

## ***Fuzzy Logic-Arduino Based Smart Incubator Untuk Perawatan Kucing Pasca Operasi***

**Muhammad Rafly Maulana Akbar<sup>1\*</sup>, Rini Puji Astutik<sup>2</sup>**

<sup>1\*,2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia

\*e-mail: [\\*muhammadraflymaulanaakbar@gmail.com](mailto:muhammadraflymaulanaakbar@gmail.com), [astutik\\_rpa@umg.ac.id](mailto:astutik_rpa@umg.ac.id)

### **ABSTRAK**

Penelitian ini mengembangkan prototipe inkubator cerdas berbasis Arduino dengan kendali logika fuzzy untuk mendukung perawatan kucing pascaoperasi, khususnya dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembapan ruang inkubasi. Sistem menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur parameter lingkungan, lampu pijar sebagai elemen pemanas, kipas DC sebagai aktuator pendingin, serta modul ESP32-CAM untuk pemantauan visual secara real time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki akurasi yang baik, dengan selisih pembacaan  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  untuk suhu dan  $\pm 2\%$  RH untuk kelembapan dibandingkan alat acuan. Elemen pemanas mampu meningkatkan suhu secara bertahap sebesar  $0,9\text{--}1,4^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ , sedangkan kipas DC menurunkan suhu pada kisaran  $0,8\text{--}1,2^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ . Sistem fuzzy Mamdani mampu mengatur kerja pemanas dan kipas secara adaptif sesuai kondisi lingkungan, sehingga suhu dapat dipertahankan stabil pada rentang  $38\text{--}39^{\circ}\text{C}$  tanpa fluktuasi signifikan. Pemantauan melalui ESP32-CAM menunjukkan latensi  $< 1$  detik, dan modul UV-C berfungsi sesuai pengaturan tanpa interferensi dengan sistem kendali. Secara keseluruhan, prototipe inkubator menunjukkan kinerja yang stabil, responsif, dan aman, serta memberikan pengendalian termal yang lebih halus dibandingkan metode on-off konvensional.

Kata Kunci: inkubator kucing, fuzzy logic, Arduino, kontrol suhu, pascaoperasi.

## ***Fuzzy Logic–Arduino Based Smart Incubator for Post-Operative Cat Care***

### **ABSTRACT**

*This study presents the development of a smart incubator prototype based on Arduino and Mamdani fuzzy logic control to support post-operative cat care, particularly in maintaining stable temperature and humidity within the incubation chamber. The system integrates a DHT22 sensor for environmental measurement, an incandescent lamp as the heating element, a DC fan as the cooling actuator, and an ESP32-CAM module for real-time visual monitoring. Experimental results demonstrate that the sensor measurements show good accuracy, with deviations of  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  for temperature and  $\pm 2\%$  RH for humidity compared to reference instruments. The heating element increases the chamber temperature gradually at  $0.9\text{--}1.4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , while the DC fan decreases temperature at  $0.8\text{--}1.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . The Mamdani fuzzy controller effectively regulates the heater and fan based on environmental conditions, maintaining a stable temperature of  $38\text{--}39^{\circ}\text{C}$  without significant fluctuations. Real-time monitoring via ESP32-CAM exhibits latency below 1 second, and the UV-C sterilization module operates according to preset logic without interference with the control system. Overall, the prototype demonstrates stable, responsive, and safe performance, providing smoother thermal regulation compared to conventional on-off control methods.*

**Keywords:** *at incubator, fuzzy logic, Arduino, temperature control, post-operative care.*

## **I. PENDAHULUAN**

Minat masyarakat terhadap pemeliharaan kucing sebagai hewan peliharaan terus meningkat, sehingga kebutuhan akan penanganan medis yang tepat juga semakin tinggi. Kucing yang menjalani prosedur pembedahan—seperti ovariohisterektomi—memerlukan pemantauan intensif pada fase pascaoperasi untuk mencegah komplikasi fisiologis yang berpotensi mengancam keselamatan hewan [1], [2]. Salah satu komplikasi yang paling sering terjadi adalah hipotermia,

yaitu kondisi ketika suhu tubuh turun di bawah batas normal akibat terganggunya mekanisme termoregulasi [3]. Penurunan suhu inti tubuh sebesar 1°C saja dapat meningkatkan risiko nyeri, memperpanjang pemulihan anestesi, meningkatkan perdarahan intraoperatif, serta menurunkan fungsi imun [4], [5].

Dalam praktik veteriner, pencegahan hipotermia umumnya dilakukan melalui penggunaan pemanas eksternal seperti matras pemanas, pemanas inframerah, atau inkubator. Namun, sebagian besar perangkat tersebut belum dilengkapi sistem kontrol suhu otomatis, sehingga suhu cenderung berubah secara fluktuatif dan berpotensi membahayakan pasien. Beberapa penelitian terkait inkubator hewan menunjukkan perlunya sistem kontrol suhu otomatis untuk menjaga stabilitas termal yang sesuai bagi pemulihan pascaoperasi, yaitu pada rentang 38–39°C [6].

Kemajuan teknologi mikrokontroler seperti Arduino memungkinkan pengembangan sistem kontrol suhu yang lebih adaptif dan responsif [7]. Metode logika fuzzy merupakan salah satu teknik kendali nonlinier yang banyak digunakan karena mampu meniru cara manusia mengambil keputusan secara linguistik dan menghasilkan respons yang lebih halus dibandingkan metode on-off konvensional [26]. Sistem fuzzy telah diaplikasikan pada berbagai perangkat seperti inkubator bayi, inkubator telur, dan sistem termal berbasis PWM, dan terbukti mampu mempertahankan suhu secara stabil dengan error yang rendah [7], [15].

Selain stabilitas termal, kebersihan ruang inkubasi merupakan aspek penting untuk mencegah infeksi setelah operasi. Teknologi UV-C telah digunakan secara luas untuk sterilisasi ruang tertutup karena kemampuannya merusak materi genetik mikroorganisme secara efektif [8], [20]. Sementara itu, penggunaan ESP32-CAM memungkinkan pemantauan kondisi hewan secara real time tanpa harus membuka ruang inkubasi, sehingga menjaga kestabilan suhu dan mengurangi gangguan terhadap pasien.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan inkubator kucing pascaoperasi berbasis Arduino dengan metode fuzzy Mamdani, dilengkapi pengaturan pemanas berbasis dimmer AC, pendingin berupa kipas DC, sensor DHT22 sebagai pengukur suhu dan kelembapan, lampu UV-C sebagai sistem sterilisasi, serta monitoring visual menggunakan ESP32-CAM. Sistem ini diharapkan mampu menjaga kondisi termal ruang inkubasi agar tetap stabil, aman, dan sesuai kebutuhan klinis pasien pascaoperasi..

## **METODE PENELITIAN**

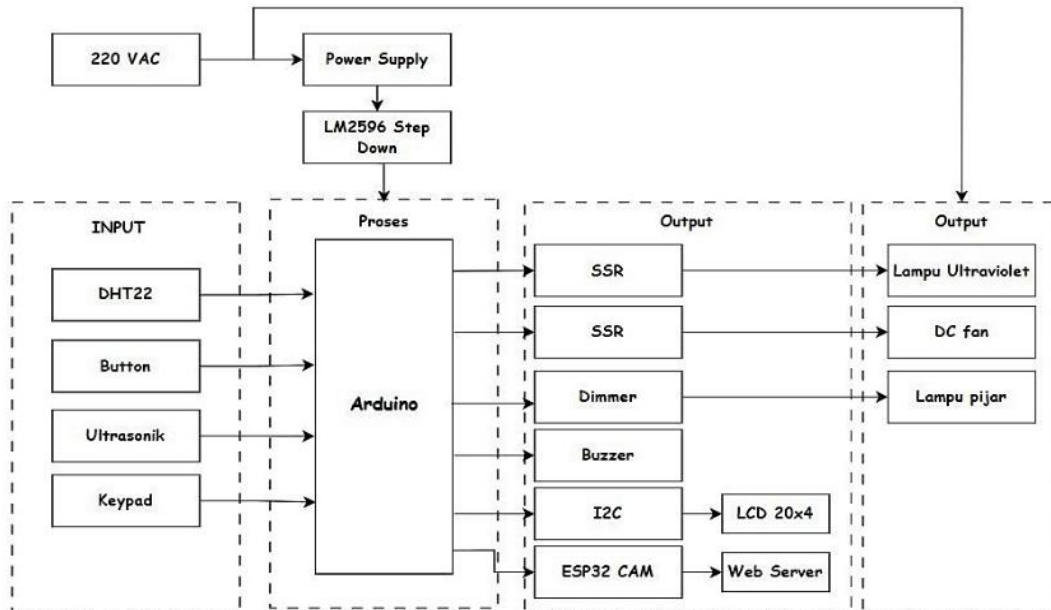
### **Desain Sistem dan Blok Diagram**

Sistem inkubator dirancang untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan ruang inkubasi bagi kucing pascaoperasi melalui integrasi mikrokontroler Arduino Mega, sensor suhu–kelembapan DHT22, dimmer lampu pijar sebagai pemanas, kipas DC sebagai pendingin, modul UV-C sebagai sterilisasi, serta ESP32-CAM untuk pemantauan real time. Arduino dipilih karena memiliki kompatibilitas luas dengan berbagai sensor dan aktuator serta dokumentasi teknis yang lengkap [13], [14].

Sensor DHT22 digunakan sebagai input utama karena memiliki akurasi tinggi ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;  $\pm 2\%$  RH) dan telah banyak diterapkan pada sistem termal ruang tertutup [15], [16], [25]. Data suhu dan kelembapan diproses menggunakan sistem kendali fuzzy Mamdani untuk menentukan intensitas pemanas dan kecepatan kipas. Metode fuzzy dipilih karena mampu menangani ketidakpastian termal serta menghasilkan respons yang lebih halus dibandingkan pengendalian on-off [7], [26].

Sterilisasi UV-C dapat diaktifkan melalui keypad sebelum inkubator digunakan, sesuai durasi yang diinput, mengingat UV-C efektif menonaktifkan mikroorganisme dengan merusak DNA sel [8], [20]. Sementara itu, ESP32-CAM berfungsi sebagai kamera pemantau berbasis web server lokal, sehingga pemantauan dapat dilakukan tanpa membuka ruang inkubasi [9]. Blok diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 1.





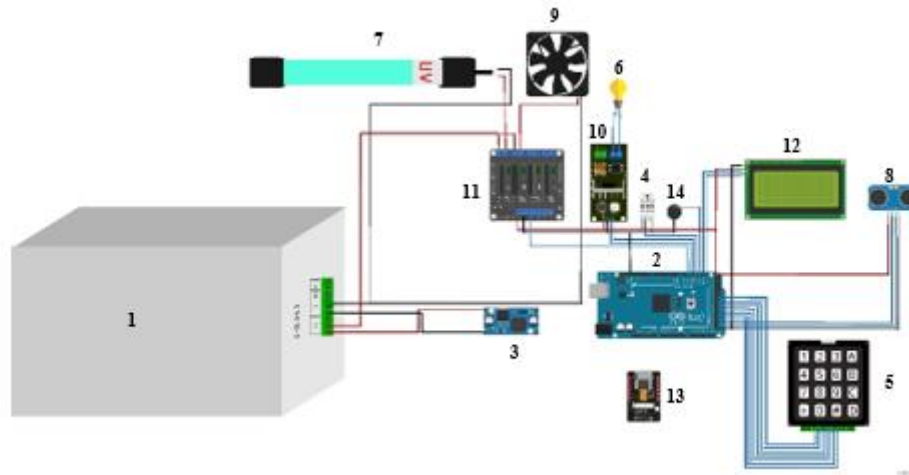
Gambar 1 Blok Diagram Perancangan

### Skematik Sistem

Sistem inkubator dirancang untuk mengontrol suhu dan kelembapan ruang inkubasi secara otomatis menggunakan kendali logika fuzzy berbasis Arduino. Parameter lingkungan diukur oleh sensor DHT22, sedangkan pengaturan suhu dilakukan melalui pemanas berbasis lampu pijar yang dikendalikan modul dimmer AC. Pendinginan ruang dilakukan oleh kipas DC dengan kontrol PWM. Selain itu, ESP32-CAM digunakan sebagai modul pemantauan real time, dan lampu UV-C ditambahkan sebagai sistem sterilisasi ruang inkubasi.

Skematik sistem diperlihatkan pada Gambar 2. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Power Supply sebagai sumber daya utama.
2. Arduino Mega sebagai mikrokontroler pusat untuk pengolahan data dan kendali aktuator.
3. Step Down LM2596 untuk menurunkan tegangan sesuai kebutuhan komponen.
4. Sensor DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembapan ruang inkubasi.
5. Keypad 4×4 sebagai perangkat input numerik untuk setpoint suhu dan durasi sterilisasi UV.
6. Lampu pijar sebagai elemen pemanas utama.
7. Lampu ultraviolet (UV-C) untuk fungsi sterilisasi.
8. Sensor ultrasonik untuk deteksi objek atau pengukuran jarak di dalam inkubator.
9. Fan DC sebagai aktuator pendingin dan sirkulasi udara.
10. AC Light Dimmer untuk mengatur intensitas lampu pijar.
11. Modul SSR (Solid State Relay) untuk kontrol daya lampu AC.
12. LCD 20×4 untuk menampilkan kondisi sistem secara real time.
13. ESP32-CAM untuk pemantauan visual melalui jaringan.
14. Buzzer sebagai indikator alarm atau notifikasi sistem.



Gambar 1 Schematic Diagram

### Fuzzifikasi

Fuzzifikasi dilakukan dengan mengubah nilai crisp suhu dan kelembapan menjadi derajat keanggotaan (0–1). Rentang suhu ditetapkan berdasarkan kebutuhan klinis pasien kucing pascaoperasi, yaitu berada pada 38–41°C [2], [4], [6].

### Fungsi Keanggotaan Suhu (T)

Tiga kategori digunakan: dingin, ideal, dan panas. Fungsi keanggotaan menggunakan kurva segitiga/trapesium yang lazim pada sistem kontrol termal fuzzy Mamdani [26].

- <37°C : dingin
- 37–41°C : ideal
- >41°C : panas

Fungsi keanggotaan berbentuk kurva segitiga/trapesium

$$:u_{Dingin}(T) = \begin{cases} 1, & T \leq 30^{\circ}C \\ \frac{32-T}{32-30}, & 30^{\circ}C < T < 28^{\circ}C \\ 0, & T \geq 32^{\circ}C \end{cases} \quad (1)$$

$$u_{Ideal}(T) = \begin{cases} 0, & T \leq 31^{\circ}C \\ \frac{T-31}{33-31}, & 31^{\circ}C < T < 33^{\circ}C \\ 1, & 33^{\circ}C \leq T \leq 35^{\circ}C \\ \frac{36-T}{36-35}, & 35^{\circ}C < T < 26^{\circ}C \\ 0, & T \geq 36^{\circ}C \end{cases} \quad (2)$$

$$u_{Panas}(T) = \begin{cases} 0, & T \leq 34^{\circ}C \\ \frac{T-34}{36-34}, & 34^{\circ}C < T < 26^{\circ}C \\ 1, & T \geq 36^{\circ}C \end{cases} \quad (3)$$

### Fungsi Keanggotaan Kelembapan (H)

Rentang kelembapan 50–70% RH digunakan mengacu pada standar kenyamanan lingkungan ruang tertutup yang aman bagi hewan [25]. Tiga himpunan fuzzy didefinisikan: rendah, sedang, dan tinggi. Rentang kelembapan inkubator ditetapkan antara 50–70% RH, dengan pembagian:

<55% : rendah  
55–65% : sedang  
>65% : tinggi

Dengan fungsi:

$$u_{Rendah}(H) = \begin{cases} 1, & H \leq 50^{\circ}C \\ \frac{55-H}{55-50}, & 50^{\circ}C < H < 55^{\circ}C \\ 0, & H \geq 55^{\circ}C \end{cases} \quad (4)$$

$$u_{Sedang}(H) = \begin{cases} 0, & H \leq 52^{\circ}C \\ \frac{H-52}{55-52}, & 52^{\circ}C < H < 55^{\circ}C \\ 1, & 55^{\circ}C \leq H \leq 65^{\circ}C \\ \frac{70-H}{70-65}, & 65^{\circ}C < H < 70^{\circ}C \\ 0, & H \geq 70^{\circ}C \end{cases} \quad (5)$$

$$u_{Tinggi}(H) = \begin{cases} 0, & H \leq 60^{\circ}C \\ \frac{H-60}{68-60}, & 60^{\circ}C < H < 68^{\circ}C \\ 1, & H \geq 68^{\circ}C \end{cases} \quad (6)$$

### Fungsi Keanggotaan Output

Aktuator yang dikendalikan meliputi kipas DC dan lampu pijar melalui sinyal PWM (0–255). Lampu pijar digunakan sebagai elemen pemanas karena stabil dan dapat diatur menggunakan dimmer berbasis TRIAC [18], [19], [22], sementara kipas DC diatur melalui PWM untuk menghasilkan variasi sirkulasi udara [24].

Output fuzzy didefinisikan menjadi:

Kipas : lambat, sedang, cepat

Lampu : mati, sedang, penuh

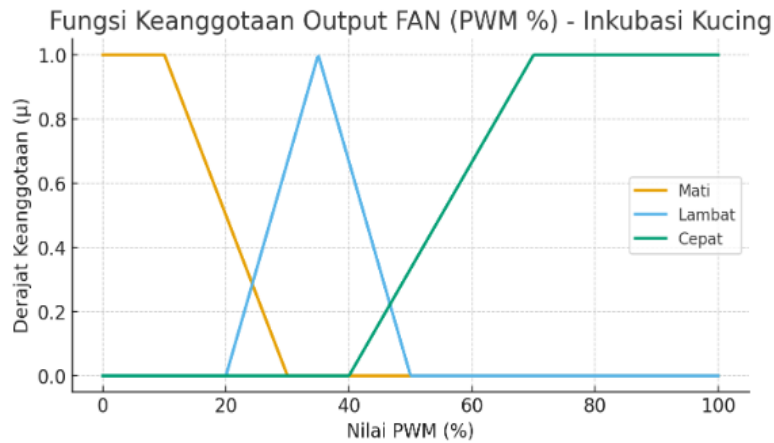
Tiap output menggunakan fungsi trapesium/segitiga dengan rentang teratur

$$\mu_{Lampu\ Penuh}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 160^{\circ}C \\ \frac{x-160}{40}, & 160^{\circ}C < x < 200^{\circ}C \\ 1, & x \geq 200^{\circ}C \end{cases} \quad (7)$$

Tabel 1 Fungsi Keanggotaan Output

Output	a	b	c	d	Keterangan
Kipas Lambat	0	0	50	100	Kipas berputar pelan
Kipas Sedang	80	120	150	180	Kecepatan sedang
Kipas Cepat	160	200	255	255	Kecepatan maksimum
Lampu Mati	0	0	40	80	Lampu padam penuh
Lampu Sedang	70	100	150	180	Intensitas menengah
Lampu Nyala Penuh	160	200	255	255	Lampu menyala terang penuh

Diagram fungsi keanggotaan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 2 Grafik Fungsi Keanggotaan *Output*

**Aturan Fuzzy (Rule Base)**

Rule base dirancang untuk menentukan aksi kontrol berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan. Penyusunan aturan fuzzy mempertimbangkan karakteristik sistem termal inkubator sebagaimana banyak diterapkan pada inkubator bayi, inkubator mikroba, dan sistem termal nonlinier lainnya [7], [26]. Penyusunan aturan mempertimbangkan dinamika termal ruang tertutup berikut

- suhu dingin → pemanas tinggi
- suhu panas → kipas cepat, pemanas mati
- kelembapan sangat tinggi → kipas diprioritaskan
- suhu ideal → kipas rendah, pemanas rendah

dimana *rule base* terdiri dari 9 aturan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 *Rule Base*

No	Suhu	Kelembaban	IF (Kondisi)	THEN (Kipas)	THEN (Lampu Pijar)
1	Dingin	Rendah	IF Suhu dingin AND Kelembaban rendah	Kipas Lambat	Terang
2	Dingin	Sedang	IF Suhu dingin AND Kelembaban sedang	Kipas Lambat	Terang
3	Dingin	Tinggi	IF Suhu dingin AND Kelembaban tinggi	Kipas Lambat	Terang
4	Ideal	Rendah	IF Suhu ideal AND Kelembaban rendah	Kipas Sedang	Redup
5	Ideal	Sedang	IF Suhu ideal AND Kelembaban sedang	Kipas Sedang	Redup
6	Ideal	Tinggi	IF Suhu ideal AND Kelembaban tinggi	Kipas Sedang	Redup
7	Panas	Rendah	IF Suhu panas AND Kelembaban rendah	Kipas Cepat	Mati



8	Panas	Sedang	IF Suhu panas AND Kelembaban sedang	Kipas Cepat	Mati
9	Panas	Tinggi	IF Suhu panas AND Kelembaban tinggi	Kipas Cepat	Mati

**Inferensi dan Defuzzifikasi**

Metode Mamdani digunakan dalam proses inferensi, karena merupakan metode yang paling umum digunakan untuk sistem kontrol suhu dan ruang tertutup [26]. Operator minimum digunakan sebagai implikasi dan operator maksimum sebagai agregasi aturan.

Defuzzifikasi dilakukan menggunakan metode *centroid*, yang dikenal memberikan nilai keluaran paling halus dan stabil untuk sistem kontrol termal [7]. Hasil defuzzifikasi berupa nilai crisp kemudian dikonversi menjadi sinyal PWM untuk mengatur dimmer lampu pijar dan driver kipas DC.

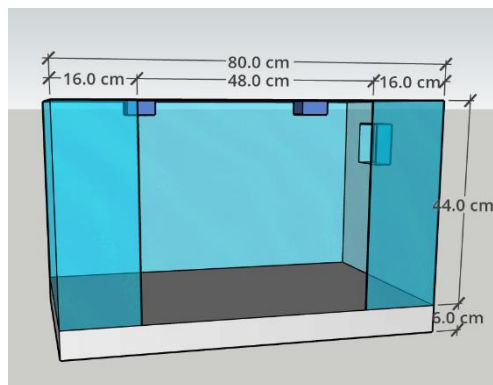
Nilai crisp ditentukan melalui metode *defuzzifikasi Centroid*

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \times z_i}{\sum_{i=1}^n u_i} \tag{7}$$

Nilai Z digunakan untuk menentukan besaran PWM yang dikirim ke dimmer lampu pijar dan driver kipas DC. Sistem dijalankan dalam loop sehingga dapat merespon perubahan kondisi secara real-time.

**Desain Layout Prototype**

Prototipe menggunakan akrilik 5 mm berukuran 50 × 50 × 80 cm. Ruang pemanas dibuat terpisah menggunakan plat logam 1 mm untuk memastikan distribusi panas merata dan stabil. Dimensi ruang memastikan kucing hingga 5 kg dapat berada di dalamnya tanpa mengganggu aliran udara maupun penyebaran suhu. Desain prototipe ditunjukkan pada Gambar 4.



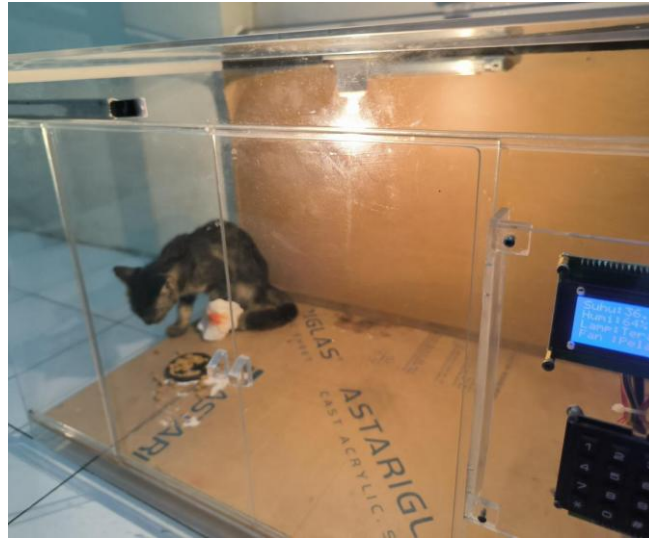
Gambar 3 Skema Prototipe

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Prototipe inkubator kucing pascaoperasi yang telah dirancang diimplementasikan dan diuji melalui beberapa tahapan pengujian yang mencakup performa sensor, kinerja aktuator, validasi sistem kontrol fuzzy, serta pengujian sistem secara menyeluruh. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi ruang tertutup untuk meniru situasi operasional inkubator saat digunakan oleh tenaga medis hewan.

Gambar 5 menunjukkan bentuk fisik prototipe inkubator yang telah dirakit lengkap dengan komponen sensor, aktuator, modul fuzzy, serta ESP32-CAM sebagai media pemantauan visual secara real time. Prototipe ini digunakan dalam seluruh pengujian berikut.



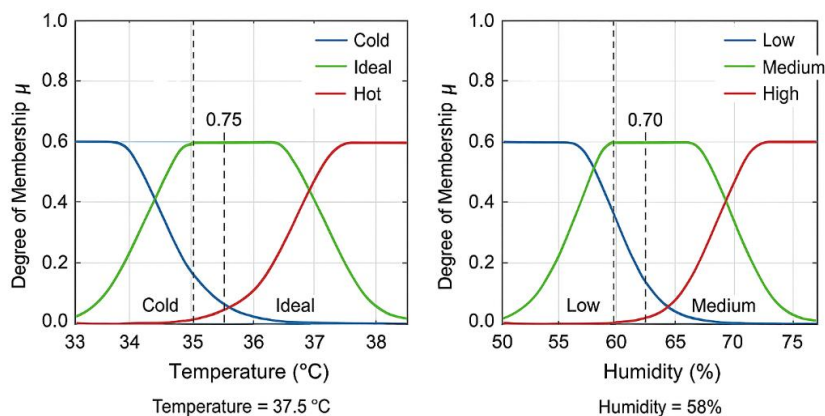


Gambar 4 Prototipe Aktual

### Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan

Sensor DHT22 diuji dengan cara membandingkan hasil pembacaannya dengan thermometer digital yang digunakan sebagai acuan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan akurasi sensor sebelum digunakan dalam sistem fuzzy, mengingat kesalahan pembacaan dapat menghasilkan keputusan kontrol yang tidak tepat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa selisih suhu rata-rata antara sensor DHT22 dan alat acuan adalah  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ , sementara selisih kelembapan sebesar  $\pm 2\%$  RH. Kedua nilai tersebut masih berada dalam rentang toleransi yang direkomendasikan oleh datasheet DHT22, sehingga sensor dianggap layak digunakan untuk aplikasi inkubator. Tingkat akurasi ini juga memastikan bahwa proses fuzzifikasi mendapatkan nilai input yang stabil dan responsif, sehingga pengendalian suhu melalui fuzzy Mamdani dapat berjalan optimal.



Gambar 5 Pengujian Sensor

### Pengujian Aktuator

#### Pengujian Lampu Pijar sebagai Elemen Pemanas

Lampu pijar dikendalikan menggunakan dimmer AC yang menerima sinyal PWM dari Arduino. Hasil pengujian menunjukkan bahwa intensitas pemanasan meningkat seiring naiknya nilai PWM. Ketika lampu berada pada kondisi redup (PWM 120), kenaikan suhu ruang inkubasi

tercatat sekitar 0,9°C per menit, sedangkan pada kondisi penuh (PWM 255), kenaikan mencapai 1,4°C per menit. Hal ini menunjukkan bahwa lampu pijar mampu memberikan pemanasan bertahap dan tidak menimbulkan lonjakan suhu tiba-tiba, sehingga cocok digunakan pada sistem kontrol berbasis fuzzy yang menekankan transisi halus. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Pengujian Lampu Pijar

PWM (%)	Kondisi Lampu	Peningkatan Suhu (°C/menit)
0	Mati	0
120	Redup	0,9
255	Terang penuh	1,4

### Pengujian Kipas DC sebagai Sistem Pendingin

Kipas DC diuji pada tiga tingkat kecepatan: lambat, sedang, dan cepat. Pada PWM 255, kipas berputar pada 2200 rpm dan mampu menurunkan suhu rata-rata 0,8–1,2°C per menit. Sementara itu, pada kecepatan sedang (120 PWM), sirkulasi udara cukup stabil untuk menjaga suhu pada batas ideal tanpa menyebabkan pendinginan berlebihan. Hasil ini menunjukkan bahwa kipas memiliki performa yang memadai untuk membantu kerja fuzzy dalam menjaga kestabilan suhu ruang inkubasi. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Pengujian Kipas DC

PWM	RPM	Kecepatan	Fungsi
80	790 rpm	Lambat	Sirkulasi ringan
120	1200 rpm	Sedang	Sirkulasi normal
255	2200 rpm	Cepat	Pendinginan cepat

### Pengujian Sistem Kontrol Fuzzy

Pengujian sistem fuzzy dilakukan dengan memberikan variasi kondisi suhu dan kelembapan untuk menilai kesesuaian output sistem terhadap rule base yang telah dirancang. Pengujian menggunakan beberapa titik input yang mewakili kondisi dingin, ideal, maupun panas. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5 Pengujian sistem fuzzy

Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kategori Input	Output Kipas	Output Lampu
33	52	Dingin–Rendah	Lambat	Terang
34	60	Dingin–Sedang	Lambat	Terang
33	70	Dingin–Tinggi	Lambat	Terang
37,5	58	Ideal–Sedang	Sedang	Redup
39	55	Panas–Rendah	Cepat	Mati
39	70	Panas–Tinggi	Cepat	Mati

Pada kondisi pengujian dengan suhu 37,5°C dan kelembapan 60%, nilai tersebut terlebih dahulu difuzzifikasi. Suhu 37,5°C memiliki derajat keanggotaan  $\mu_{\text{dingin}} = 0,5$ ,  $\mu_{\text{ideal}} = 0,5$ , dan  $\mu_{\text{panas}} = 0$ . Untuk kelembapan 60%, diperoleh  $\mu_{\text{rendah}} = 0$ ,  $\mu_{\text{sedang}} = 0,5$ , dan  $\mu_{\text{tinggi}} = 0$ . Dari nilai tersebut terdapat dua aturan yang aktif, yaitu aturan dingin–sedang yang menghasilkan keluaran kipas lambat dan lampu sedang, serta aturan ideal–sedang yang menghasilkan keluaran kipas sedang dan lampu mati; keduanya memiliki nilai  $\alpha = 0,5$ . Proses defuzzifikasi kemudian menggabungkan kedua keluaran tersebut. Untuk kipas, kombinasi kondisi

lambat (PWM 80) dan sedang (PWM 170) menghasilkan nilai akhir sekitar PWM 125. Untuk lampu, kombinasi antara kondisi sedang (50%) dan mati (0%) menghasilkan intensitas akhir sekitar 25%. Dengan demikian, untuk kondisi suhu 37,5°C dan kelembaban 60%, sistem fuzzy memberikan keputusan kipas bekerja pada kecepatan sedang dan lampu pijar menyala redup.

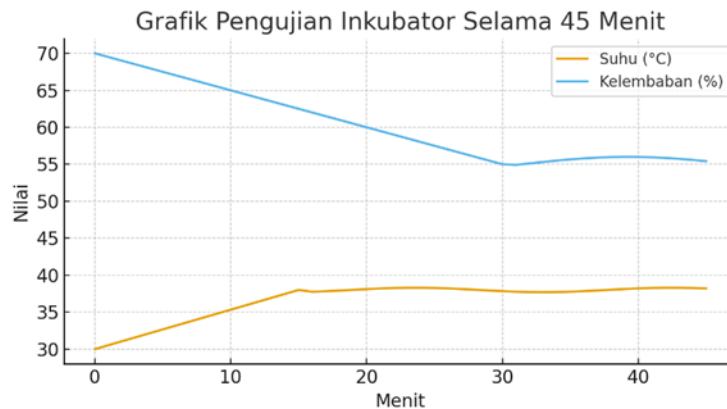
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* mampu memberikan keputusan yang sesuai dengan rule base yang telah dirancang. Ketika suhu rendah, lampu pijar menjadi elemen utama untuk pemanasan. Ketika suhu tinggi, kipas menjadi penurun suhu utama, sedangkan lampu pijar otomatis mati.

### Pengujian Keseluruhan Sistem pada Prototipe

Pengujian menyeluruh dilakukan selama 45 menit dengan mensimulasikan kondisi operasional inkubator yang memuat hewan pascaoperasi. Proses dimulai dengan pemanasan awal menggunakan lampu pijar pada intensitas penuh, diikuti dengan kontrol stabilisasi suhu oleh fuzzy.

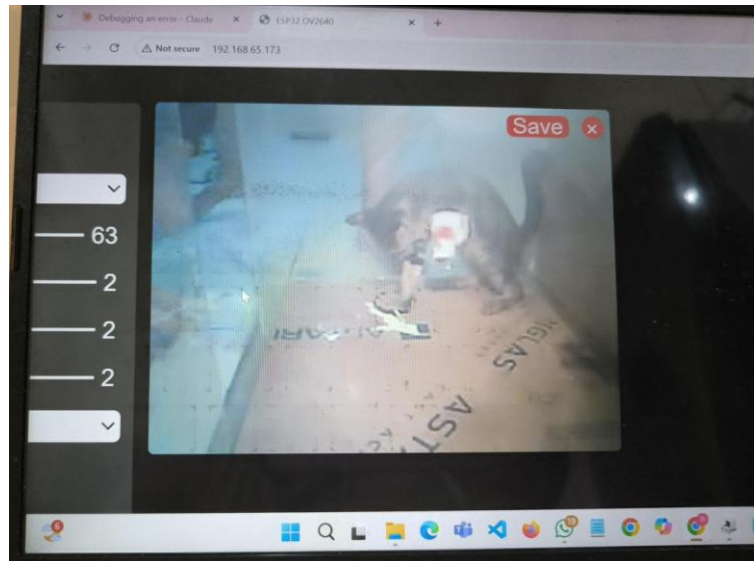
Pada fase pemanasan awal, suhu mencapai setpoint 38°C dalam waktu ±12 menit. Fase ini menunjukkan performa pemanas yang cukup efisien mengingat ruang inkubasi memiliki kapasitas volume yang cukup besar. Setelah mencapai batas setpoint, sistem fuzzy mengurangi intensitas lampu secara bertahap sambil meningkatkan kecepatan kipas untuk menahan suhu agar tetap stabil. Selama 33 menit berikutnya, sistem mampu menjaga suhu pada rentang 38–39°C, tanpa terjadi fluktuasi ekstrem atau lonjakan suhu yang dapat membahayakan hewan.

Kamera ESP32-CAM memberikan tampilan visual secara real time melalui web server lokal. Selama pengujian, keterlambatan transmisi (latency) berada pada kisaran <1 detik sehingga pemantauan dapat dilakukan secara nyaman tanpa gangguan. Selain itu, sistem sterilisasi UV bekerja sesuai durasi yang dimasukkan melalui keypad, dan tidak terjadi overlap atau kesalahan logika antara mode sterilisasi dan mode inkubasi.



Gambar 7. Grafik Pengujian Inkubator

Hasil pengujian keseluruhan menunjukkan bahwa prototipe inkubator mampu bekerja secara stabil, responsif, dan aman, baik dari sisi elektronik maupun mekanik. Kombinasi antara pemanas dan pendingin yang dikendalikan dengan fuzzy Mamdani terbukti memberikan kestabilan suhu yang lebih baik dibandingkan metode on-off konvensional, karena sistem bekerja dengan transisi halus tanpa menyebabkan osilasi suhu yang signifikan.



Gambar 8 Tampilan ESP32 Cam

## KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian, prototipe inkubator kucing pascaoperasi berbasis Arduino dan logika fuzzy bekerja stabil, responsif, dan aman. Sensor DHT22 terbukti akurat untuk pengukuran suhu dan kelembapan, memastikan sistem fuzzy mengambil keputusan kontrol dengan optimal. Lampu pijar memanaskan ruang secara bertahap, sementara kipas DC menjaga sirkulasi dan pendinginan sesuai kebutuhan. Sistem fuzzy Mamdani mampu mempertahankan suhu 38–39°C tanpa fluktuasi ekstrem. Pemantauan visual melalui ESP32-CAM berjalan real time dengan latensi rendah, dan sterilisasi UV beroperasi sesuai pengaturan tanpa konflik. Secara keseluruhan, kombinasi pemanas dan pendingin yang dikendalikan fuzzy memberikan kestabilan suhu lebih halus dan aman dibanding metode on-off, mendukung pemulihan kucing pascaoperasi..

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. F. Hariono, A. E. P. Haskito, R. Yessica, I. B. G. R. Wisesa, and M. Fadli, "Penanganan scabies pada kucing mix-persia di Rafa Pet's Care," *ARSHI Vet. Lett.*, vol. 5, no. 3, pp. 45–46,, doi: 10.29244/avl.5.3.45-46.
- [2] J. Cymbryłowicz, P. Jawor, H. Wierzbicki, P. Trębacz, and T. Stefaniak, "Postoperative monitoring of ovariohysterectomy carried out with two types of surgical sutures in shelter cats and differences in selected blood parameters between shelter and pet cats," *BMC Vet Res*, vol. 20, no. 1, doi: 10.1186/s12917-024-04177-7.
- [3] N. A. N. DalmasiaTrisna Dhiu, Tri Utami<sup>2</sup>, "Perbandingan Onset, Durasi Anestesi Dan Masa Pemulihan Dari Pemberian Kombinasi Anestesi Acepromasin-Propofol-Ketamin Dan Midazolam-Propofol-Ketamin Pada Anjing Lokal," vol. 4, no. 1, pp. 1–11, 2021, [Online]. Available: <https://ejurnal.undana.ac.id/index.php/jvn/article/view/6044/3379>
- [4] R. E. Kreisler *et al.*, "Effects of peripheral active warming and passive insulation on core body temperature during feline ovariohysterectomy: a multi-arm randomized clinical trial," *J Feline Med Surg*, vol. 25, no. 3, Mar. 2023, doi: 10.1177/1098612X231157585.
- [5] H. S. Stratton, S. Rao, and M. J. Sadar, "Hypothermia, anemia, hyperglycemia, and severe hypoglycemia are significant prognostic indicators of death in client-owned ferrets

- (*Mustela putorius furo*),” *Am J Vet Res*, vol. 85, no. 4, Apr. 2024, doi: 10.2460/ajvr.23.10.0244.
- [6] R. Naufal Hibatullah, P. Negeri Malang, and P. Korespondensi, “Alat Kendali Suhu Pada Ruang Inkubasi Kucing Pasca Operasi,” *Journal of Mechanical and Electrical Technology*, vol. 4, no. 1, 2024.
- [7] B. Nurcahya, I. Wayan Widhiada, I. Dewa Gede Ary Subagia, J. Sudirman, R. Wangaya Kota Denpasar, and J. Kartini, “Sistem Kontrol Kestabilan Suhu Pada Inkubator Bayi Berbasis Arduino Uno Dengan Matlab/ Simulink,” *Jurnal METTEK*, vol. 2, no. 1, pp. 35–42, 2021.
- [8] A. Budiprasojo, F. Erawantini, and A. Rofi’i, “Penggunaan Alat Sterilisasi Sinar UV Type C Portable Untuk Meningkatkan Masa Simpan Susu Kemasan Pada UKM Susu Sapi Rembangan Desa Binaan Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember,” *J-Dinamika : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 7, no. 2, pp. 163–172, Aug. 2022, doi: 10.25047/j-dinamika.v7i2.2790.
- [9] Q. Fitriyah, Y. Delfiana Siahaan, M. Prihadi, E. Wahyudi, \* Politeknik, and N. Batam, “Alat Sterilisasi Lampu UVC Portable Berbasis IOT,” 2022.
- [10] Jamie M. Burkitt Creedon and Harold Davis, “Advanced Monitoring and Procedures for Small Animal Emergency and Critical Care, 2nd Edition (VetBooks.ir),” in *Wiley Blackwell*, Wiley Blackwell., Wiley Blackwell, 2023, pp. 1–1085.
- [11] F. C. H. De Melo, G. Tjahjono, I. Fahmi, J. Adisucipto, and P. Kupang, “Rancang Bangun Switching Mode Power Supply (SMPS) Menggunakan Topologi Flyback.,” *Jurnal Spektro*, vol. 7, no. 2, pp. 1–7, Nov. 2024.
- [12] RS Components, “RS PRO Switching Power Supply 12V DC 20A 240W Datasheet,” RS Components.
- [13] ARDUINO DOCS, “Arduino UNO Rev3 with Long Pins,” ARDUINODOCS. Accessed: Aug. 15, 2025. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-uno-rev3-with-long-pins/>
- [14] L. emiconductor Components Industries, “LM2596 - 3.0 A, Step-Down Switching Regulator,” Data Sheet LM2596. Accessed: Aug. 15, 2025. [Online]. Available: <http://www.onsemi.com>
- [15] F. Fatimatuzzahra, L. A. Didik, and B. Bahtiar, “Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT 22 berbasis Arduino terhadap Thermohygometer Standar,” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 16, no. 1, p. 33, Feb. 2020, doi: 10.12962/j24604682.v16i1.5717.
- [16] L. Aosong Electronics Co., “DHT22 (AM2302) Digital Temperature and Humidity Sensor Datasheet,” Aosong Electronics Co., Ltd. Accessed: Aug. 16, 2025. [Online]. Available: <http://www.aosong.com/en/products-22.html>
- [17] WatElectronics, “Modul Keypad 4×4: Spesifikasi, PinOut, Antarmuka, Cara Kerja & Aplikasinya,” WatElectronics.com. Accessed: Aug. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.watelectronics.com/4x4-keypad-module/>
- [18] A. Rauzatul Jannah, “Studi Pengaruh Pencahayaan Lampu Pijar Dan Lampu Led Terhadap Pertumbuhan Tanaman Hidroponik,” *Jurnal Energi Elektrik*, 2023.
- [19] Sri Widiastuti, “Rancang Bangun Alat Pengatur Intensitas Cahaya Lampu Pijar Menggunakan Potensiometer,” *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro*, Oct. 2022, doi: 10.47709/elektriase.v12i2.1658.



- 
- [20] F. Palma, G. Baldelli, G. F. Schiavano, G. Amagliani, M. P. Aliano, and G. Brandi, "Use of Eco-Friendly UV-C LEDs for Indoor Environment Sanitization: A Narrative Review," Sep. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/atmos13091411.
- [21] UNESA, "Mengenal Sensor Ultrasonik," Universitas Negeri Surabaya. Accessed: Aug. 19, 2025. [Online]. Available: <https://pendidikan-elektro.ft.unesa.ac.id/post/mengenal-sensor-ultrasonik#>
- [22] Maharani Putri *et al.*, "Sistem Penerangan Gedung Berdasarkan Pengaturan Waktu Dan Light Dimmer Berbasis Internet Of Things," *R E L E (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 6, No. 1, Jul. 2023.
- [23] Agus Faudin, "Tutorial Arduino mengakses Solid State Relay," Nyebar Ilmu. Accessed: Aug. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.nyebarilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-solid-state-relay/>
- [24] Saepudin Nirwan and Hafidz MS, "Rancang Bangun Aplikasi Untuk Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Pada Peralatan Elektronik Berbasis Pzem-004t," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 12, No 2, 2020.
- [25] I. Made, G. W. Mahardika, I. Kadek, J. Arta, A. Aprilyana, and K. Dewi, "Penggunaan Sensor Suhu Dht 11 Buzzer Dan Lampu Led Sebagai Pemantau Suhu Ruangan," *Jurnal Manajemen dan Teknologi Informasi (JMTI)*, vol. 14, pp. 10–18, 2024, doi: 10.59819.
- [26] M. Ema Julpia Aenun, "Implementasi Logika Fuzzy Metode Mamdani Pada Prediksi Biaya Pemakaian Listrik," *UNNES Journal of Mathematics*, vol. 3, no. 3, pp. 57–65, 2022, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujme>