

## Perancangan Sistem Kontrol Suhu Ruangan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Arduino Uno

<sup>1</sup>Elvi Gustian, <sup>2</sup>Winda Agustiarmi, <sup>3</sup>Ryan Fikri, <sup>4</sup>Zulwisli

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat., Kec. Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia

\*Corresponding Author e-mail: [elvigustian@gmail.com](mailto:elvigustian@gmail.com)

Received: May 2026; Revised: July 2026; Published: August 2026

### Abstrak

Penelitian ini merupakan jenis penelitian Research and Development (R&D) dengan pendekatan Prototyping yang bertujuan menguji efektivitas penerapan algoritma Fuzzy Logic pada sistem kendali suhu ruangan otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno untuk menjaga kestabilan temperatur lingkungan. Penelitian dilaksanakan melalui tiga tahapan pengujian utama, yaitu pengujian validitas, pengujian reliabilitas, dan pengujian responsivitas pada skenario suhu dingin serta suhu panas menuju rentang target normal dengan menggunakan prototipe miniatur ruangan sebagai objek dan sampel uji. Pengujian validitas dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor DHT11 terhadap termometer panel digital sebagai benchmark yang menghasilkan rata-rata offset sebesar 0,38°C. Pengujian reliabilitas dan responsivitas mengamati performa waktu respon sistem, transient error, tingkat presisi melalui analisis Standar Deviasi (SD) dan Koefisien Variasi (CV), serta dinamika perubahan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) pada driver MOSFET IRF520 untuk mengendalikan aktuatur lampu pemanas dan kipas pendingin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor utama memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata offset sebesar 0,38°C, serta mampu bekerja secara stabil. Sistem kendali juga terbukti responsif dalam merespon perubahan suhu ekstrem tanpa mengalami transient error maupun overshoot, serta mampu mempertahankan kondisi steady-state dengan fluktuasi riak yang sangat rendah ( $\pm 0,03$  hingga  $\pm 0,20^\circ\text{C}$ ). Hasil ini menegaskan bahwa algoritma Fuzzy Logic sangat efektif dan andal dalam penerapan kontrol suhu ruangan secara real-time, serta menunjukkan pentingnya penyesuaian daya aktuatur secara otomatis untuk menciptakan sistem pengondisian lingkungan yang presisi.

**Kata kunci:** Fuzzy Logic, Kendali Suhu, Arduino Uno, Sensor DHT11, MOSFET IRF520.

**How to Cite:** Gustian, E., Agustiarmi, W., Fikri, R., & Zulwisli. (2026). Perancangan Sistem Kontrol Suhu Ruangan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Arduino Uno. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 6146-6162. <https://doi.org/10.36312/jar.v5i3.6385>



<https://doi.org/10.36312/jar.v5i3.6385>

Copyright© 2026, Gustian et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



## PENDAHULUAN

Kenyamanan termal (*thermal comfort*) merupakan aspek fundamental dalam perancangan lingkungan binaan karena berdampak langsung terhadap produktivitas, kesehatan, dan kesejahteraan penghuni ruangan (Saputra, 2023; Setiawan, 2021). Penelitian fundamental oleh Fanger (1970) menetapkan bahwa kondisi nyaman secara termal tercapai pada rentang suhu operatif 23–26°C dengan kelembapan relatif 40–60%, yang kemudian menjadi acuan dalam berbagai standar kenyamanan internasional seperti ASHRAE 55 dan ISO 7730. Parsons (2014) lebih lanjut menjelaskan bahwa ketidakstabilan suhu ruangan tidak hanya mengganggu konsentrasi dan kenyamanan psikologis, tetapi juga memicu respons fisiologis seperti

peningkatan detak jantung, metabolisme basal, dan kelelahan dini akibat mekanisme termoregulasi tubuh yang bekerja berlebihan untuk mempertahankan suhu inti (Adhitia et al., 2022). Selain itu, persepsi kenyamanan setiap individu bersifat subjektif dan dipengaruhi oleh faktor metabolisme, pakaian, serta aktivitas yang dilakukan, sehingga dibutuhkan sebuah sistem kendali lingkungan yang responsif terhadap perubahan kondisi termal sekecil apa pun secara otomatis dan adaptif (Hamdy et al., 2021).

Dalam perkembangan sistem kendali suhu, berbagai metode telah diterapkan dengan karakteristik dan keterbatasannya masing-masing. Kontrol *On-Off* merupakan metode paling sederhana yang bekerja dengan prinsip histeresis, namun kelemahan utamanya adalah respons yang kaku dan memicu fluktuasi suhu yang drastis setiap kali aktuator beralih status, sehingga menyebabkan ketidaknyamanan dan pemborosan energi (Sulfikar et al., 2026). Sementara itu, kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) menawarkan respons yang lebih halus melalui penalaan parameter proporsional, integral, dan derivatif, tetapi metode ini sangat bergantung pada pemodelan matematis sistem yang akurat dan kurang efektif dalam menangani karakteristik non-linier, perubahan parameter waktu-bervariasi, serta ketidakpastian lingkungan (Kaharuddin et al., 2025). Nise (2015) menambahkan bahwa meskipun PID dapat di-tuning untuk performa optimal pada kondisi tertentu, kinerjanya akan menurun drastis ketika sistem mengalami gangguan eksternal yang tidak terprediksi, seperti perubahan beban termal akibat bukaan pintu atau aktivitas penghuni, yang merupakan fenomena umum pada aplikasi ruangan nyata (Susanto & Pratama, 2026).

Untuk mengatasi keterbatasan metode klasik tersebut, logika *Fuzzy* yang diperkenalkan oleh Zadeh (1965) menawarkan pendekatan alternatif yang sangat menjanjikan karena kemampuannya dalam menangani variabel input yang bersifat samar, tidak presisi, dan non-linier tanpa memerlukan pemodelan matematis yang rumit (Fitriani & Budiman, 2025). Berbeda dengan logika biner konvensional, logika *Fuzzy* memungkinkan derajat keanggotaan pada interval  $[0,1]$  sehingga sistem dapat mengambil keputusan secara gradual dan manusiawi dalam merespons setiap derajat perubahan suhu. Penelitian oleh Royali & Ariatmanto (2026) membuktikan bahwa kontrol *Fuzzy* menghasilkan respons yang lebih stabil dan presisi dalam menghadapi ketidakpastian parameter lingkungan dibandingkan kontrol PID maupun *On-Off*, terutama pada sistem dengan dinamika termal yang kompleks. Logika *Fuzzy* memiliki empat komponen utama, yaitu fuzzifikasi (mengubah data numerik menjadi nilai linguistik), basis aturan (kumpulan aturan *IF-THEN*), mekanisme inferensi (pengambilan keputusan berdasarkan aturan), dan defuzzifikasi (mengubah keputusan *fuzzy* menjadi nilai kontrol numerik) yang bekerja secara siklik dalam setiap periode sampling untuk menghasilkan keputusan kendali yang adaptif.

Di sisi praktis, banyak perangkat pengondisian udara yang masih beroperasi secara manual dengan kecepatan putar atau daya yang statis tanpa mempertimbangkan kondisi lingkungan aktual, menyebabkan inefisiensi energi yang signifikan dan ketidaknyamanan pengguna karena keharusan melakukan penyesuaian berulang saat terjadi fluktuasi suhu. Lebih parahnya, perangkat konvensional pada umumnya hanya dirancang untuk satu fungsi – baik pendinginan saja atau pemanasan saja – sehingga tidak memiliki kecerdasan untuk menangani kedua kondisi ekstrem (terlalu panas dan terlalu dingin) secara otomatis dalam satu

kesatuan sistem (Mukminin et al., 2026). Akar permasalahan ini terletak pada ketiadaan unit umpan balik (*feedback*) pada sistem manual, sehingga perangkat tidak memiliki kemampuan untuk memproses data lingkungan dan mengadaptasi diri terhadap perubahan beban termal secara *real-time*. Kontrol *On-Off* yang banyak diterapkan pada perangkat komersial juga memperparah kondisi karena memaksa perangkat bekerja pada taraf daya maksimal atau mati total, tanpa adanya transisi daya yang halus, yang mengakibatkan osilasi suhu yang lebar dan memperpendek usia pakai komponen mekanis akibat kejutan listrik dan termal yang berulang.

Guna mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini merancang sebuah sistem kendali suhu ruangan otomatis yang mengintegrasikan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pemroses, sensor DHT11 sebagai pembaca suhu lingkungan, dan driver MOSFET IRF520 sebagai pengendali daya aktuator berupa lampu pijar (pemanas) dan kipas DC (pendingin) melalui sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Arduino Uno dipilih karena kemudahan pemrograman, ketersediaan *library* pendukung, serta kemampuan pemrosesan *real-time* yang memadai untuk aplikasi kendali (Rihadatul' Aisy et al., 2025; Setiawan et al., 2022). Sensor DHT11 memiliki spesifikasi yang sesuai untuk aplikasi *indoor* dengan rentang ukur 0–50°C, akurasi  $\pm 2^\circ\text{C}$ , dan resolusi 1°C, serta antarmuka digital *single-wire* yang memudahkan integrasi (Hidayat et al., 2025; Gusmira, 2024). Sementara itu, MOSFET IRF520 dipilih karena memiliki resistansi *on-state* yang sangat rendah ( $R_{DS(on)} \approx 0,27 \Omega$ ) dan kemampuan *switching* frekuensi tinggi, sehingga mampu mengatur tegangan rata-rata ke beban secara efisien dengan disipasi panas minimal pada *driver* (Awan et al., 2025; Anwar & Ferdilla, 2023). Melalui mekanisme PWM, kecepatan kipas dan intensitas lampu dapat diubah secara gradual dan halus, memastikan stabilitas suhu ruangan tetap terjaga pada titik ideal tanpa lonjakan beban listrik yang drastis serta mengoptimalkan konsumsi energi (Despandi et al., 2021).

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada integrasi metode *Fuzzy Logic* tipe Sugeno Orde-0 dengan ketiga komponen perangkat keras tersebut dalam satu sistem kendali yang mampu menangani secara simultan kondisi dingin maupun panas secara adaptif. Penelitian sebelumnya oleh Arif & Aswardi (2020) hanya berfokus pada pengaturan kecepatan motor DC menggunakan PWM tanpa logika *fuzzy*, sehingga keputusan kendali bersifat statis. Parapat et al., (2026) menerapkan integrasi *feedforward* pada sistem pendingin untuk mempercepat waktu respons, tetapi masih berbasis kontrol PID yang memerlukan penalaan parameter manual dan kurang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Hidayat et al., (2026) melakukan pemodelan linear pada sistem kontrol suhu skala kecil dan menemukan bahwa pendekatan linear tidak cukup akurat untuk menangani perubahan suhu yang ekstrem karena mengabaikan efek non-linier dari perpindahan panas konveksi dan radiasi. Dengan demikian, penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menghadirkan sistem kontrol cerdas yang menggabungkan kemampuan penalaran *fuzzy* dengan eksekusi aktuator berbasis PWM yang presisi, sehingga menghasilkan transisi daya yang mulus dan efisiensi energi yang terukur.

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan analisis kesenjangan penelitian tersebut, maka penelitian ini dirumuskan dengan judul "Perancangan Sistem Kontrol Suhu Ruangan Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Berbasis Arduino Uno". Secara spesifik, tujuan penelitian ini adalah: (1) merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem kendali suhu otomatis berbasis Arduino Uno

dengan algoritma *Fuzzy Logic* Sugeno Orde-0; (2) menguji validitas sensor DHT11 dengan membandingkan pembacaannya terhadap termometer panel digital sebagai *benchmark*; (3) menguji reliabilitas sistem melalui analisis statistik (Standar Deviasi dan Koefisien Variasi) pada skenario pemanasan (dingin ke normal) dan pendinginan (panas ke normal); (4) menguji responsivitas sistem terhadap perubahan suhu ekstrem dengan mengamati ada tidaknya *transient error*, *overshoot*, serta dinamika sinyal PWM; dan (5) menganalisis efisiensi energi berdasarkan pola perubahan sinyal PWM pada aktuator selama proses menuju kondisi tunak (*steady-state*). Secara fungsional, prototipe yang dirancang merupakan unit kendali lingkungan (*environmental control unit*) bersifat *stand-alone* yang kompak, di mana seluruh proses mulai dari pembacaan sensor, inferensi *fuzzy*, hingga penyesuaian daya aktuator berlangsung secara otomatis dan terintegrasi dalam satu sistem, sehingga diharapkan mampu memberikan solusi nyata bagi terciptanya lingkungan termal yang nyaman, stabil, dan hemat energi.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan Prototyping yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, pembuatan prototipe, serta pengujian alat secara berulang (Sugiyono, 2019). Penelitian dilakukan melalui tahapan kronologis sebagai berikut: (1) identifikasi masalah melalui observasi dan studi literatur; (2) studi literatur untuk membangun kerangka teoritis; (3) analisis kebutuhan sistem untuk menentukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak; (4) perancangan sistem meliputi desain skematik rangkaian, pembuatan flowchart, dan perancangan algoritma kontrol; (5) implementasi atau perakitan alat fisik serta penulisan kode program pada Arduino IDE; dan (6) pengujian dan analisis sistem secara berulang untuk memastikan fungsi optimal.

### Objek dan Sampel Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah sistem kendali suhu otomatis yang dirancang menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler dan logika fuzzy sebagai metode kontrol. Penelitian ini tidak menggunakan subjek manusia, melainkan menguji kinerja sistem melalui prototipe miniatur ruangan sebagai sampel uji untuk memvalidasi akurasi sensor DHT11 dan responsivitas sistem dalam menjaga stabilitas termal. Prototipe miniatur ruangan memiliki dimensi 50 cm × 40 cm × 40 cm yang terbuat dari material akrilik dengan ketebalan 3 mm, dilengkapi dengan lubang ventilasi pada sisi-sisinya untuk mensimulasikan kondisi ruangan nyata. Lingkungan simulasi diatur dengan sumber panas berupa lampu pijar 100 Watt dan sumber pendingin berupa kipas DC 12 Volt yang dikontrol melalui MOSFET IRF520.

### Instrumen Penelitian

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua teknik, yaitu studi literatur dan pengujian eksperimental. Studi literatur digunakan untuk membangun kerangka teoritis mengenai metode logika fuzzy dan prinsip termodinamika. Sementara itu, instrumen pengumpulan data yang digunakan meliputi:

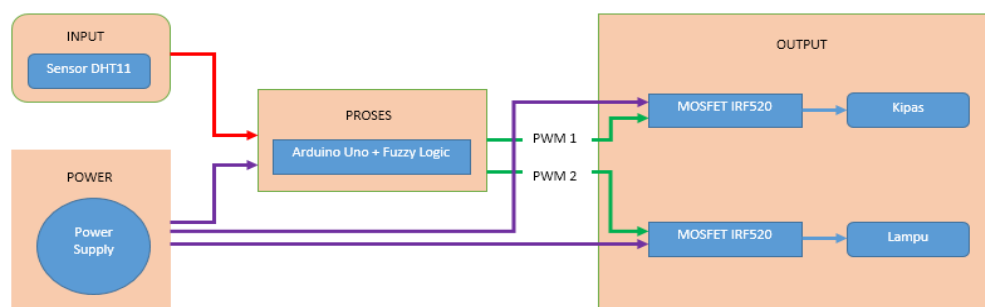
- Sensor DHT11 sebagai instrumen yang mengukur suhu aktual ( $^{\circ}\text{C}$ ) secara kontinu dengan spesifikasi: rentang pengukuran  $0\text{--}50^{\circ}\text{C}$ , akurasi  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , resolusi  $1^{\circ}\text{C}$ , dan interface single-wire digital (Hidayat, 2025).
- Termometer panel digital sebagai alat benchmark untuk validasi sensor DHT11 dengan spesifikasi: rentang pengukuran  $-10^{\circ}\text{C}$  hingga  $50^{\circ}\text{C}$ , akurasi  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , dan resolusi  $0.1^{\circ}\text{C}$ .
- Prototipe miniatur ruangan sebagai instrumen media simulasi kondisi suhu lingkungan dengan dimensi  $50 \times 40 \times 40$  cm yang dilengkapi dengan sumber panas (lampu pijar 100W) dan sumber pendingin (kipas DC 12V).
- Modul driver MOSFET IRF520 sebagai antarmuka antara Arduino Uno dengan aktuator, dengan spesifikasi: VDS max 100V, ID max 9.2A, dan  $\text{RDS(ON)} \approx 0.27\Omega$ .
- Perangkat Lunak Arduino IDE sebagai instrumen yang memonitor, mengolah data input sensor, dan merekam respon sistem (nilai PWM) selama pengujian berlangsung.
- Perangkat lunak Serial Plotter Arduino untuk visualisasi data real-time dan perekaman grafik dinamika sistem.

### Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui tahapan sistematis untuk memastikan sistem kontrol suhu bekerja sesuai dengan tujuan. Tahapan pertama adalah mengidentifikasi masalah yang akan diteliti melalui observasi dan studi literatur. Tahapan kedua adalah studi literatur dengan mengumpulkan sumber-sumber penelitian melalui pembacaan dan pemahaman referensi teoritis dari buku teori, e-book, jurnal, dan sumber pustaka yang berkaitan dengan penelitian. Tahapan ketiga adalah perancangan sistem, yaitu membuat desain sistem dari alat sampai program aplikasi sesuai dengan studi literatur yang telah dibuat. Pada tahapan ini dilakukan perencanaan, penggambaran, atau pembuatan sketsa sistem yang dimulai dari pembuatan flowchart dan skematik alur kerja sistem yang akan dibangun untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Tahapan terakhir adalah pengujian dan analisis, di mana pengujian dilakukan berulang kali untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari sistem yang telah dirancang dan dibangun. Secara umum, pengujian sistem bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan kehandalan sistem, serta memastikan bahwa sistem tersebut dapat memenuhi kebutuhan pengguna dengan baik.

### Blok Diagram

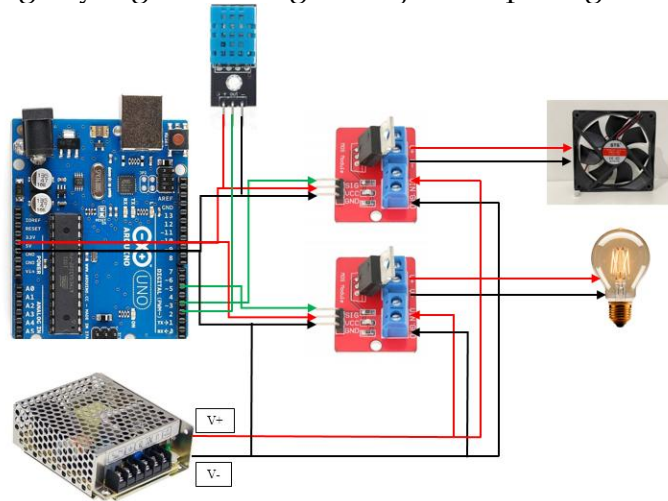
Dalam penelitian ini Perancangan alat mengacu pada blok diagram sistem yang disajikan pada gambar 1 di bawah ini. Diagram tersebut menggambarkan hubungan antar komponen sekaligus mekanisme kerja sistem secara keseluruhan.



**Gambar 1.** Blok Diagram

## Rangkaian Sistem

Berdasarkan blok diagram yang telah di jelaskan,bentuk skematik dari sistem kontrol suhu ruangan yang di rancang di tunjukkan pada gambar 2 di bawah ini :

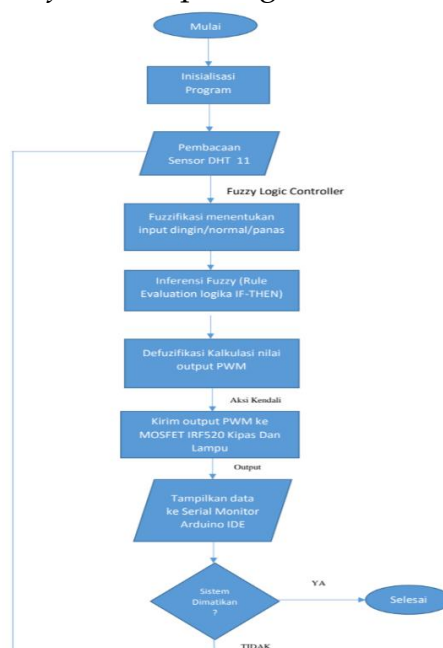


**Gambar 2.** Rangkaian Sistem

Pada Gambar 2 di atas menjelaskan hubungan antara input (sensor), proses (Arduino), dan output (aktuator). Yang dimana Sensor dht 11 berperan sebagai input untuk mengambil angka suhu saat ini dan dikirim ke arduino uno yang tersambung dengan pin 2, lalu Arduino uno sebagai mikrokontroler menjalankan empat tahap logika fuzzy yang hasilnya akan dikirim ke aktuator kipas dan lampu dengan modul irf520 sebagai jembatannya dengan pin 5 dan 10. selanjutnya Irf 520 mengantar atau mengirim pesan dari arduino uno atau malah sebaliknya dengan data yang sudah berupa sinyal pwm dan kecepatan serta besar kecil nya intensitas cahaya bergantung pada besar kecilnya sinyal pwm yang di kirim lewat irf52.

## Flowchart

Proses kerja dan pengambilan keputusan pada sistem kontrol suhu ini dipresentasikan dalam bentuk *flowchart* pada gambar 3 dibawah ini:



**Gambar 3.** Rangkaian Sistem

## Metode Kontrol

Metode kontrol pada penelitian ini adalah metode kontrol logika fuzzy dengan type sugeno orde 0. metode kontrol Fuzzy memiliki 4 proses tahapan yang dimana dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Fuzzifikasi: merupakan sebuah proses untuk mengubah data numerik dari sensor DHT11 menjadi nilai linguistik melalui fungsi keanggotaan, Yang di maksud fungsi keanggotaan disini adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data kedalam nilai keanggotaanya atau juga disebut dengan derajat keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Ada beberapa fungsi keanggotaan yang digunakan dalam teori himpunan fuzzy seperti Representasi Linear, Representasi Kurva Segitiga, Representasi Kurva Trapesium dll. Bentuk fungsi keanggotaan dalam penelitian ini adalah sebagi berikut :

**Tabel 1.** Fungsi Keanggotaan

| No | Input Suhu    | Kondisi       | Output Lampu            | Output Kipas            |
|----|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| 1  | Dingin        | < 26°C        | Maksimal<br>( PWM 255 ) | Mati<br>( PWM 0 )       |
| 2  | Normal Lambat | 26°C - 28 °C  | Mati<br>( PWM 0 )       | Lambat<br>( PWM 60)     |
| 3  | Normal Sedang | 28 °C - 30 °C | Mati<br>( PWM 0 )       | Lambat<br>( PWM 160)    |
| 4  | Panas         | > 30°C        | Mati<br>( PWM 0 )       | Maksimal<br>( PWM 255 ) |

- b. Basis Aturan (*Rule Base*): Sekumpulan aturan logika berbentuk "IF-THEN" yang mendefinisikan hubungan antara kondisi suhu dengan respon kipas. seperti berikut :

IF Dingin THEN Lampu = 255, Kipas = 0

IF Normal Lambat THEN Lampu = 0, Kipas = 60 (Mulai hidup sangat lambat)

IF Normal Sedang THEN Lampu = 0, Kipas = 160 (Kecepatan sedang)

IF Panas THEN Lampu = 0, Kipas = 255 (Maksimal kencang)

Ada 2 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy salah satu dari dua metode tersebut adalah Model Fuzzy Sugeno Orde-0 .

- c. Mekanisme Inferensi: Tahap pengambilan keputusan yang berdasarkan aturan-aturan yang ditetapkan. Setiap aturan yang dibuat akan memiliki nilai kekuatan api (*firing strength*) atau disebut juga  $\alpha$  –predicate. Jika aturan menggunakan operator AND, maka nilai bobot aturan ( $\omega_i$ ) diambil dari nilai minimum derajat keanggotaan input:

$$\alpha_i = \omega_i = \min(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2))$$

Nilai  $\alpha_i$  inilah yang nantinya akan digunakan dalam proses Defuzzifikasi untuk menentukan bobot pengaruh aturan tersebut terhadap hasil akhir. Seperti berikut:

$$\text{bobotTotal} = \text{nilaiDingin} + \text{nilaiNormalLambat} + \text{nilaiNormalSedang} + \text{nilaiPanas};$$

- d. Defuzzifikasi: Proses mengubah kembali keputusan fuzzy menjadi nilai konkret berupa sinyal PWM (0-255) untuk menggerakkan kipas. Berbeda dengan metode

Mamdani yang menggunakan operasi Max untuk menggabungkan grafik, metode Sugeno langsung menggabungkan seluruh aturan melalui perhitungan **Rata-Rata Terbobot** (*Weighted Average*):

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

Di mana  $z_i$  adalah nilai output (konstanta/persamaan) dari aturan ke-  $i$ , dan  $\alpha_i$  adalah bobot dari aturan tersebut. seperti dibawah ini:

targetKipas = ((nilaiNormalLambat \* 60.0) + (nilaiNormalSedang \* 160.0) + (nilaiPanas \* 255.0))

targetKipas = 0;

### Desain Eksperimen

Desain eksperimen dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan variabel kontrol dan variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel kontrol meliputi: ukuran prototipe ruangan (50×40×40 cm), tegangan suplai (12 VDC), jarak sensor ke sumber panas (30 cm), dan waktu pengujian (15 menit per percobaan). Variabel bebasnya adalah kondisi awal suhu ruangan (dingin ±22°C dan panas ±35°C) serta kondisi lingkungan eksternal (suhu ruangan ±28°C, kelembapan 60-70%). Variabel terikat meliputi: pembacaan suhu DHT11, nilai sinyal PWM pada lampu dan kipas, waktu respons sistem, dan stabilitas suhu akhir. Setiap skenario pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan (replikasi) untuk memastikan konsistensi hasil.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari semua percobaan yang telah dilakukan di susunlah hasil percobaan melalui tabel dan grafik, dan dapat hal tersebut dapat di jelaskan sebagai berikut:

**Tabel 2.** Pengujian Sensor Dht 11 Dengan Alat Ukur Thermometer Suhu Ruangan

| Kondisi Pengujian     | Percobaan Ke- | Pembacaan DHT11(°C ) | Pembacaan Thermometer(°C ) | Selisih/Offset (°C ) |
|-----------------------|---------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| Dingin                | 1             | 23.30 °C             | 22.8 °C                    | 0.50 °C              |
|                       | 2             | 23.50 °C             | 23.0 °C                    | 0.50 °C              |
|                       | 3             | 23.70 °C             | 23.3 °C                    | 0.40 °C              |
|                       | 4             | 23.90 °C             | 24.4 °C                    | 0.40 °C              |
|                       | 5             | 24.00 °C             | 24.5 °C                    | 0.50°C               |
| Normal                | 1             | 28.30 °C             | 28.5 °C                    | 0.20 °C              |
|                       | 2             | 28.50 °C             | 28.7 °C                    | 0.20 °C              |
|                       | 3             | 28.70 °C             | 28.9 °C                    | 0.20 °C              |
|                       | 4             | 28.90 °C             | 29.0 °C                    | 0.10°C               |
|                       | 5             | 29.00 °C             | 29.1 °C                    | 0.10 °C              |
| Panas                 | 1             | 33.30 °C             | 32.7 °C                    | 0.60 °C              |
|                       | 2             | 33.50 °C             | 32.9 °C                    | 0.60 °C              |
|                       | 3             | 33.70°C              | 33.2 °C                    | 0.50 °C              |
|                       | 4             | 33.90 °C             | 33.4 °C                    | 0.50 °C              |
|                       | 5             | 34.00 °C             | 33.6 °C                    | 0.40 °C              |
| Rata-Rata Keseluruhan |               |                      |                            | 0,38 °C              |

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh analisis penting mengenai karakteristik sensor DHT11 terhadap alat acuan termometer panel: Nilai *Error* Kumulatif yang Rendah: Rata-rata selisih (*offset*) keseluruhan dari 15 titik pengujian adalah sebesar 0.38°C. Nilai ini masih berada jauh di bawah ambang batas toleransi kesalahan rata-rata sensor DHT11 pada umumnya (<1.0°C). Hal ini membuktikan bahwa sensor DHT11 yang digunakan dalam alat Tugas Akhir ini valid, memiliki presisi (*repeatability*) yang baik, dan layak digunakan untuk sistem kendali tanpa memerlukan kompensasi rumus kalibrasi yang rumit.

Pada kondisi dingin, pembacaan suhu DHT11 cenderung turun lebih cepat dan mendahului termometer acuan dengan selisih 0.40°C hingga 0.50°C. Fenomena ini terjadi akibat faktor posisi peletakan media pendingin (batu es) yang lebih dekat ke sensor DHT11. Udara dingin lokal langsung masuk melalui kisi-kisi *casing* plastik biru DHT11 dan menyentuh elemen *chip* internalnya yang bermassa tipis. Sementara itu, probe termometer mengalami sedikit keterlambatan penyerapan dingin karena terhambat oleh massa selongsong logam pelindungnya yang lebih padat.

Pada rentang suhu normal (suhu ruang), sistem berada pada kondisi kesetimbangan termal (*thermal equilibrium*) yang statis tanpa adanya stres termal eksternal. Karena bekerja pada rentang operasi optimalnya, sensor DHT11 menghasilkan tingkat kestabilan yang sangat tinggi dengan selisih yang konstan sebesar 0.20 °C di ketiga percobaan. Hal ini terjadi karena perambatan suhu ruangan berlangsung merata, memberikan waktu yang cukup bagi kedua material sensor (plastik dan logam) untuk menyamakan persepsi pembacaan.

Ketika suhu sengaja dinaikkan menuju kondisi panas secara dinamis, termometer panel dengan probe logam terbuka mendeteksi kenaikan suhu udara dengan sangat cepat karena konduktivitas termalnya yang tinggi. Sebaliknya, *casing* plastik pada DHT11 bertindak sebagai isolator termal sementara yang menjebak sisa udara sebelumnya, memicu terjadinya efek keterlambatan respons (*thermal lag*). Hambatan material inilah yang menyebabkan pembacaan DHT11 sedikit tertinggal di atas termometer dengan selisih berkisar antara 0.50 °C hingga 0.60°C.

### Pengujian Reliabilitas

Pengujian reliabilitas berfungsi untuk menghitung nilai rata rata, nilai standar deviasi (SD) dan koefisien variasi (CV). nilai nilai tersebut di rangkum dalam tabel 3 dan tabel 4 berikut :

**Tabel 3.** Pengujian suhu Dingin ke Normal

| Percobaan | Suhu Awal (°C) | Rentang Target (°C) | Waktu Respon        | Suhu Akhir (°C) | Transien Error/Fluktuasi (°C)    | Keterangan                                             |
|-----------|----------------|---------------------|---------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1         | 22.00 °C       | 26 – 30 °C          | 1 menit             | 26.50 °C        | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>± 0.1 °C | Sangat Stabil terdapat delay transisi di suhu 26.00 °C |
| 2         | 22.10 °C       | 26 – 30 °C          | 1 menit<br>30 detik | 26.60 °C        | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>± 0.1 °C | Sangat Stabil terdapat delay transisi di suhu 26.00 °C |

|                        |          |            |                  |          |                                      |                                                              |
|------------------------|----------|------------|------------------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 3                      | 22.00 °C | 26 – 30 °C | 1 menit 32 detik | 26.80 °C | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>$\pm 0.1$ °C | Sangat Stabil terdapat delay transisi di suhu 26.00 °C       |
| 4                      | 22.00 °C | 26 – 30 °C | 1 menit 22 detik | 29.40 °C | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>$\pm 0.1$ °C | Stabil, tercatat delay transisi di suhu 26.00 °C             |
| 5                      | 22.00 °C | 26 – 30 °C | 1 menit 27 detik | 29.40 °C | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>$\pm 0.1$ °C | Sangat stabil terdapat delay transisi, kipas naik ke PWM 160 |
| Rata – Rata            | -        | -          | 1 menit 22 detik | 27.74 °C | -                                    | Sistem Konsisten                                             |
| Sandar Deviasi (SD)    | -        | -          | 12,97 Detik      | 1,52 °C  | -                                    | Mengukur Sebaran Data                                        |
| Koefisien Variasi (CV) | -        | -          | 15.78%           | 5.48%    | -                                    | Variasi Normal Proses Thermal                                |

Berdasarkan data pada Tabel 3 hasil pengujian, sistem kendali suhu diuji sebanyak lima kali pada kondisi ruangan dingin dengan suhu awal sekitar 22 °C untuk mencapai rentang target 26 – 30 °C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan sangat stabil, di mana pada kelima percobaan sama sekali tidak ditemukan adanya *transient error* (0 °C). Selain itu, sistem secara konsisten mengalami penundaan transisi (*delay*) tepat saat menyentuh suhu 26 °C serta mengalami fluktuasi sebesar  $\pm 0.1$  °C di setiap pengujianya.

Dari segi kecepatan, sistem membutuhkan waktu rata-rata 1 menit 22 detik untuk mencapai target. Waktu respons ini memiliki standar deviasi sebesar 12,97 detik dengan koefisien variasi 15,78%. Di sisi lain, suhu akhir yang berhasil dicapai oleh sistem sangat akurat dan konsisten, dengan rata-rata suhu akhir berada di angka 27,74 °C. Rendahnya tingkat sebaran data pada suhu akhir ini dibuktikan oleh nilai standar deviasi yang hanya sebesar 1,52 °C dan koefisien variasi sebesar 5,48%, yang menandakan bahwa fluktuasi tersebut merupakan variasi normal dalam sebuah proses termal.

**Tabel 4.** Pengujian suhu panas ke normal

| Percobaan | Suhu Awal (°C) | Rentang Target (°C) | Waktu Respon     | Suhu Akhir (°C) | Transien Error/Fluktuasi (°C)                | Keterangan                                                         |
|-----------|----------------|---------------------|------------------|-----------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1         | 35.00 °C       | 26 – 30 °C          | 3 menit 01 detik | 28.90 °C        | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>Fluktuasi $\pm 0.03$ | Sangat Stabil tanpa overshoot, dengan fluktuasi riak sangat rendah |
| 2         | 35.00 °C       | 26 – 30 °C          | 3 menit 27 detik | 29.10 °C        | 0 °C<br>(Tidak Ada)/                         | Sangat Stabil, respon transien melandai landai akibat              |

|                              |             |            |                     |             |                                               |                                                                                                                            |
|------------------------------|-------------|------------|---------------------|-------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |             |            |                     |             | Fluktuasi<br>+0.17°C                          | perubahan pwm<br>(overdamped)<br>kondisi tunak<br>sangat rapat dan<br>stabil                                               |
| 3                            | 35.00<br>°C | 26 – 30 °C | 3 menit<br>19 detik | 28.80<br>°C | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>Fluktuasi -<br>0.13°C | Sangat<br>Stabil,kondisi<br>terjaga dengan<br>dengan indikasi<br>gangguan termal<br>mikro (drifting) di<br>akhir pengujian |
| 4                            | 35.00<br>°C | 26 – 30 °C | 3 menit<br>42 detik | 29.70<br>°C | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>Fluktuasi +<br>0.20°C | Sangat stabil suhu<br>mulai melambat<br>mendekati titik<br>jenuh tehermal                                                  |
| 5                            | 35.00<br>°C | 26 – 30 °C | 3 menit<br>49 detik | 29.00<br>°C | 0 °C<br>(Tidak Ada)/<br>Fluktuasi -<br>0.10°C | Sangat stabil<br>respon terkendai<br>dengan waktu<br>respon maksimum<br>untuk mencapai<br>target                           |
| Rata- Rata                   | -           | -          | 3 menit<br>27 detik | 29.10<br>°C | -                                             | Sistem Responsif                                                                                                           |
| Sandar<br>Deviasi<br>(SD)    | -           | -          | 19,02<br>Detik      | 0,35<br>°C  | -                                             | dlspersi rendah                                                                                                            |
| Koefisien<br>Variasi<br>(CV) | -           | -          | 9.16%               | 1.20%       | -                                             | Sangat<br>andal/presisi                                                                                                    |

Pada Tabel 4 menyajikan hasil pengujian performa sistem kendali suhu dalam kondisi ruangan saat suhu panas melalui lima kali uji coba untuk menurunkan suhu awal dari 35,00 °C menuju rentang target 26–30 °C. Berdasarkan data yang diperoleh, sistem terbukti bekerja dengan sangat responsif dan stabil tanpa mengalami lonjakan ekstrem (*overshoot*), yang ditunjukkan oleh nilai *transient error* sebesar 0 °C pada kelima percobaan tersebut. Pada Percobaan 1, sistem menunjukkan tingkat kestabilan tinggi dengan fluktuasi riak yang sangat rendah ( $\pm 0,03$  °C), sementara pada Percobaan 2 respons transiennya cenderung melandai akibat perubahan PWM (*overdamped*) namun menghasilkan kondisi tunak yang sangat rapat dan stabil (+0,17 °C). Meskipun pada Percobaan 3 sempat terdeteksi adanya gangguan termal mikro (*drifting*) sebesar (-0,13 °C) di akhir pengujian, pada percobaan ke 4 mengalami penurunan yang lambat pada suhu mendekati suhu normal dengan flutuasi sebesar 0.20°C dan percobaan ke 5 terjadi fluktuasi sebesar (-0.10°C ) sistem secara umum tetap mampu mempertahankan performa pendinginannya dengan baik dan ada di dalam zona target.

Dari segi kecepatan sistem, waktu respons yang dibutuhkan untuk mencapai target bervariasi pada tiap pengujian, yaitu 3 menit 01 detik pada Percobaan 1, 3 menit 27 detik pada Percobaan 2, 3 menit 19 detik pada Percobaan 3, 3 menit 42 detik, 3 menit 49 detik pada percobaan 5. Secara statistik, rata-rata waktu respons sistem tercatat

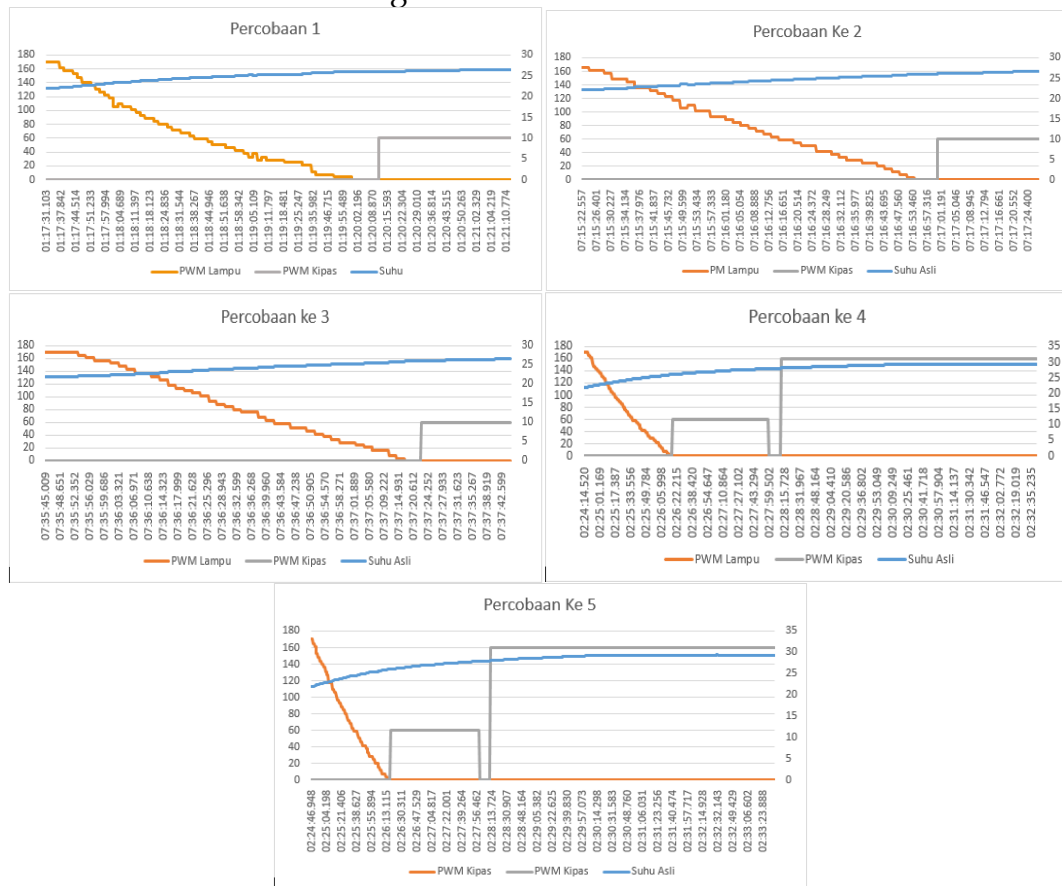
sebesar 3 menit 27 detik dengan nilai Standar Deviasi (SD) sebesar 19.02 detik dan Koefisien Variasi (CV) sebesar 9,16%. Angka sebaran yang berada di bawah 10% ini menandakan bahwa sistem ini memiliki dispersi rendah dan dikategorikan sebagai sistem yang sangat responsif serta ajeg. Di sisi lain, nilai capaian suhu akhir pada kelima pengujian berturut-turut adalah 28,90 °C, 29,10 °C, 28,80 °C, 29,70 °C dan 29,00 °C, di mana seluruh nilai tersebut berhasil masuk ke dalam rentang target yang diinginkan. Hasil pengukuran sebaran data suhu akhir ini juga sangat presisi dan andal, dibuktikan dengan nilai Standar Deviasi yang sangat kecil yaitu 0,35 °C serta Koefisien Variasi hanya sebesar 1,20%. Nilai dispersi yang rendah ini menegaskan bahwa sistem kendali pendinginan bekerja dengan sangat andal dan presisi.

### Pengujian Responsivitas

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis bentuk respon baik dari suhu awal dingin maupun panas, untuk menganalisis apakah dalam proses penurunan maupun menaikkan suhu terjadi overshoot atau tidak, untuk melihat kecepatan reaksi aktuatur, memperlihatkan rise time (naik) dan fall time (turun) secara visual.

### Pengujian Suhu Dingin dan Panas Ke Normal

#### a. Percobaan 1- 5 dari Suhu Dingin Ke Normal

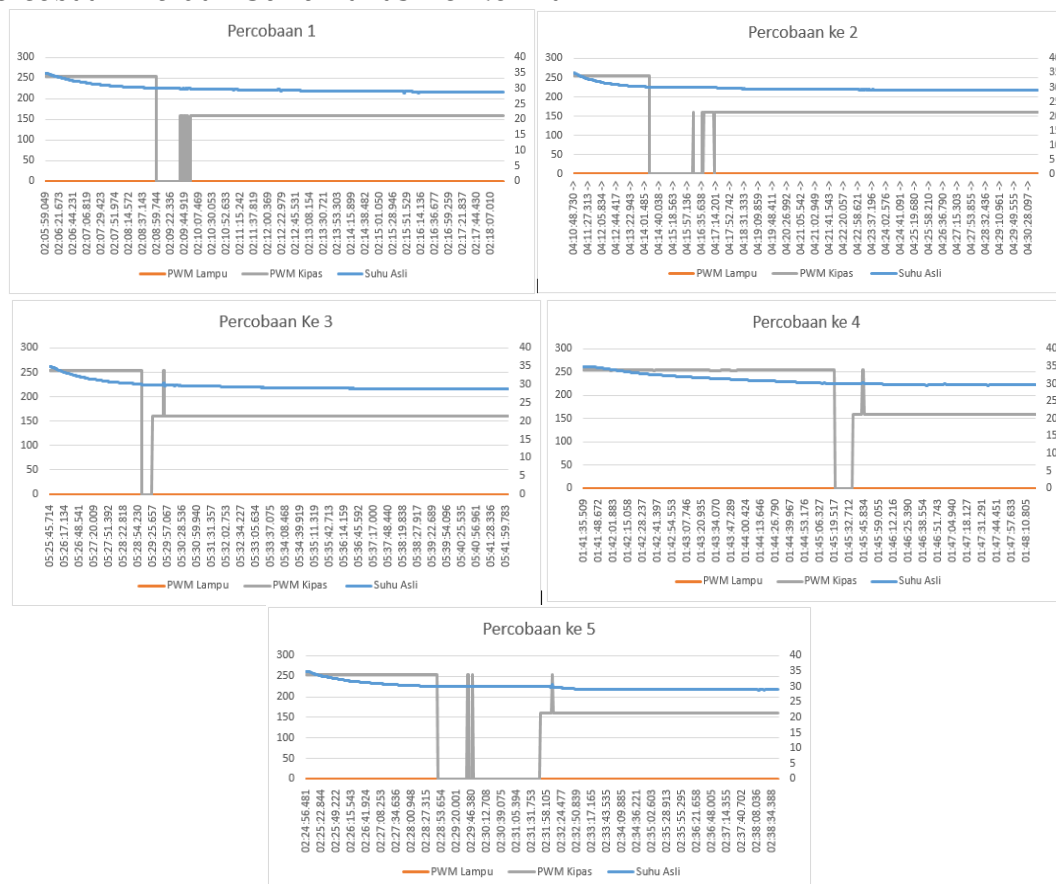


**Gambar 4.** Percobaan 1 sampai 5 Suhu Dingin Ke Normal

Berdasarkan Gambar 4. menunjukkan Grafik Berdasarkan analisis visual terhadap grafik dinamika sistem dari Percobaan 1 hingga Percobaan 5 pada kondisi ruangan dingin, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali memiliki tingkat responsivitas yang sangat tinggi dan konsisten dalam menaikkan suhu awal (22 °C) menuju rentang target normal (26–30 °C). Karakteristik *rise time* (waktu bangkit)

sistem berjalan secara ajeg dengan rata-rata 1 menit 22 detik untuk pertama kali menyentuh batas bawah target ( $26^{\circ}\text{C}$ ). Keberhasilan respons kendali ini didukung oleh transisi modular yang cerdas, di mana daya pemanas (PWM Lampu) diturunkan secara bertahap dari nilai maksimal 170 hingga mati total guna mencegah lonjakan ekstrem (*overshoot*). Grafik pada seluruh percobaan juga menunjukkan adanya karakteristik khas berupa fase jeda (*delay period*) pengamatan alami selama 8 hingga 19 detik sebelum sistem mengaktifkan aktuator pendingin (PWM Kipas). Pada Percobaan 1 hingga 3, kipas distabilkan pada nilai PWM 60, sedangkan pada Percobaan 4 dan 5, sistem merespons secara dinamis dengan menaikkan daya kipas ke nilai PWM 160. Perubahan parameter ini terbukti adaptif karena seluruh percobaan berhasil meredam laju kenaikan suhu secara instan dan mengunci suhu akhir secara konstan di dalam zona target dengan nilai *transient error* mutlak sebesar  $0^{\circ}\text{C}$  (sistem bersifat *overdamped* sempurna tanpa fluktuasi pasca-stabil).

#### b. Percobaan 1-5 dari Suhu Panas Ke Normal



**Gambar 5.** Percobaan 1 - 5 Suhu Panas Ke Normal

Berdasarkan Gambar 5 pada Percobaan ke 1 - 5, grafik dinamika sistem dari Percobaan 1 hingga Percobaan 5 pada kondisi ruangan panas, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali pendinginan menunjukkan performa respons yang sangat baik dan tanggap dalam mereduksi suhu awal yang panas ( $35^{\circ}\text{C}$ ) menuju zona target normal ( $26\text{--}30^{\circ}\text{C}$ ). Nilai *fall time* (waktu turun) untuk pertama kali menyentuh batas atas target ( $30^{\circ}\text{C}$ ) tercatat sangat presisi dan seragam dengan rata-rata waktu respons 3 menit 27 detik di seluruh pengujian. Responsivitas awal sistem dicapai melalui aktivasi instan aktuator pendingin (PWM Kipas) secara maksimal pada nilai daya 255. Setelah kurva suhu asli melandai masuk ke rentang target, grafik merekam adanya

fase jeda dinamis di mana kipas dinonaktifkan sementara untuk memantau pergerakan termal alami ruangan. Pasca-jeda, sistem memberikan respons koreksi yang bervariasi; pada Percobaan 1 dan 2 kipas langsung dikunci pada nilai konstan 160, sedangkan pada Percobaan 3, 4, dan 5 sistem memberikan beberapa kali kejutan (*pulsing*) singkat pada PWM Kipas kembali ke nilai maksimal 255 sebelum akhirnya dikunci stabil di angka 160. Meskipun grafik paruh akhir pada kondisi panas ini menyisakan riak atau fluktuasi termal mikro berkisar antara  $+0,20^{\circ}\text{C}$  hingga  $-0,13^{\circ}\text{C}$  akibat interaksi udara lingkungan, sistem terbukti andal mempertahankan kondisi tunak (*steady state*) di suhu akhir tanpa mengalami gejala *undershoot* ekstrem.

Secara keseluruhan, hasil pengujian validitas, reliabilitas, dan responsivitas menunjukkan bahwa sistem kendali suhu berbasis Fuzzy Logic yang dirancang memiliki performa yang sangat baik dan layak untuk dikembangkan lebih lanjut. Kelebihan utama sistem ini adalah kemampuannya untuk menangani kondisi ekstrem (dingin dan panas) secara adaptif tanpa mengalami transient error atau overshoot, dengan tingkat presisi yang tinggi ( $\text{CV} < 10\%$ ). Namun, sistem ini juga memiliki keterbatasan, yaitu adanya fluktuasi mikro ( $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$  hingga  $\pm 0,20^{\circ}\text{C}$ ) pada kondisi steady state yang disebabkan oleh keterbatasan resolusi sensor DHT11 ( $1^{\circ}\text{C}$ ) dan karakteristik histeresis dari aktuator. Keterbatasan ini sejalan dengan temuan Setiawati & Haryanti (2025) dan Gusmirah (2024) yang mengidentifikasi bahwa sensor DHT11 memiliki resolusi yang terbatas untuk aplikasi kontrol presisi tinggi.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem kendali suhu ruangan otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan algoritma *Fuzzy Logic* tipe Sugeno Orde-0, yang terintegrasi dengan sensor DHT11 sebagai pembaca suhu, driver MOSFET IRF520 sebagai pengendali daya, serta aktuator berupa lampu pijar (pemanas) dan kipas DC (pendingin) melalui sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Hasil pengujian validitas membuktikan bahwa sensor DHT11 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dengan rata-rata *offset* sebesar  $0,38^{\circ}\text{C}$  terhadap termometer panel digital, yang berada jauh di bawah batas toleransi standar ( $<1,0^{\circ}\text{C}$ ), sehingga sensor ini layak digunakan pada sistem kendali tanpa memerlukan kalibrasi rumit. Pengujian reliabilitas menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat presisi dan keandalan yang sangat tinggi, dibuktikan dengan nilai Koefisien Variasi (CV) suhu akhir sebesar 5,48% pada skenario pemanasan (dingin ke normal) dan 1,20% pada skenario pendinginan (panas ke normal), yang keduanya berada jauh di bawah ambang batas 10% dan mengindikasikan dispersi data yang sangat rendah. Pengujian responsivitas menegaskan bahwa sistem mampu merespons perubahan suhu ekstrem dari kondisi dingin ( $22^{\circ}\text{C}$ ) maupun panas ( $35^{\circ}\text{C}$ ) menuju rentang target normal ( $26\text{--}30^{\circ}\text{C}$ ) tanpa mengalami *transient error* maupun *overshoot* sama sekali ( $0^{\circ}\text{C}$ ), dengan rata-rata waktu respons 1 menit 22 detik untuk pemanasan dan 3 menit 27 detik untuk pendinginan, serta fluktuasi riak pada kondisi tunak yang sangat rendah ( $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$  hingga  $\pm 0,20^{\circ}\text{C}$ ). Selain itu, sistem terbukti mampu mengoptimalkan konsumsi energi melalui pengaturan daya aktuator secara otomatis dan bertahap, di mana pada kondisi *steady-state* sistem hanya mengonsumsi 23–63% dari daya maksimal, sehingga secara efektif mengatasi pemborosan energi dan ketidaknyamanan akibat pengoperasian perangkat manual maupun kontrol *On-Off* yang kaku. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini

adalah memberikan bukti empiris yang kuat mengenai efektivitas metode *Fuzzy Logic* dalam aplikasi kendali suhu ruangan *real-time*, serta menyediakan desain sistem kendali yang adaptif, presisi, dan hemat energi yang dapat direplikasi dan dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai kebutuhan pengondisian lingkungan seperti ruang server, laboratorium, ruang penyimpanan obat, maupun ruang budidaya tanaman hidroponik.

## REKOMENDASI

Untuk meningkatkan performa dan memperluas cakupan aplikasi dari sistem yang telah dirancang, beberapa rekomendasi pengembangan diajukan bagi penelitian selanjutnya, yaitu: pertama, penggunaan sensor suhu dengan resolusi dan akurasi lebih tinggi seperti DHT22, DS18B20, atau SHT30 yang memiliki kemampuan pembacaan hingga  $0,1^{\circ}\text{C}$  sangat disarankan untuk meredam fluktuasi riak mikro pada kondisi *steady-state* yang masih tersisa akibat keterbatasan resolusi DHT11 ( $1^{\circ}\text{C}$ ), sehingga stabilitas suhu akhir dapat dijaga lebih presisi; kedua, peningkatan metode kontrol dapat dilakukan dengan mengimplementasikan *Fuzzy Sugeno Orde-1* yang menggunakan fungsi output berupa persamaan linear, sehingga perubahan suhu sekecil apa pun akan langsung memengaruhi perubahan nilai PWM secara kontinu dan lebih halus, atau dengan mengombinasikan logika *fuzzy* dengan algoritma optimasi seperti PID adaptif atau *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mempercepat waktu respons pada skenario pendinginan yang relatif lebih lambat (3 menit 27 detik) sekaligus meminimalkan efek gangguan termal mikro (*drifting*) di paruh akhir pengujian; ketiga, penelitian lanjutan sangat direkomendasikan untuk melakukan uji coba pada ruangan skala nyata dengan volume dan dinamika termal yang lebih kompleks, termasuk mempertimbangkan faktor eksternal seperti bukaan pintu/jendela, aktivitas penghuni, dan peralatan elektronik lainnya, guna memvalidasi kinerja sistem dalam kondisi operasional yang sesungguhnya sebelum diimplementasikan secara komersial; keempat, integrasi sistem dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) melalui pengembangan antarmuka pengguna berbasis *smartphone* atau *web* sangat disarankan agar pengguna dapat memonitor, mengontrol, dan mencatat data suhu ruangan secara jarak jauh serta melakukan analisis efisiensi energi jangka panjang secara lebih komprehensif; dan kelima, diperlukan studi banding konsumsi daya secara kuantitatif dengan membandingkan sistem ini terhadap perangkat pengondisian udara konvensional (manual maupun *On-Off*) dalam periode pengujian yang lebih panjang, misalnya 24 jam hingga satu minggu penuh, untuk mengukur secara akurat besaran penghematan energi yang dapat dicapai serta dampaknya terhadap umur pakai komponen aktuator.

## REFERENSI

Adhitia, F., Qisthon, A., Husni, A., & Hartono, M. (2022). Respons fisiologis dan daya tahan sapi peranakan Ongole dan sapi Brahman cross terhadap cekaman panas di KPT Maju Sejahtera Tanjung Sari Lampung Selatan. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, 6(3), 300-304. <https://doi.org/10.23960/jrip.2022.6.3.300-304>

- Anwar, N. E., & Ferdilla, H. (2023). Pengaturan Kecepatan Dan Pengendalian Motor DC 5 V-110 V Menggunakan IC Tipe NE 555. *Jurnal Teknologi Riset Terapan*, 1(2), 107-117. <https://doi.org/10.35912/jatra.v1i2.3157>
- Arif, D. T., & Aswardi, A. (2020). Kendali Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbeban Berbasis Arduino. *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, 6(2), 33.
- Awan, A., Hendra, H., Wilianto, W., Yudi, Y., & Waisen, W. (2025). Perancangan dan Analisis Saklar Elektronik Digital Berbasis Arduino dan Transistor untuk Penggunaan Efisiensi Energi. *Jurnal Minfo Polgan*, 14(2), 3268-3275. <https://doi.org/10.33395/jmp.v14i2.15719>
- Despandi, M. M., Finawan, A., & Azhar, A. (2021). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALIAN TEMPERATUR KONDENSOR PADA PROSES DISTILASI BERBASIS MIKROKONTROLLER. *Jurnal Tektro*, 5(2). <http://dx.doi.org/10.30811/tektro.v5i2.3088>
- Fitriani, N., & Budiman, A. (2025). Analisis Sensitivitas dalam Kerangka Pengambilan Keputusan Operasional Perusahaan. *MUARA HUKUM: Jurnal Ilmiah Ilmu Hukum & Administrasi Publik*, 1(1), 29-38.
- Gusmira, E. (2024). Literatur review: penggunaan Internet of things (IoT)) dalam pemantauan suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT11. *JSSIT: Jurnal Sains dan Sains Terapan*, 2(2). <https://doi.org/10.30631/jssit.v2i2.53>
- Hamdy, M. A., Hamzah, B., Wikantari, R., & Mulyadi, R. (2021). Lingkungan dan kenyamanan termal dalam bangunan di iklim tropis panas dan lembab: studi literatur sistematis. *Jurnal Arsitektur Sulapa*, 3(2).
- Hidayat, J. J., Werdana, A. P., & Setyowati, C. (2025). Perancangan Sistem Deteksi Gas dan Suhu Berbasis Mikrokontroler IoT Menggunakan Metode Prototyping. *JURNAL FASILKOM*, 15(2), 398-407. <https://doi.org/10.37859/jf.v15i2.9173>
- Hidayat, P. N., Alexander, B., Kustiawan, A. A., & Pribadi, A. (2026). Pengembangan Alat Pelontar Shuttlecock sebagai Alat Latihan Netting. *SPRINTER: Jurnal Ilmu Olahraga*, 7(2), 681-686. <https://doi.org/10.46838/spr.v7i2.1177>
- Kaharuddin, A., Syam, N., & Injar, H. (2025). Pemodelan Matematis Berbasis Logika Fuzzy untuk Standarisasi Sinonggi: Pengembangan Algoritma Kontrol Suhu dan Takaran Presisi. *Hybrid: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Sains*, 3(3), 10-11. <https://doi.org/10.51574/hybrid.v3i3.4229>
- Mukminin, M. S., Rizal, A., Maesaroh, D. T., Kusumo, J. C. M., Panjang, G., & Seberang, K. S. (2026). Perancangan Sistem Pendingin Laptop Otomatis Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Suhu DHT11. *Jurnal Insand Comtech*, 11(1). <https://doi.org/10.53712/jic.v11i1.3002>
- Parapat, R. Y., Adhystie Rizkya, N. A., Bayyanu, B. P., Khodarrohmah, N., Putri, S. R., & Della, S. A. (2026). Pengendalian proses efisiensi energi: Strategi pengurangan konsumsi energi dan emisi. *Integrative Perspectives of Social and Science Journal*, 3(01 Januari), 507-529.
- Rihadatul'Aisy, Q. A., Sulistyo, A. D., & Ardelia, A. A. (2025, July). Smart Water Heater Berbasis ESP32 dengan Monitoring Real-Time via Telegram. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis* (pp. 1057-1065). <https://doi.org/10.47701/dbfn7v28>
- Royali, R. M., & Ariatmanto, D. (2026). Sistem Kendali Mikroklimat Greenhouse Cerdas Berbasis Hybrid GA-LSTM dan Fuzzy Logic Controller. *Jurnal*

- Indonesia: *Manajemen Informatika dan Komunikasi*, 7(2), 229-236.  
<https://doi.org/10.63447/jimik.v7i2.1798>
- Saputra, R. H. (2023). KONDISI PANAS DI DALAM HUTAN KOTA: STUDI KASUS DI AREA DANAU UNIVERSITI SAINS MALAYSIA. *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, 23(2), 62-71.
- Setiawan, F. B., Sutrisno, P. U., Pratomo, L. H., & Riyadi, S. (2022). Penerapan Algoritma HSV pada Autonomous Car untuk Sistem Self-Driving Berbasis Raspberry Pi 4. *Jurnal Rekayasa Elektrika Vol*, 18(4).  
<https://doi.org/10.17529/jre.v18i4.27495>
- Setiawati, A. Y., & Haryanti, M. (2025). Evaluasi Akurasi Sensor Suhu Digital untuk Aplikasi Pemantauan Suhu Ruangan Penyimpanan: Studi Indoor dan Outdoor. *JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI*, 14(1), 1-6.  
<https://doi.org/10.35968/jti.v14i1.1712>
- Sulfikar, S. P., Ghiyalti Novilia, M. T., Ir Sutikno, S. T., MT, I., Mohammad Iqbal, S. T., Fajrul Islamy, M. T., ... & Syahrir Abdussamad, S. T. (2026). *Teknologi Sensor dan Aktuator untuk Sistem Terintegrasi*. PT Cipta Digital Edukasi.
- Susanto, T., & Pratama, J. C. (2026). Implementasi Fuzzy PID untuk Pengendalian Sudut Pitch pada Pesawat Tanpa Awak. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 25(1), 91-100. <https://doi.org/10.24843/MITE.2026.v25.01.p11>