem ini terbukti efektif dalam mengatur kondisi inkubasi secara otomatis dan akurat, serta mampu mengurangi ketergantungan terhadap pengaturan manual. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat diintegrasikan dengan antarmuka berbasis mobile dan diuji pada skala yang lebih besar.

Abstract: Incubators or egg hatching devices function to create artificial environmental conditions that resemble natural brooding, particularly in maintaining stable temperature and humidity levels. Instability in these two parameters is a major cause of the low success rate in chicken egg hatching. This study aims to design and implement an automatic incubator system based on the Internet of Things (IoT) equipped with the Tsukamoto Fuzzy Logic algorithm. The system uses a NodeMCU as the microcontroller, a DHT11 sensor to measure temperature and humidity, and the Blynk application as the monitoring interface. This system is also automatically designed to record temperature and humidity data every 10 seconds and control the number of heating lamps based on fuzzy inference results. Test results show that the system can stabilize the incubator's temperature within 33 minutes, maintaining it in the range of 37°C–37.1°C and humidity between 55%–57%. Additionally, the system demonstrates adaptive behaviour in response to changes in ambient temperature by adjusting the number of active lamps. This system has proven to effectively regulate incubation conditions automatically and accurately, while reducing reliance on manual control. For future development, the system can be integrated with a mobile-based interface and tested on a larger scale.

Corresponding Author:

Masna Wati

Email: masnawati.ssi@gmail.com

PENDAHULUAN

Inkubator telur adalah alat yang dirancang untuk meniru proses pengeraman dengan menciptakan kondisi lingkungan buatan dengan mengatur suhu dan kelembapan yang sesuai (Islamiyah & Arifin, 2023). Untuk memaksimalkan tingkat keberhasilan penetasan, inkubator telur ayam membutuhkan sistem pengendalian suhu dan kelembapan yang sesuai. Kedua faktor tersebut memegang peran penting dalam menentukan keberhasilan proses penetasan. Suhu yang terlalu tinggi serta kelembapan yang rendah dapat mempercepat penurunan berat telur, sehingga berdampak pada penurunan kualitas internal telur (Trinitariyani et al., 2023). Namun inkubator telur yang beredar saat ini masih banyak yang belum dapat bekerja secara otomatis sehingga dapat menyita waktu (Fathurrohman, 2022). Pada inkubator telur dengan mesin tetas manual, proses kontrol dilakukan disekitar area inkubasi dengan kata lain masih memerlukan perhatian pengguna untuk mengaktifkan dan menonaktifkan alat sehingga masih belum optimal (Zalaludin, 2023). Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil inkubasi yang maksimal, perlu memiliki sistem yang dapat memonitor dan mengontrol suhu serta kelembapan secara otomatis.

Permasalahan dalam pengendalian suhu dan kelembapan secara manual dapat diselesaikan dengan menerapkan teknologi Internet of Things (IoT) (Derafi et al., 2024). IoT merupakan teknologi yang mengoptimalkan sensor cerdas termasuk perangkat elektronik untuk dapat saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet (Ruuhwan et al., 2019). Dengan memanfaatkan sensor IoT, sistem dapat memantau suhu dan kelembapan dalam inkubator secara *real time* serta mengirimkan data tersebut ke perangkat pemantauan (Wahyuni et al., 2024). Penerapan teknologi dan platform IoT ini memungkinkan sistem inkubator untuk melakukan pemantauan sekaligus penyesuaian kondisi secara otomatis agar tetap optimal sepanjang proses penetasan telur (Triyanto & Kusnadi, 2023).

Metode Fuzzy Logic dapat diterapkan dalam sistem kontrol berbasis IoT untuk mendukung produktivitas peternakan dan meningkatkan efisiensi proses penetasan telur dengan menjaga kondisi optimal suhu dan kelembapan (Simangunsong et al., 2025). Dengan menggunakan algoritma Fuzzy Logic Tsukamoto, sistem dapat membuat keputusan yang lebih tepat dan adaptif terhadap perubahan lingkungan yang terjadi secara dinamis. Penerapan metode ini dalam sistem IoT memungkinkan pengendalian suhu dan kelembapan secara otomatis, yang lebih akurat dan mendukung keberhasilan inkubasi telur ayam.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam sistem pengendalian suhu dan kelembapan telah diterapkan di sektor peternakan, termasuk untuk sistem inkubasi telur ayam. Salah satunya adalah penelitian (Setyawan et al., 2024) yang mengembangkan sistem penetasan telur ayam otomatis berbasis Fuzzy Logic Tsukamoto. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan Fuzzy Logic Tsukamoto dapat mengontrol suhu dan kelembapan dengan suhu yang diatur antara 35°C-40°C dan kelembapan 50%-60%, sehingga meningkatkan hasil penetasan telur ayam. Namun, perbedaan penelitian ini ada pada sistem yang tidak hanya mengontrol suhu dan kelembapan, tetapi juga mencatat hasil pemantauan suhu dan kelembapan setiap 10 detik, yang memungkinkan pemantauan suhu dan kelembapan yang lebih terperinci. Selain itu, penelitian (Mentari, 2022) mengembangkan sistem monitoring dengan Fuzzy Logic Mamdani yang dapat mendeteksi dan mengontrol suhu dan kelembapan dalam inkubator telur ayam kampung, yang terhubung dengan sistem notifikasi berbasis IoT. Selanjutnya, penelitian oleh (Larasati et al., 2019). membahas tentang pengembangan sistem kendali suhu pada inkubator telur ayam menggunakan algoritma Fuzzy Logic Sugeno dengan antarmuka berbasis Java. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan logika fuzzy mampu menjaga kestabilan suhu mendekati titik optimal 38 °C secara responsif. Penelitian oleh (Iksan et al., 2022) juga berhasil mengembangkan alat penetas telur kapasitas 100 butir dengan sistem kendali suhu dan kelembapan menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani. Sistem ini mampu menjaga

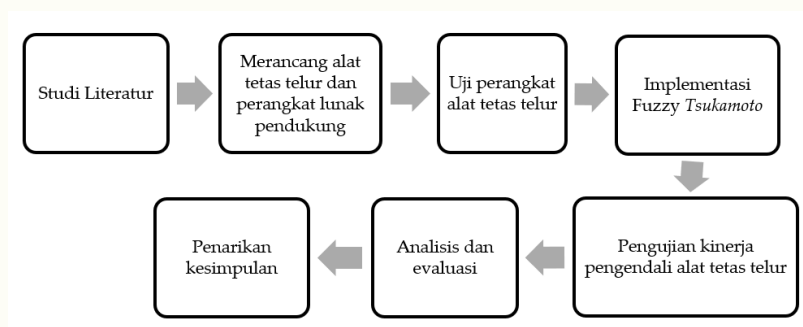
kestabilan suhu dan kelembapan sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan, dengan waktu pencapaian *setpoint* selama 17 menit. Selain itu, pemutaran telur otomatis setiap 3 jam sekali terbukti lebih efektif dibandingkan pemutaran setiap 4 jam sekali. Hasil akhir menunjukkan persentase keberhasilan penetasan sebesar 88%, yang mengindikasikan keberhasilan sistem dalam meningkatkan efisiensi alat penetas telur.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* dan *controlling* suhu serta kelembapan pada inkubator telur ayam yang berbasis IoT dengan menggunakan metode Fuzzy Logic Tsukamoto karena kemampuannya dalam menghasilkan keluaran yang bersifat *crisp* dan terukur secara numerik pada setiap aturan (*rule*), sehingga cocok digunakan pada sistem pengendalian yang memerlukan respon cepat dan akurat. Jika dibandingkan dengan metode fuzzy lainnya, metode Tsukamoto menawarkan keseimbangan antara fleksibilitas linguistik dan efisiensi komputasi. Metode Mamdani memang memiliki karakter yang lebih intuitif, namun metode ini memerlukan beban komputasi yang cukup besar, sehingga kurang efisien untuk sistem *real-time* (Mentari, 2022). Sementara itu, metode Sugeno memiliki efisiensi yang tinggi karena konsekuennya berupa fungsi linear sehingga tidak memerlukan proses defuzzifikasi tambahan. Namun, metode ini kurang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan yang bersifat nonlinier, karena keluaran pada setiap aturan bersifat tetap (*crisp constant*) sehingga respons sistem cenderung kaku terhadap variasi input (Larasati et al., 2019).

Fokus utama penelitian ini adalah pada implementasi dan evaluasi metode Fuzzy Tsukamoto untuk pengendalian suhu dan kelembapan sebagai parameter kritis dalam proses inkubasi, sementara itu fitur pembalik telur otomatis belum diintegrasikan dan masih dilakukan secara manual. Sistem yang dirancang pada penelitian ini akan menggabungkan teknologi sensor IoT untuk memantau kondisi lingkungan inkubator secara real time dan algoritma Fuzzy Logic Tsukamoto untuk mengendalikan suhu dan kelembapan secara otomatis berdasarkan suhu dan kelembapan yang dibaca oleh sensor dan mencatat hasil pemantauan suhu dan kelembapan setiap 10 detik. Dengan demikian, diharapkan sistem ini dapat memberikan solusi yang lebih akurat dalam mengelola proses inkubasi telur ayam khususnya dalam aspek kontrol suhu dan kelembapan, serta mengurangi ketergantungan pada pengaturan manual yang rentan terhadap kesalahan.

METODE

Penelitian ini merupakan eksperimen yang mengevaluasi penerapan Logika Fuzzy Tsukamoto dalam mengatur jumlah lampu pemanas sebagai *output* untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan pada alat tetas telur. Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

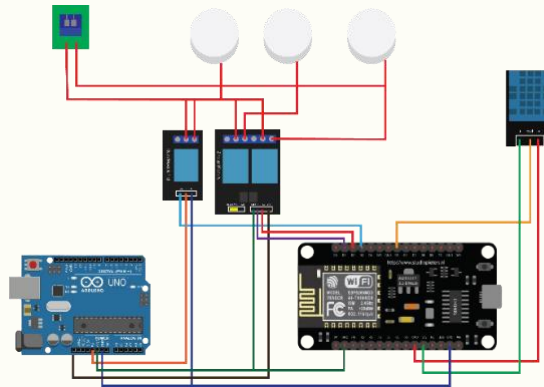


Gambar 1. Tahapan Penelitian

Perancangan Alat Tetas Telur

Perancangan alat tetas telur pada penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan sebuah sistem inkubator atau alat tetas telur yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembapan secara otomatis. Alat tetas yang dirancang berbasis pada konsep Internet of Things (IoT),

sehingga memungkinkan integrasi pemantauan jarak jauh. Skema perancangan komponen alat disajikan pada Gambar 2.

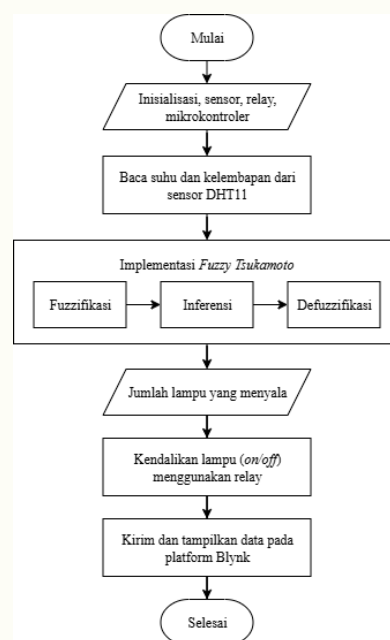


Gambar 2. Wiring Diagram Alat Tetes Telur

Pada Gambar 2 ditunjukkan beberapa komponen utama yang digunakan dalam perancangan alat, antara lain mikrokontroler NodeMCU yang berfungsi sebagai unit pengendali utama, Arduino Uno yang digunakan sebagai sumber catu daya, relay yang berperan sebagai pengatur nyala lampu, sensor DHT11 yang berfungsi untuk membaca nilai suhu dan kelembapan sebagai data masukan (*input*) bagi sistem, serta lampu yang berperan sebagai aktuator utama dan keluaran (*output*) dalam pengendalian suhu alat tetas. Setelah seluruh rangkaian elektronik dirakit, alat tersebut dipasang ke dalam *box styrofoam* yang berfungsi sebagai media alat tetas telur.

Perancangan Perangkat Lunak

Dalam penelitian ini, perangkat lunak yang digunakan untuk implementasi logika fuzzy pada mikrokontroler adalah Arduino IDE. Arduino IDE berfungsi sebagai lingkungan pemrograman untuk penulisan, *upload*, serta pengujian kode program yang dijalankan pada perangkat mikrokontroler. Kode program ditulis menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan beberapa *library* tambahan yang diperlukan. *Flowchart* program dengan implementasi fuzzy dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Program Monitoring dan *Controlling* Tetes Telur

Proses diawali dengan inisialisasi sensor, relay, serta mikrokontroler untuk membaca data suhu dan kelembapan yang digunakan sebagai masukan sistem fuzzy. Nilai masukan tersebut kemudian diproses melalui tiga tahap utama dalam implementasi logika fuzzy, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan

defuzzifikasi. Pada tahap fuzzifikasi, data suhu dan kelembapan dikonversi menjadi derajat keanggotaan pada himpunan linguistik seperti rendah, sedang, dan tinggi. Tahap inferensi menerapkan aturan IF-THEN untuk menghasilkan nilai *fire strength* dari setiap kondisi, sedangkan defuzzifikasi metode Tsukamoto digunakan untuk memperoleh nilai crisp sebagai keluaran sistem.

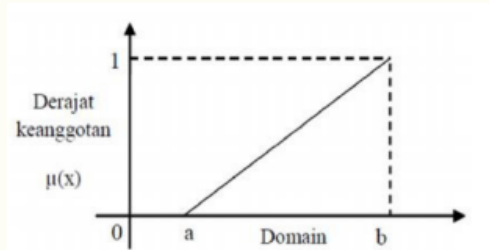
Nilai keluaran hasil defuzzifikasi menentukan jumlah lampu yang akan diaktifkan melalui relay. Mikrokontroler kemudian mengirimkan data hasil pembacaan sensor dan status lampu ke platform Blynk untuk ditampilkan secara real-time. Proses ini berlangsung secara berulang, sehingga sistem mampu menyesuaikan pencahayaan secara otomatis berdasarkan perubahan suhu dan kelembapan lingkungan.

Perancangan Logika Fuzzy

Dalam proses perancangan logika fuzzy, digunakan metode Fuzzy Tsukamoto karena metode ini memiliki kemampuan untuk menangani ketidakpastian pada kondisi lingkungan yang cenderung berubah-ubah dan bersifat nonlinier. Dengan memanfaatkan aturan-aturan berbasis logika linguistik, metode ini memungkinkan sistem beradaptasi secara lebih fleksibel terhadap fluktuasi yang terjadi pada lingkungan (Maulana et al., 2023; Sunardi et al., 2023).

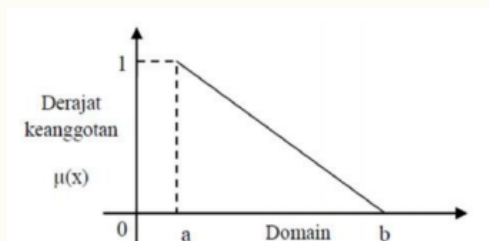
Metode Tsukamoto merupakan pengembangan dari prinsip penalaran monoton, di mana setiap hasil dari aturan IF-THEN direpresentasikan dalam bentuk himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang bersifat monoton. Dalam proses inferensi, *fire strength* dari setiap aturan digunakan untuk menentukan keluaran, yang selanjutnya dikombinasikan menggunakan perhitungan rata-rata berbobot (*weighted average*) untuk memperoleh nilai akhir yang akan digunakan sebagai *output* (Permana, 2020). Proses perancangan logika fuzzy terdiri dari tiga tahap utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi (Syahidi et al., 2019).

Pada tahap fuzzifikasi, data input berupa himpunan crisp ditransformasikan menjadi himpunan fuzzy berdasarkan rentang nilai dari masing-masing variabel input (Pradana et al., 2022). Penelitian ini menggunakan dua variabel input, yaitu suhu dan kelembapan, yang kemudian dimasukkan ke dalam fungsi keanggotaan berbentuk kurva linear naik, linear turun, dan trapesium, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, 5, dan 6 serta Persamaan (1), (2), dan (3) (Saputra, 2020).



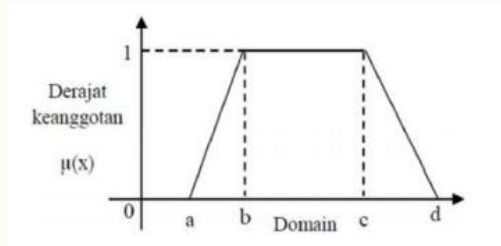
Gambar 4. Kurva Linear Naik

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x > b \end{cases} \quad (1)$$



Gambar 5. Kurva Linear Turun

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x < a \\ \frac{(b-x)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x > b \end{cases} \quad (2)$$



Gambar 6. Kurva Trapesium

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a < x < b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}; & c < x < d \end{cases} \quad (3)$$

Setelah nilai *input* dikonversi menjadi nilai fuzzy, tahap inferensi dilakukan untuk membentuk hubungan antara *input crisp* dan *output crisp* berdasarkan seperangkat aturan yang telah dirumuskan. Aturan-aturan ini, yang umumnya disusun dalam format IF-THEN, berperan dalam menentukan respons sistem terhadap berbagai variasi kondisi input maupun gangguan yang terjadi dalam sistem (Sihaloho et al., 2020).

Evaluasi setiap aturan dilakukan dengan menghitung derajat kebenaran (α -predicate) menggunakan operator minimum (MIN), yang berfungsi menggabungkan dua kondisi pada bagian premis. Nilai α yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menentukan *output crisp* melalui fungsi keanggotaan invers dari variabel *output*, sehingga diperoleh nilai *crisp* spesifik untuk masing-masing aturan. *Output* akhir sistem diperoleh melalui tahap defuzzifikasi dengan melakukan perhitungan rata-rata berbobot (*weighted average*) dari seluruh nilai *crisp*, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (4) (Dellas et al., 2020; Setiawan & Prihatini, 2023).

$$z = \frac{\sum (\alpha_i \times z_i)}{\sum \alpha_i} \quad (4)$$

di mana α_i adalah nilai kebenaran dari aturan ke- i , dan z_i adalah nilai *crisp* yang dihasilkan oleh aturan tersebut. Dengan demikian, metode Tsukamoto menghasilkan *output* akhir yang bersifat tegas untuk mengendalikan jumlah lampu secara otomatis dalam sistem inkubasi.

Perancangan Sistem Monitoring

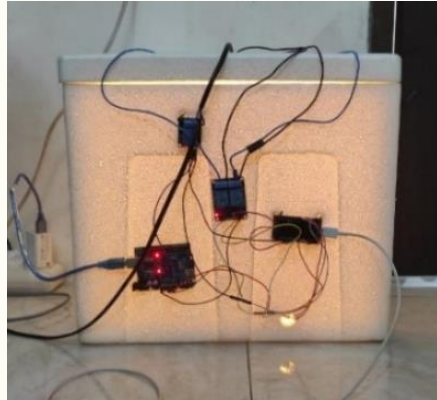
Perancangan sistem monitoring bertujuan untuk memungkinkan pemantauan kondisi suhu dan kelembapan dalam alat tetas telur secara *real time* melalui berbagai perangkat. Penelitian ini menggunakan platform Blynk yang merupakan platform IoT berbasis *cloud* yang memungkinkan komunikasi antara mikrokontroler dan perangkat lainnya melalui jaringan internet. Platform ini memungkinkan kendali dan pemantauan sistem secara jarak jauh dengan memanfaatkan antarmuka virtual untuk mengakses perangkat keras IoT (Walid et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Alat Tetas Telur

Hasil dari pengujian alat tetas menunjukkan bahwa seluruh komponen alat tetas telur berhasil dirakit sesuai dengan spesifikasi rancangan dan mampu beroperasi dengan baik. Sistem yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang sesuai dengan fungsinya. Alat tetas yang dikembangkan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan alat serupa yang telah beredar di pasaran.

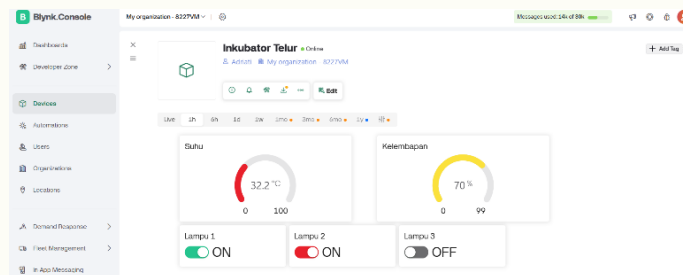
Penggunaan mikrokontroler NodeMCU pada alat ini memungkinkan fitur monitoring dan controlling jarak jauh melalui konektivitas WiFi, yang tidak dimiliki oleh sebagian besar alat tetas manual di pasaran. Selain itu, dari aspek ekonomis, alat ini menggunakan material dan komponen yang lebih terjangkau seperti styrofoam sebagai insulasi dan komponen elektronik berbasis Arduino dan NodeMCU, sehingga lebih cost-effective. Hasil perancangan alat tetas ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Alat Tetas Telur

Pengujian Monitoring Blynk

Pengujian monitoring alat melalui *platform* Blynk dilakukan selama proses pengujian alat untuk memantau suhu dan kelembapan pada alat tetas telur. Selama pengujian, NodeMCU mengirimkan data dari sensor DHT11 ke aplikasi Blynk setiap 10 detik, yang kemudian ditampilkan dalam bentuk angka pada *dashboard*. Tidak ditemukan keterlambatan signifikan atau gangguan konektivitas selama pengujian, menunjukkan bahwa integrasi sistem dengan Blynk berjalan dengan baik sehingga efektif dalam mendukung pengawasan parameter lingkungan inkubator secara berkala dan *real time*.



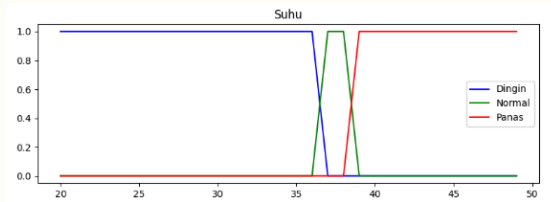
Gambar 8. Tampilan Monitoring pada Blynk

Implementasi Logika Fuzzy Tsukamoto

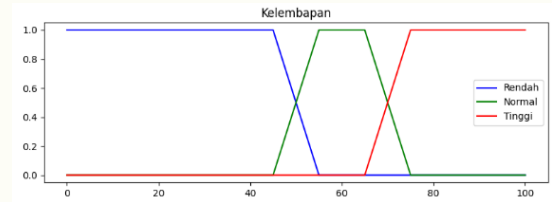
Implementasi logika fuzzy dimulai dari proses fuzzifikasi, di mana variabel *input* yang digunakan meliputi suhu dan kelembapan udara, sedangkan variabel *output* sistem adalah jumlah lampu yang berfungsi sebagai aktuator pengendali. Penentuan rentang suhu input didasarkan pada standar suhu inkubasi yang ideal untuk telur ayam berkisar antara 37°C hingga 38°C. Rentang suhu ini telah terbukti mendukung perkembangan embrio secara optimal, meningkatkan daya tetas, serta menghasilkan anak ayam dengan kualitas yang baik (Yalcin et al., 2022). Sementara itu, kelembapan yang optimal dalam proses pengeraman telur berkisar antara 55% hingga 65% (Dutta & Anjum, 2021). Representasi term linguistik dan numerik variabel input suhu dan kelembapan dapat dilihat pada Tabel 1. Term linguistik dan numerik digunakan untuk membentuk fungsi keanggotaan dalam proses fuzzifikasi yang ditampilkan pada Gambar 9(a) dan 9(b).

Tabel 1. Hasil Perbandingan Skenario Pengujian

Suhu		Kelembapan	
Linguistic Term	Numerical Term	Linguistic Term	Numerical Term
dingin	[20, 20, 36.5, 37]	rendah	[0, 0, 45, 55]
normal	[36.5, 37, 38, 38.5]	normal	[45, 55, 65, 75]
panas	[38, 38.5, 50, 50]	tinggi	[65, 75, 100, 100]



(a)



(b)

Gambar 9. Grafik Fungsi Keanggotaan Variabel (a) Suhu dan (b) Kelembapan

Fungsi keanggotaan berbentuk trapesium dan digunakan untuk mengubah nilai crisp (numerik) menjadi nilai fuzzy (derajat keanggotaan). Rumus fungsi keanggotaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan (5)–(10).

$$\mu_{dingin}[x] = \begin{cases} 1; & x < 36,5 \\ \frac{(37-x)}{(37-36,5)}; & 36,5 \leq x \leq 37 \\ 0; & x > 37 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{normal}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 36,5 \text{ atau } x \geq 38,5 \\ \frac{(x-36,5)}{(37-36,5)}; & 36,5 < x < 37 \\ 1; & 37 \leq x \leq 38 \\ \frac{(38,5-x)}{(38,5-38)}; & 38 < x < 38,5 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{panas}[x] = \begin{cases} 0; & x < 38 \\ \frac{(x-38)}{(38,5-38)}; & 38 \leq x \leq 38,5 \\ 1; & x > 38,5 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{rendah}[x] = \begin{cases} 1; & x < 45 \\ \frac{(55-x)}{(55-45)}; & 45 \leq x \leq 55 \\ 0; & x > 55 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{normal}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 45 \text{ atau } x \geq 75 \\ \frac{(x-45)}{(55-45)}; & 45 < x < 55 \\ 1; & 55 \leq x \leq 65 \\ \frac{(75-x)}{(75-65)}; & 65 < x < 75 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{tinggi}[x] = \begin{cases} 0; & x < 65 \\ \frac{(x-65)}{(75-65)}; & 65 \leq x \leq 75 \\ 1; & x > 75 \end{cases} \quad (10)$$

Setelah proses fuzzifikasi, langkah berikutnya adalah proses inferensi menggunakan aturan-aturan logika (*rule base*) yang telah ditetapkan. *Rule base* yang digunakan pada penelitian terdiri dari sejumlah aturan IF-THEN yang merepresentasikan hubungan antara kondisi suhu dan kelembapan terhadap jumlah lampu yang harus dinyalakan.

Dalam penelitian ini, digunakan 9 aturan fuzzy, dengan variabel *input* berupa suhu (°C) dan kelembapan (%), serta *output* berupa jumlah lampu yang harus menyala (0, 1, 2, 3). Sebagai ilustrasi, pada kondisi input dengan suhu sebesar 30.5°C dan kelembapan sebesar 68%, berikut ini aturan yang digunakan dan penerapannya:

1. [R1] IF suhu “dingin” AND kelembapan “rendah”, THEN jumlah lampu 2.
 $\alpha_1 = \min(1, 0) = 0$
 $z_1 = 0$
2. [R2] IF suhu “dingin” AND kelembapan “normal”, THEN jumlah lampu 3.
 $\alpha_2 = \min(1, 0.7) = 0.7$
 $z_2 = 3$
3. [R3] IF suhu “dingin” AND kelembapan “tinggi”, THEN jumlah lampu 3.
 $\alpha_3 = \min(1, 0.3) = 0.3$
 $z_3 = 3$
4. [R4] IF suhu “normal” AND kelembapan “rendah”, THEN jumlah lampu 2.
 $\alpha_4 = \min(0, 0) = 0$
 $z_4 = 0$
5. [R5] IF suhu “normal” AND kelembapan “normal”, THEN jumlah lampu 1.
 $\alpha_5 = \min(0, 0.7) = 0$
 $z_5 = 0$
6. [R6] IF suhu “normal” AND kelembapan “tinggi”, THEN jumlah lampu 2.
 $\alpha_6 = \min(0, 0.3) = 0$
 $z_6 = 0$
7. [R7] IF suhu “panas” AND kelembapan “rendah”, THEN jumlah lampu 0.
 $\alpha_7 = \min(0, 0) = 0$
 $z_7 = 0$
8. [R8] IF suhu “panas” AND kelembapan “normal”, THEN jumlah lampu 0.
 $\alpha_8 = \min(0, 0.7) = 0$
 $z_8 = 0$
9. [R9] IF suhu “panas” AND kelembapan “tinggi”, THEN jumlah lampu 0.
 $\alpha_9 = \min(0, 0.3) = 0$
 $z_9 = 0$

Selanjutnya, hasil akhir diperoleh pada tahap defuzzifikasi menggunakan metode rata-rata berbobot.

$$z = \frac{(0 \times 0) + (0.7 \times 3) + (0.3 \times 3) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0 \times 0) + (0 \times 0)}{0 + 0.7 + 0.3 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0} = \frac{3}{1} = 3$$

Berdasarkan input suhu 30.5°C dan kelembapan 68%, hasil defuzzifikasi menghasilkan output sebesar 3, sehingga sistem merekomendasikan untuk menyalakan 3 lampu.

Pengujian Monitoring dan Controlling Alat Tetas Telur

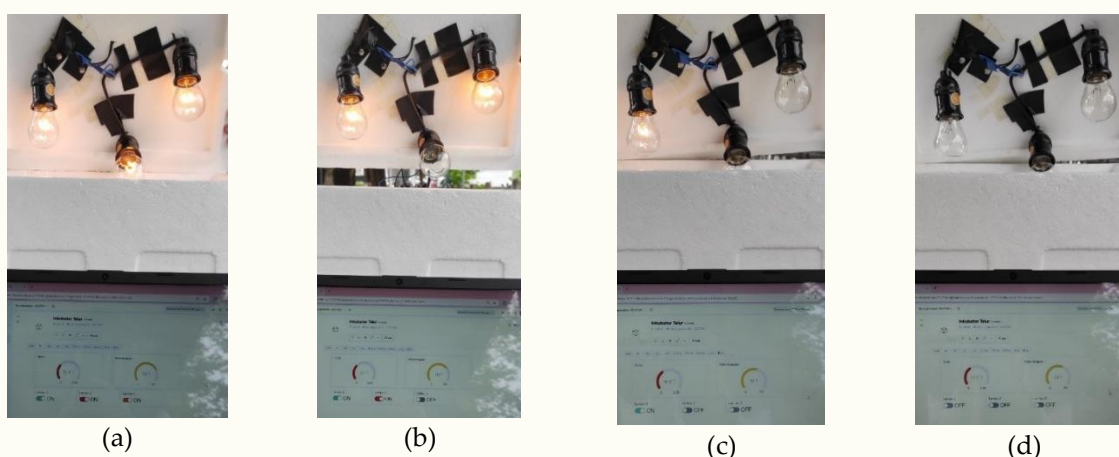
Hasil pengujian alat tetas yang telah diintegrasikan dengan sistem logika fuzzy disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Monitoring dan Controlling Alat Tetas Telur

No	Waktu (detik)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Jumlah Lampu
1	10	30.5	68	3
2	20	30.5	69	3
3	30	30.5	76	3
4	40	30.8	76	3
:	:	:	:	:
7	70	32	70	2
:	:	:	:	:

21	210	36.9	56	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
32	320	37.1	59	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
199	1990	37.1	57	0
200	2000	37	55	1

Berdasarkan hasil pengujian implementasi logika fuzzy Tsukamoto pada sistem monitoring dan *controlling* alat tetas telur, sistem mampu mengaktifkan lampu pemanas pada alat penetas telur secara tepat sesuai dengan hasil perhitungan logika fuzzy. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 10(a) yang mengacu pada data pengujian ke-4 dengan suhu 30,8 °C dan kelembapan 76%, Gambar 10(b) yang mengacu pada data pengujian ke-7 dengan suhu 32 °C dan kelembapan 70%, Gambar 10(c) yang mengacu pada data pengujian ke-21 dengan suhu 36,9 °C dan kelembapan 59%, dan Gambar 10(d) yang mengacu pada data pengujian ke-32 dengan suhu 37,1 °C dan kelembapan 59% di mana lampu berhasil menyala sesuai dengan hasil pengujian fuzzy yang diperoleh.



Gambar 10. Kondisi lampu pada data hasil pengujian logika fuzzy: (a) data ke-4, (b) data ke-7, (c) data ke-21, dan (d) data ke-32

Berdasarkan Tabel 2 pada 30 detik pertama menunjukkan suhu berada pada 30.5 °C dan kelembapan mencapai 76% hal ini dikarenakan ruangan tempat alat tetas telur disimpan cukup lembap dan lampu pada alat tersebut juga belum dinyalakan. Untuk mencapai suhu normal dengan cepat (37°C – 38°C) maka lampu yang dinyalakan berjumlah 3 buah dikarenakan suhu yang didapat cukup rendah dengan kelembapan yang tergolong tinggi. Setelah menunggu selama kurang lebih 320 detik, suhu pada alat tetas telur mencapai nilai normal pada 37.1°C begitu juga dengan kelembapan yang mencapai 59%, di mana ketika mencapai nilai normal tersebut maka alat akan mematikan semua lampu sesuai dengan hasil perhitungan logika fuzzy. Kemudian selama 2000 detik alat tetap dinyalakan, suhu dan kelembapan tergolong cukup stabil dengan suhu berada pada kisaran 37°C – 37.1°C dan kelembapan berada pada 55 % – 57 %, serta lampu yang menyala antara 0 dan 1.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *monitoring* dan *controlling* suhu serta kelembapan pada inkubator telur ayam berbasis IoT dan Fuzzy Tsukamoto berhasil diimplementasikan dengan baik, di mana sistem mampu mengatur kondisi lingkungan inkubator secara otomatis berdasarkan banyaknya lampu yang menyala (0, 1, 2, 3 lampu). Sistem mencatat data pemantauan secara real time setiap 10 detik. Dari 200 kali pengujian, banyaknya lampu yang menyala sesuai dengan hasil inferensi Fuzzy Tsukamoto yang menunjukkan bahwa sistem berhasil melakukan pengendalian suhu dan kelembapan secara akurat. Oleh karena itu, sistem berhasil

mengurangi ketergantungan terhadap pengaturan manual yang berisiko menimbulkan kesalahan. Keberhasilan ini menunjukkan potensi besar penerapan logika fuzzy dalam sistem otomatisasi inkubasi, dan untuk pengembangan lebih lanjut disarankan integrasi sistem pembalik telur otomatis menggunakan motor servo atau motor stepper yang dapat dijadwalkan melalui RTC (Real Time Clock) untuk membalik telur setiap 4-6 jam, pengembangan antarmuka pengguna berbasis mobile, serta penerapan pada skala inkubasi yang lebih besar untuk menguji keandalannya dalam berbagai kondisi lingkungan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Dellas, D. N., Purnamasari, I., & Rizki, N. A. (2020). Fuzzy Inference System Using Tsukamoto Method For Making Decision of Production (Case Study: PT Waru Kaltim Plantation). *METIK JURNAL*, 4(2), 76–82. <https://doi.org/10.47002/metik.v4i2.171>
- Derafi, R., Ullah, A., Maria, P. S., & Faizal, A. (2024). Pemantauan Kelembapan dan Pengendalian Suhu Serta Pemberian Nutrisi Selada di Prototype Greenhouse dengan Nutrient Film Technique Berbasis IoT. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 8(3), 1250-1261. <https://doi.org/10.30865/mib.v8i3.7674>
- Dutta, P., & Anjum, N. (2021). Optimization of Temperature and Relative Humidity in an Automatic Egg Incubator Using Mamdani Fuzzy Inference System. *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, 12–16. <https://doi.org/10.1109/ICREST51555.2021.9331155>
- Fathurrohman, F. (2022). Sistem Pengendali Suhu Dan Kelembaban Inkubator Telur Berbasis Fuzzy Institut Teknologi Telkom Purwokerto. <http://repository.ittelkom-pwt.ac.id/id/eprint/7973>
- Iksan, N., Hidayati, L., Andrasto, T., & Fathoni, K. (2022). Sistem Kendali Suhu dan Kelembapan pada Alat Penetas Telur Berbasis Fuzzy Logic Controller. *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 8(2), 245-254. <https://doi.org/10.26418/jp.v8i2.53246>
- Islamiyah, M., & Arifin, S. (2023). Control Sistem Inkubator Telur Ayam Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *POSITIF: Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi*, 9(2), 123–129. <https://doi.org/10.31961/positif.v9i2.2037>
- Larasati, I., Setyaningsih, N. Y. D., & Iqbal, M. (2019). Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu Pada Penetas Telur Ayam Berbasis Java Menggunakan Fuzzy Logic Control. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 10(1), 127–134. <https://doi.org/10.24176/simet.v10i1.2826>
- Maulana, Y. Z., Fathurrohman, F., & Wibisono, G. (2023). Egg Incubator Temperature and Humidity Control Using Fuzzy Logic Controller. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 7(2), 318–325. <https://doi.org/10.29207/resti.v7i2.4728>
- Mentari, P. D. (2022). Implementasi Fuzzy Logic Mamdani Pada Sistem Notifikasi Penetas Telur Ayam Kampung Dengan Teknologi Iot. <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/64634>
- Permana, A. D. (2020). Design and Development of Fuzzy Logic Application Tsukamoto Method in Predicting the Number of Covid-19 Positive Cases in West Java. *International Journal of Global Operations Research*, 1(2), 85–95.
- Pradana, F., Bachtiar, F. A., & Widasari, E. R. (2022). Fuzzy Tsukamoto Implementation to Detect Physiological Condition on IoT-Based e-Learning Users. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(7), 663–667. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.7.1668>
- Ruuhwan, R., Rizal, R., & Karyana, I. (2019). Sistem Kendali dan Monitoring Pada Rumah Pintar Berbasis Internet of Things (IoT). *Innovation in Research of Informatics (INNOVATICS)*, 1(2), 43-50. <https://doi.org/10.37058/innovatics.v1i2.877>

- Saputra, E. W. (2020). Optimasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Mamdani Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Penentuan Penerima Beasiswa. *SIMADA (Jurnal Sistem Informasi Dan Manajemen Basis Data)*, 2(2), 160–175. <https://doi.org/10.30873/simada.v2i2.1789>
- Setiawan, T. H., & Prihatini, L. (2023). Tsukamoto Fuzzy in Optimizing the Creditworthiness Assessment Process At Savings and Loan Cooperatives. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 17(2), 0775–0786. <https://doi.org/10.30598/barekengvol17iss2pp0775-0786>
- Setyawan, A., Yulianto, & Budi, E. S. (2024). Penetas Telur ayam Otomatis dengan Metode Fuzzy Logic Control Dalam Upaya Meningkatkan Penetasan. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 11(1), 54–64. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i1.3488>
- Sihaloho, T. P., Nasution, M. K. M., & Situmorang, Z. (2020). Level of student satisfaction on lecturer performance with fuzzy inference system (FIS) tsukamoto method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 725(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012130>
- Simangunsong, W. K., Manurung, C. T. H., & Suciningtyas, I. K. L. N. (2025). Rancang Bangun Alat Penetas Telur dengan Sistem Pengendali Suhu dan Kelembapan Menggunakan Metode Fuzzy dan Monitoring Berbasis IoT. *JURNAL INTEGRASI*, 17(1), 70–79. <https://doi.org/10.30871/ji.v17i1.9478>
- Sunardi, S., Yudhana, A., & Furizal, F. (2023). Impact of Fuzzy Tsukamoto in Controlling Room Temperature and Humidity. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 7(2), 221–242. <https://doi.org/10.29407/intensif.v7i2.19652>
- Syahidi, A. A., Biabdillah, F., & Bachtiar, F. A. (2019). Perancangan dan Implementasi Fuzzy Inference System (FIS) Metode Tsukamoto pada Penentuan Penghuni Asrama. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 6(1), 55–62. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2019611228>
- Trinitariyani, P., Winarso, A., & Detha, A. I. . (2023). Pengaruh Suhu Dan Lama Penyimpanan Pada Kualitas Fisik Dan Mikrobiologis Telur Ayam Ras. *Jurnal Veteriner Nusantara*, 6(2), 306–316. <https://doi.org/10.35508/jvn.v6i2.8378>
- Triyanto, A., & Kusnadi, H. (2023). Implementasi Inkubator Penetas Telur Ayam Berbasis IoT Menggunakan Aplikasi Blynk. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Aplikasi*, 6(2), 47–53.
- Wahyuni, R., Irawan, Y., Febriani, A., Nurhadi, N., Tri Saputra, H., & Andrianto, R. (2024). Smart Egg Incubator Based on IoT and AI Technology for Modern Poultry Farming. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 16(2), 134–144. <https://doi.org/10.33096/ilkom.v16i2.1957.134-144>
- Walid, M., Ashar, M., & Wahyudi, M. H. (2024). Smart Drip Irrigation System Based on IoT Using Fuzzy Logic. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 8(1), 52–67. <https://doi.org/10.29407/intensif.v8i1.21351>
- Yalcin, S., Özkan, S., & Shah, T. (2022). Incubation Temperature and Lighting: Effect on Embryonic Development, Post-Hatch Growth, and Adaptive Response. *Frontiers in Physiology*, 13(May), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.899977>
- Zalaludin, A. (2023). Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Mesin Penetas Telur Berbasis Internet Of Things. <http://eprints.amikom.ac.id/id/eprint/18349>