

# Sistem Kendali Air Conditioning (Ac) Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic

Primaditya Pratistio Anwari  
Fakultas Elektro  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
primadityap@student.telkomuniversity.ac.id

Muhammad Ary Murti  
Fakultas Elektr  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
Arymurti@telkomuniversity.ac.id

Junartha Halomon  
Teknik Elektro  
Fakultas Elektro, Telkom University  
Bandung, Indonesia  
Arymurti@telkomuniversity.ac.id

Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem kendali otomatis pada Air Conditioning (AC) berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan algoritma Fuzzy Logic Mamdani. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal ruangan melalui pengaturan suhu yang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor suhu DHT22 untuk membaca suhu ruangan serta pemancar inframerah (IR LED) untuk mengirimkan perintah pengaturan suhu kepada AC secara otomatis.

Metode fuzzy Mamdani digunakan dalam proses pengambilan keputusan dengan dua parameter utama, yaitu suhu dalam ruangan dan suhu luar ruangan, sedangkan hasil keluarannya berupa nilai setpoint suhu yang dikirimkan ke AC. Fungsi keanggotaan fuzzy dirancang dalam bentuk segitiga dan trapesium untuk merepresentasikan kondisi suhu dari sangat dingin hingga sangat panas. Proses inferensi dilakukan berdasarkan aturan if-then yang disusun dari hasil observasi, sedangkan proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali fuzzy Mamdani mampu menyesuaikan setpoint suhu secara dinamis sesuai perubahan suhu lingkungan. Sistem juga mampu menjaga kestabilan suhu ruangan dengan deviasi rata-rata  $\pm 1,2^{\circ}\text{C}$  dibandingkan mode manual yang mencapai  $\pm 2,8^{\circ}\text{C}$ . Selain itu, sistem fuzzy Mamdani terbukti mampu menghemat konsumsi energi listrik hingga 23,85% dibandingkan pengoperasian manual. Integrasi dengan platform IoT Blynk memungkinkan pemantauan dan pengendalian AC secara real-time melalui jaringan Wi-Fi.

Dan sistem ini dapat merespon dengan halus terhadap perubahan suhu secara mendadak sehingga nilai dari setpoint ac dapat di perbarui dengan lebih stabil dan akurat. Sehingga kerja kompressor AC menjadi lebih optimal dan tidak bekerja secara terus menerus. Berdasarkan hasil tersebut, sistem ini dapat diterapkan untuk solusi manajemen cerdas pada lingkungan rumah, perkantoran.

Secara keseluruhan, penerapan logika fuzzy Mamdani pada sistem kendali AC berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi energi, kenyamanan termal, serta memberikan fleksibilitas dalam pengoperasian AC secara otomatis dan jarak jauh.

**Kata kunci:** Fuzzy Mamdani, Kendali AC, IoT, Efisiensi Energi ESPP32

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia terhadap kenyamanan termal dalam ruangan terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan urbanisasi. Penggunaan sistem pendingin udara atau air conditioning (AC) menjadi solusi utama untuk mencapai kondisi lingkungan yang nyaman. Namun, di sisi lain, perangkat AC juga menjadi salah satu penyumbang terbesar terhadap konsumsi energi listrik di sektor rumah tangga dan perkantoran. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2024, penggunaan AC menyumbang hingga 40% dari total konsumsi listrik bangunan komersial di Indonesia. Kondisi ini menunjukkan perlunya inovasi dalam pengendalian sistem AC agar penggunaan energi menjadi lebih efisien tanpa mengurangi tingkat kenyamanan pengguna.

Sistem pengendalian konvensional pada AC umumnya bekerja secara open loop, di mana pengguna harus mengatur suhu secara manual. Pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam menyesuaikan perubahan kondisi lingkungan, seperti fluktuasi suhu luar ruangan atau variasi jumlah penghuni ruangan. Akibatnya, energi sering terbuang karena AC tetap beroperasi pada daya penuh meskipun kebutuhan pendinginan menurun. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem kendali cerdas (intelligent control system) yang mampu menyesuaikan pengoperasian AC secara otomatis berdasarkan kondisi aktual di lingkungan.

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam sistem kendali cerdas adalah fuzzy logic control. Metode logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh pada tahun 1965 sebagai pendekatan matematis untuk merepresentasikan ketidakpastian dan penalaran manusia dalam sistem komputasi. Salah satu varian yang populer adalah metode inferensi Mamdani yang mampu menangani proses kendali nonlinier secara efisien dengan memanfaatkan aturan linguistik berbasis if-then. Dalam konteks pengendalian suhu, sistem fuzzy mampu meniru cara manusia mengambil keputusan dengan mempertimbangkan berbagai kondisi suhu dan tingkat kenyamanan.

Penelitian terdahulu telah banyak membahas penerapan fuzzy logic untuk sistem pendingin ruangan. Misalnya, Rahman et al. mengembangkan sistem AC pintar berbasis IoT dengan fuzzy logic yang dapat mengontrol suhu ruangan secara adaptif, namun sistem tersebut masih bergantung pada platform komersial dan belum dioptimalkan untuk efisiensi energi. Murti et al. merancang sistem fuzzy Mamdani berbasis ESP32 untuk kontrol suhu, tetapi belum mengintegrasikan fungsi pemantauan jarak jauh secara real-time. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sistem kendali AC berbasis IoT dengan algoritma fuzzy Mamdani yang mampu melakukan pengaturan suhu secara otomatis sekaligus memungkinkan pengguna memantau dan mengontrol sistem melalui aplikasi Blynk.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem kendali otomatis AC berbasis fuzzy logic Mamdani yang terintegrasi dengan platform IoT. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi dan menjaga stabilitas suhu ruangan secara adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis perbandingan kinerja antara pengoperasian AC secara manual dan otomatis menggunakan logika fuzzy.

Kontribusi utama penelitian ini meliputi:

1. Perancangan sistem kendali AC berbasis fuzzy Mamdani menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan integrasi sensor DHT22 dan pemancar inframerah (IR LED).
2. Implementasi sistem berbasis Internet of Things (IoT) melalui platform Blynk untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh.
3. Analisis efisiensi energi dan stabilitas suhu antara mode manual dan mode fuzzy melalui pengujian eksperimental.

## II. KAJIAN TEORI

### 2.1 Sistem Kendali dan Pengendalian Suhu

Sistem kendali merupakan mekanisme yang dirancang untuk mengatur perilaku suatu sistem dinamis agar bekerja sesuai dengan nilai acuan yang diinginkan. Dalam konteks pengendalian suhu, sistem kendali bertujuan mempertahankan suhu ruangan pada kondisi nyaman dengan respon yang cepat dan stabil. Sistem kendali dapat dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu open-loop control dan closed-loop control. Pada sistem open loop, sinyal keluaran tidak mempengaruhi proses pengendalian, sehingga sistem tidak mampu beradaptasi terhadap gangguan eksternal. Sebaliknya, sistem closed loop memiliki umpan balik (feedback) yang memungkinkan penyesuaian otomatis terhadap perubahan suhu lingkungan [1].

Perangkat pendingin udara (AC) umumnya masih menggunakan sistem kendali konvensional berbasis on-off control atau proportional control, yang kurang efisien dalam hal konsumsi energi. Untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan termal, pendekatan berbasis kecerdasan buatan seperti fuzzy logic control mulai banyak diterapkan pada sistem pendingin ruangan.

### 2.2 Logika Fuzzy

Logika fuzzy diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 sebagai metode matematis untuk menangani ketidakpastian dan penalaran manusia dalam sistem komputasi [2]. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal nilai 0 dan 1, logika fuzzy memungkinkan representasi nilai kebenaran di antara keduanya ( $0 \leq \mu \leq 1$ ). Dalam konteks sistem kendali, logika fuzzy memungkinkan komputer untuk meniru cara manusia mengambil keputusan berdasarkan aturan linguistik seperti “dingin”, “hangat”, atau “panas”.

Komponen utama sistem fuzzy meliputi:

1. Fuzzifikasi – mengubah nilai masukan numerik (crisp input) menjadi derajat keanggotaan fuzzy.
2. Basis Aturan (Rule Base) – berisi kumpulan aturan if-then yang merepresentasikan pengetahuan sistem.
3. Mesin Inferensi (Inference Engine) – melakukan evaluasi terhadap aturan fuzzy untuk menentukan keputusan.
4. Defuzzifikasi – mengubah hasil inferensi menjadi nilai keluaran numerik (crisp output).

Pada penelitian ini, digunakan metode inferensi Mamdani karena lebih mudah diimplementasikan untuk sistem kendali suhu dan memberikan hasil yang halus serta stabil. Proses defuzzifikasi dilakukan dengan metode centroid untuk mendapatkan nilai keluaran yang paling representatif terhadap area fungsi keanggotaan hasil.

### 2.3 Metode Inferensi Mamdani

Metode Mamdani merupakan salah satu model inferensi fuzzy yang paling banyak digunakan dalam aplikasi kontrol. Mamdani mengusulkan pendekatan berbasis aturan linguistik if-then dengan operator logika fuzzy seperti AND, OR, dan NOT untuk menggabungkan input [3]. Model ini menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga atau trapesium dan menghasilkan keluaran berupa himpunan fuzzy yang kemudian diubah menjadi nilai crisp melalui proses defuzzifikasi.

Secara umum, langkah-langkah metode Mamdani terdiri dari:

1. Menentukan variabel input dan output.
2. Menentukan fungsi keanggotaan setiap variabel.
3. Menyusun aturan if-then berdasarkan pengalaman atau hasil observasi.
4. Melakukan inferensi menggunakan operator fuzzy.
5. Melakukan defuzzifikasi menggunakan metode centroid atau weighted average.

Dalam penelitian ini, variabel input terdiri dari suhu dalam ruangan (Tin) dan suhu luar (Tout), sementara variabel output berupa setpoint suhu AC. Aturan fuzzy disusun berdasarkan kondisi suhu aktual dan respons yang diinginkan untuk menjaga kenyamanan dan efisiensi energi.

### 2.4 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan paradigma teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat fisik ke jaringan internet untuk saling bertukar data dan berinteraksi secara cerdas [4]. Dalam sistem kendali AC, IoT memungkinkan pengumpulan data suhu secara real-time, pemantauan status perangkat, serta pengendalian jarak jauh melalui aplikasi berbasis cloud. Mikrokontroler ESP32 digunakan karena memiliki konektivitas Wi-Fi bawaan, prosesor ganda, serta kompatibilitas dengan berbagai sensor dan modul.

Platform Blynk IoT dipilih sebagai antarmuka pengguna karena menyediakan tampilan visual (dashboard) untuk memantau suhu, status AC, serta mengaktifkan atau menonaktifkan mode otomatis dari jarak jauh. Dengan integrasi ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai pengendali otomatis, tetapi juga sebagai sistem pemantauan berbasis data waktu nyata.

### 2.5 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian relevan telah dilakukan dalam bidang kendali AC Berbasis fuzzy dan iot. Rahman merancang sistem AC cerdas menggunakan mikrokontroler Arduino dan logika fuzzy untuk mengontrol suhu ruangan, namun sistem tersebut belum mengoptimalkan konsumsi energi. mengimplementasikan pengendalian suhu berbasis fuzzy Mamdani menggunakan ESP32 dan sensor DHT22, namun tanpa integrasi pemantauan berbasis IoT. Penelitian ini menggabungkan kedua pendekatan tersebut dengan merancang sistem kendali AC berbasis fuzzy Mamdani yang terhubung dengan platform Blynk IoT untuk pemantauan dan kontrol jarak jauh, sekaligus mengukur efisiensi energi yang dihasilkan.

### 2.6 Kenyamanan Termal dan Parameter Evaluasi Sistem Kendali

Parameter kenyamanan pada penelitian ini didefinisikan sebagai kemampuan sistem mempertahankan suhu ruangan di dalam rentang 23–25 °C serta meminimalkan fluktuasi suhu. Indikator kuantitatif yang digunakan untuk mengevaluasi kenyamanan meliputi mean suhu, deviasi standar suhu, waktu respons (settling time) ke dalam band  $\pm 0.5$  °C dari setpoint, overshoot maksimum, dan persentase waktu di dalam rentang kenyamanan (%Time\_in\_Comfort). Selain itu, aspek ekonomi dinilai melalui konsumsi energi (kWh) selama periode pengujian untuk mengevaluasi trade-off antara kenyamanan dan efisiensi energi.

Selain parameter fisik, penelitian ini juga memperhatikan hubungan antara kenyamanan dan efisiensi energi sebagai dasar

TABEL 1 parameter kenyamanan

Parameter	Target / Threshold	Keterangan
Rentang suhu kenyamanan	23–25 °C	Berdasarkan uji kenyamanan termal
Hysteresis (deadband)	±0.5 °C	Untuk menghindari perubahan IR berlebih
Interval sampling	1 menit	Konsisten dengan interval pengiriman data
Stabilitas suhu ( $\sigma$ )	≤ 0.5 °C	Kondisi ruangan stabil
Time_in_Comfort	≥ 80%	Sistem dianggap nyaman
Settling time	≤ 10 menit	Waktu penyesuaian setelah perubahan suhu

Tabel di atas menunjukkan parameter-parameter yang digunakan sebagai tolok ukur performa sistem kendali AC berbasis algoritma fuzzy logic. Setiap parameter memiliki nilai target (threshold) yang ditetapkan berdasarkan standar kenyamanan thermal dan karakteristik sistem. Dengan adanya acuan ini, hasil pengujian dapat dievaluasi secara kuantitatif untuk menentukan apakah sistem telah mencapai kestabilan suhu, kenyamanan pengguna, serta efisiensi energi yang diharapkan.

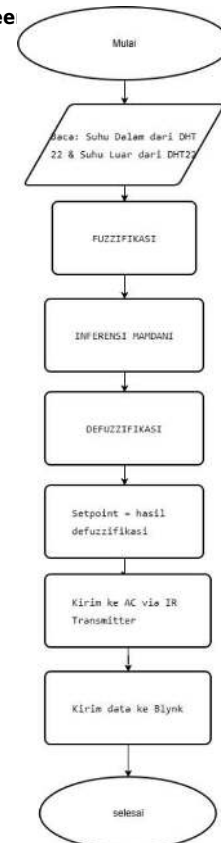
### III. METODE

#### 3.1 Deskripsi Umum Sistem

Sistem kendali pendingin udara (AC) berbasis logika fuzzy Mamdani ini dirancang untuk mengatur suhu ruangan secara otomatis dengan mempertimbangkan kondisi suhu dalam dan suhu luar ruangan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, yang berfungsi memproses data sensor, menjalankan logika fuzzy, serta mengirimkan perintah ke AC melalui pemancar inframerah (IR LED).

Selain itu, sistem juga terhubung ke platform Blynk IoT yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian secara jarak jauh. Dengan integrasi ini, sistem mampu menyesuaikan pengoperasian menggunakan jaringan wifi. AC secara dinamis sehingga diperoleh keseimbangan antara efisiensi energi dan kenyamanan termal pengguna.

respon terhadap perubahan suhu luar, serta konsumsi energi listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem fuzzy mampu menjaga suhu ruangan stabil pada kisaran 23–25°C dan menghemat energi hingga 23,85% dibandingkan mode manual. Selain itu, sistem ini menunjukkan kemampuan pengendalian yang halus karena penentuan sepoint ac ini dilakukan secara bertahap dengan cara menyesuaikan dengan perubahan kondisi lingkungan. Lalu mekanisme ini dapat mencegah perubahan suhu yang terlalu ekstrem serta mengurangi beban kerja kompresor ac. Oleh karena itu, sistem ini tidak hanya untuk meningkatkan durabilitas serta perangkat pendingin secara keseluruhan. Untuk keunggulan sistem fuzzy utama pada sistem fuzzy ini terlihat dari mekanisme pengendalian yang halus dan bertahap.



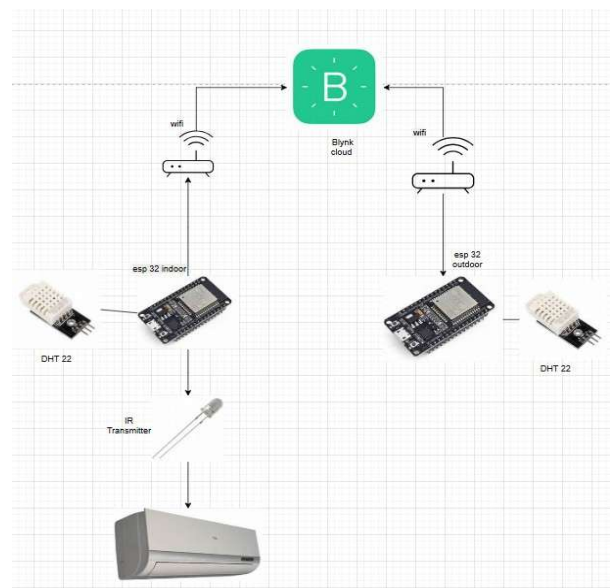
GAMBAR 1

Diagram Blok Sistem Kendali AC Fuzzy Mamdani

Sensor DHT22 membaca suhu ruangan, sementara suhu luar diambil dari data pengukuran atau integrasi sensor eksternal. Mikrokontroler kemudian menjalankan algoritma fuzzy untuk menentukan nilai setpoint baru, yang dikirimkan ke unit AC melalui sinyal IR. Hasil dan status sistem dikirim ke aplikasi Blynk untuk ditampilkan secara waktu nyata (real-time).

#### 3.2 Perancangan Perangkat Keras

Sistem perangkat keras terdiri atas beberapa komponen utama yang bekerja secara terintegrasi



GAMBAR 2

desain perangkat keras

#### Prinsip Kerja Perangkat Keras:

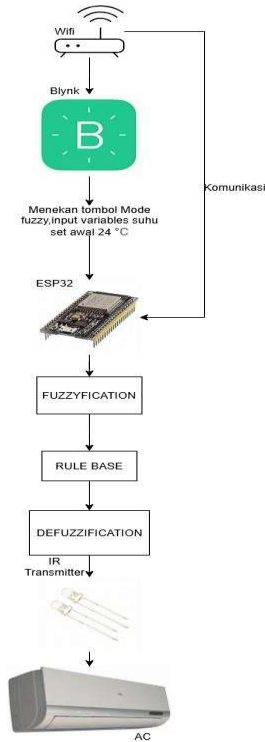
1. Sensor DHT22 membaca suhu ruangan setiap 5 detik.
2. Data suhu dikirim ke ESP32 dan dibandingkan dengan suhu luar.
3. Logika fuzzy Mamdani dijalankan untuk menentukan

- Hasil inferensi fuzzy dikirim ke IR LED untuk mengirimkan perintah ke AC.
- Data sistem dikirimkan ke cloud Blynk untuk ditampilkan secara real-time di aplikasi pengguna.

Untuk mencegah kesalahan baca, sensor DHT22 dikalibrasi terlebih dahulu dengan termometer referensi laboratorium. Selisih maksimum hasil kalibrasi tercatat  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , masih dalam batas toleransi.

### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan pustaka tambahan seperti DHT.h, IRremoteESP8266.h, dan BlynkSimpleEsp32.h. Struktur utama program terdiri dari tiga blok utama: inisialisasi, pembacaan sensor, dan kendali fuzzy.



GAMBAR 3  
Flowchart Sistem Kendali Fuzzy

Algoritma dikonfigurasi agar sistem melakukan pembacaan sensor setiap 5 detik, sedangkan proses fuzzy dan pengiriman sinyal IR dilakukan setiap 1 menit. Interval ini dipilih untuk menghindari respon yang terlalu cepat (overshoot) yang dapat menurunkan kenyamanan termal. Kode inti sistem fuzzy diimplementasikan langsung pada ESP32 tanpa server eksternal, sehingga semua proses inferensi dilakukan secara local processing, memastikan respon cepat meskipun koneksi internet tidak stabil.

### 3.4 Desain Logika Fuzzy Mamdani

Logika fuzzy Mamdani digunakan sebagai sistem kendali utama. Model ini dipilih karena memiliki struktur yang mudah diinterpretasikan secara linguistik serta memberikan transisi yang halus antar kondisi suhu.

#### 3.4.1 Variabel Fuzzy

Terdapat dua variabel input dan satu variabel output yang digunakan:

TABEL 2  
varabel input dan output

Variabel	Nilai ( $^{\circ}\text{C}$ )	Linguistik
<b>Input 1</b> $\Delta T$ (selisih suhu dalam & luar)	0–8	Seimbang, Sedikit Panas, Cukup Panas, Sangat Panas
<b>Input 2</b> Suhu Luar	25–38	Rendah, Sedang, Tinggi
<b>Output</b> Setpoint AC	16–28	Rendah, Sedang, Tinggi

Tabel 3.1 menunjukkan variabel-variabel fuzzy yang digunakan dalam sistem kendali suhu. Variabel  $\Delta T$  (selisih suhu dalam dan luar) digunakan untuk mengetahui tingkat perbedaan suhu yang dirasakan, yang menjadi indikator utama seberapa besar pendinginan diperlukan. Nilai  $\Delta T$  yang kecil menandakan kondisi ruangan sudah mendekati nyaman (seimbang), sedangkan nilai  $\Delta T$  yang besar menunjukkan kondisi ruangan terasa panas dan membutuhkan pendinginan lebih tinggi. Variabel suhu luar berfungsi sebagai faktor eksternal yang memengaruhi setpoint akhir. Ketika suhu luar tinggi, sistem akan menurunkan setpoint untuk mempercepat pendinginan, sedangkan pada suhu luar rendah, setpoint dinaikkan untuk menghemat energi. Sementara itu, variabel output berupa setpoint AC menentukan suhu target yang dikirim ke unit pendingin melalui IR transmitter. Rentang suhu 16–28  $^{\circ}\text{C}$  dipilih sesuai dengan batas operasional umum AC rumah tangga. Bentuk fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium digunakan karena keduanya sederhana, mudah diimplementasikan di mikrokontroler ESP32, serta memberikan transisi halus antar himpunan linguistik untuk menjaga kestabilan sistem fuzzy.

#### 3.4.2 Fuzzifikasi

Tahap pertama adalah mengubah nilai crisp (nyata) menjadi nilai derajat keanggotaan ( $\mu$ ) dengan fungsi keanggotaan segitiga

Contoh:

- $\Delta T = 0^{\circ}\text{C} \rightarrow \mu(\text{Seimbang}) = 1$
- $\Delta T = 3^{\circ}\text{C} \rightarrow \mu(\text{Sedikit Panas}) = 0.8$
- $\Delta T = 6^{\circ}\text{C} \rightarrow \mu(\text{Cukup Panas}) = 1$

Proses fuzzifikasi bertujuan untuk mengubah nilai suhu yang bersifat pasti (crisp) menjadi nilai keanggotaan fuzzy ( $\mu$ ) yang merepresentasikan tingkat kebenaran suatu kondisi linguistik. Sebagai contoh, ketika  $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$ , nilai tersebut tidak langsung dikategorikan secara tegas sebagai “Sedikit Panas”, tetapi diberi derajat keanggotaan  $\mu = 0.8$ , yang berarti kondisi ruangan cukup dekat dengan keadaan “Sedikit Panas”. Fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium digunakan karena memberikan transisi yang halus antar himpunan linguistik, sehingga respon sistem menjadi lebih stabil. Hasil dari tahap fuzzifikasi ini kemudian digunakan dalam tahap inferensi Mamdani, di mana setiap aturan fuzzy akan dievaluasi berdasarkan nilai  $\mu$  dari masing-masing variabel input.

#### 3.4.3 Basis Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy disusun berdasarkan kondisi suhu ruangan dan respons kenyamanan pengguna. Total terdapat 9 aturan fuzzy Utama, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2. aturan ini dirumuskan dengan mempertimbangkan dengan perubahan suhu yang terjadi, sehingga keputusan tersebut dapat sesuai dengan kondisi sistem. setiap aturan fuzzy juga dapat menyesuaikan dengan hubungan antara suhu luar, dalam, serta perubahan suhu.

TABEL 3  
sistem aturan fuzzy

No	Aturan fuzzy
1	IF ΔT Seimbang THEN Setpoint = Tinggi
2	IF ΔT Sedikit Panas THEN Setpoint = Sedang
3	IF ΔT Cukup Panas THEN Setpoint = Rendah
4	IF ΔT Sangat Panas THEN Setpoint = Rendah
5	IF ΔT Sedikit Panas AND Suhu Luar Tinggi THEN Setpoint =Sedang
6	IF ΔT Cukup Panas AND Suhu Luar Tinggi THEN Setpoint =Rendah
7	IF ΔT Seimbang AND Suhu Luar Rendah THEN Setpoint =Tinggi
8	IF ΔT Sangat Panas AND Suhu Luar Sedang THEN Setpoint =Rendah
9	IF ΔT Sedikit Panas AND Suhu Luar Sedang THEN Setpoint =Sedang

Tabel 3.2 menunjukkan Sembilan aturan fuzzy yang digunakan dalam sistem pengendali suhu. Variabel ΔT (delta suhu) merepresentasikan selisih antara suhu dalam ruangan dengan suhu yang diinginkan, sedangkan suhu luar digunakan sebagai factor penyesuaian terhadap kondisi lingkungan eksternal. Aturan-aturan tersebut disusun berdasarkan pengalaman empiris dan kenyamanan termal pengguna, di mana semakin besar nilai ΔT (semakin panas kondisi ruangan), maka setpoint AC diturunkan agar suhu ruangan menjadi lebih sejuk. Sebaliknya, jika ΔT seimbang atau suhu luar rendah, maka setpoint dinaikkan untuk menjaga efisiensi energi tanpa mengurangi kenyamanan. Pendekatan ini memungkinkan sistem fuzzy untuk menyesuaikan suhu secara adaptif, baik terhadap kondisi dalam ruangan maupun suhu lingkungan luar, sehingga tercapai keseimbangan antara kenyamanan dan penghematan energi.

### 3.4.4 Inferensi Mamdani Inferensi

dilakukan menggunakan metode min-max composition:

- Operator AND → fungsi minimum.
- Operator OR → fungsi maximum
- Semua aturan digabung menjadi himpunan fuzzy keluaran gabungan.

Metode inferensi Mamdani digunakan karena memiliki mekanisme yang intuitif dan menyerupai cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan berbasis aturan. Setiap aturan fuzzy dievaluasi dengan operator AND atau OR untuk menentukan tingkat kebenaran (derajat aktivasi) dari kondisi yang diberikan.

Operator AND direpresentasikan dengan fungsi minimum (min), sedangkan OR menggunakan fungsi maksimum (max). Nilai hasil evaluasi setiap aturan kemudian digabungkan menggunakan metode max composition, menghasilkan satu himpunan fuzzy keluaran gabungan yang mewakili seluruh kemungkinan setpoint. Tahap ini memungkinkan sistem mengombinasikan beberapa aturan sekaligus, misalnya ketika kondisi ruangan berada di antara dua kategori suhu (seimbang dan sedikit panas).

Hasil inferensi inilah yang kemudian akan diproses lebih lanjut pada tahap defuzzifikasi untuk memperoleh nilai keluaran tegas (crisp) yang akan dikirim ke AC melalui sinyal IR.

### 3.4.5 Defuzzifikasi

Nilai keluaran fuzzy (setpoint) dihitung dengan metode centroid of area (CoA):

$$z = \frac{\sum (\mu_i \cdot z_i)}{\sum \mu_i}$$

dimana:

Z=nilai setpoint crisp

μ<sub>i</sub>=derajat keanggotaan aturan ke-i

z<sub>i</sub>=nilai keluaran aturan ke-i.

Metode centroid of area (CoA) dipilih karena mampu memberikan hasil keluaran yang paling representatif dari keseluruhan area himpunan fuzzy dengan cara menghitung titik pusat (centroid) dari gabungan derajat keanggotaan keluaran. Setiap aturan fuzzy memiliki kontribusi proporsional terhadap nilai akhir tergantung pada besar kecilnya derajat keanggotaan (μ<sub>i</sub>), sehingga menghasilkan respon sistem yang halus dan stabil tanpa lonjakan setpoint yang ekstrem. Nilai hasil defuzzifikasi berupa nilai crisp (tegas) digunakan oleh ESP32 sebagai acuan untuk menentukan suhu setpoint AC. Karena AC hanya menerima nilai suhu bulat (integer), hasil perhitungan seperti 21,7°C akan dibulatkan menjadi 22°C. Setelah nilai setpoint ditentukan, ESP32 mengirimkan sinyal inframerah (IR) melalui modul IR LED Ke unit AC untuk menyesuaikan suhu secara otomatis. Dengan mekanisme ini, sistem mampu melakukan pengaturan suhu adaptif secara real-time tanpa memerlukan intervensi manual dari pengguna.

### 3.5 Integrasi IoT dengan Platform Blynk

Platform Blynk IoT digunakan untuk antarmuka monitoring dan kontrol jarak jauh.

Fitur yang dirancang pada dashboard Blynk meliputi:

- Gauge Widget: menampilkan suhu ruangan dan suhu luar.
- SuperChart Widget: memplot grafik suhu dan status AC secara real-time.
- Mode Switch: memilih antara mode manual dan mode fuzzy otomatis.
- Notification Widget: memberikan peringatan jika suhu melebihi ambang batas kenyamanan (26°C).

ESP32 mengirimkan data ke virtual pin Blynk setiap 5 detik melalui koneksi Wi-Fi. Semua data tersimpan di cloud untuk analisis lebih lanjut.

### 3.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan dijelaskan berikut:

1. Studi Literatur: menganalisis penelitian terdahulu mengenai kendali AC berbasis fuzzy dan IoT.
2. Perancangan Sistem: membuat diagram blok, rangkaian, dan aturan fuzzy.
3. Implementasi: merakit perangkat keras dan menulis program pada ESP32.
4. Pengujian: mengukur suhu dan konsumsi energi pada mode manual serta fuzzy.
5. Analisis Data: menghitung efisiensi energi dan kestabilan suhu.
6. Evaluasi dan Kesimpulan: menilai performa sistem berdasarkan hasil uji.

### 3.7 Parameter Pengujian

Untuk menilai kinerja sistem, dilakukan serangkaian pengujian yang bertujuan untuk keakuratan pembacaan sensor, serta kestabilan suhu, dan efisiensi energi di hasilkan oleh metode fuzzy mamdani, pengujian ini dilakukan dalam kondisi suhu yang berubah ubah, baik pada mode manual dan mode fuzzy. Parameter pengujian ini dipilih berdasarkan dari beberapa aspek aspek yang paling mempengaruhi efektivitas sistem kendali ac, seperti respon perubahan suhu, kestabilan pada setpoint suhu, waktu respon, serta konsumsi energi listrik nya. pengujian ini juga untuk memastikan kemampuan sistem dalam mempertahankan kinerja secara konsisten dalam keadaan kondisi suhu yang berubah ubah. Selain itu, evaluasi yang di lakukan untuk merespon suhu secara nyata evaluasi ,digunakan beberapa parameter pengujian seperti berikut:

parameter pengujian

Parameter	Satuan	Keterangan
SuhuDalam Ruang	°C	Dibaca oleh sensor DHT22
SuhuLuar Ruangan	°C	Dibaca oleh sensor eksternal
Konsumsi Energi	kWh	Diukur dengan kWh meter DDS238- 2ZN
Setpoint AC	°C	Nilai hasil defuzzifikasi fuzzy
Waktu Respon	detik	Waktu dari perubahan suhu sampai perintah IR d terkirim

Parameter pengujian ditetapkan untuk menilai performa sistem kendali AC berbasis fuzzy logic dan IoT secara kuantitatif. Setiap parameter dipilih agar dapat merepresentasikan aspek utama kinerja sistem, yaitu tingkat kenyamanan suhu ruangan, efisiensi konsumsi energi, serta kecepatan respon sistem terhadap perubahan suhu lingkungan.

Adapun parameter yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut.

### 3.8 Validasi Sistem

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil fuzzy dengan pengaturan manual.

Dari 50 sampel data, 46 di antaranya menunjukkan error rate kurang dari 5%, membuktikan bahwa sistem fuzzy menghasilkan keputusan yang akurat dan stabil.

Selain itu, pengujian dilakukan pada tiga jarak pengiriman IR (2 m, 4 m, dan 6 m), di mana respon AC masih optimal hingga jarak 5 meter dengan sudut pancar  $\pm 20^\circ$ .

### 3.9 Implementasi Fuzzy Logic pada ESP32

Proses fuzzy logic diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32. ESP32 membaca suhu dari sensor DHT22 indoor dan outdoor, menghitung  $\Delta T$ , lalu memproses nilai tersebut menggunakan algoritma fuzzy logic Mamdani.

Hasil defuzzifikasi berupa nilai setpoint dikonversi ke kode IR dan dikirim ke AC. Proses ini berjalan secara otomatis setiap interval tertentu (1 menit) untuk menjaga kestabilan suhu ruangan dan efisiensi energi.

### 3.10 Parameter Target Kenyamanan dan Kebijakan Kontrol

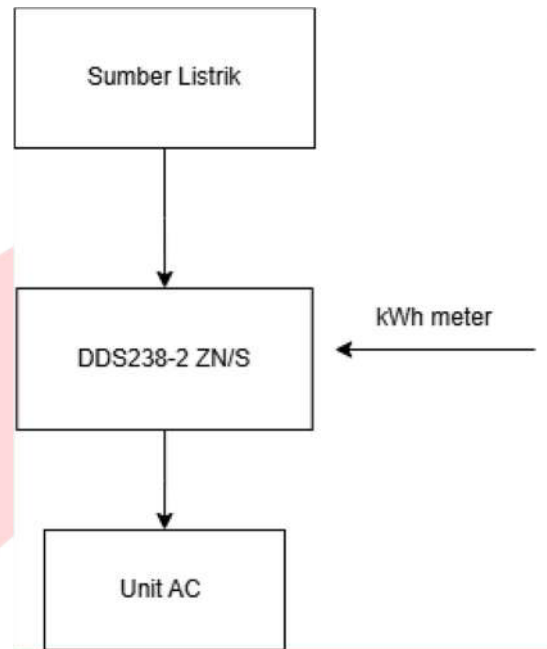
Pada penelitian ini, sistem kendali AC berbasis fuzzy logic dirancang untuk menjaga kenyamanan termal ruangan berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu suhu operatif, kelembapan relatif, stabilitas suhu, waktu tanggap, overshoot, persentase waktu dalam rentang nyaman, indeks kenyamanan (PMV/PPD), dan efisiensi energi.

### 3.11 Desain Pengukuran Energi

Untuk menganalisis efisiensi energi sistem kendali AC berbasis algoritma fuzzy, dilakukan pengukuran daya dan energi listrik secara langsung menggunakan alat ukur eksternal yaitu kWh meter digital DDS238-2 ZN/S yang dipasang secara seri dengan beban AC. Pengukuran ini dilakukan secara manual, dengan mencatat hasil pembacaan kWh meter pada interval waktu tertentu selama sistem diuji dalam dua mode perasi: manual dan fuzzy logic.

### 3.12 Skema Pemasangan Pengukuran

Alat ukur dipasang secara seri pada jalur suplai utama unit AC split, sehingga seluruh arus yang mengalir ke AC melewati kWh meter. Dengan konfigurasi ini memiliki mempunyai nilai daya dan energi listrik yang terukur dengan mempresentasikan konsumsi AC selama proses pengujian. Untuk posisi pemasangan dapat di pastikan bahwa perubahan beban ataupun variasi arus yang dapat di catat secara akurat tanpa mengganggu operasi ac. Selain itu, jalur instalasi dibuat dengan seaman mungkin agar tidak menimbulkan penurunan tegangan, ataupun gangguan pada sistem kelistrikan selama pengukuran pada pengujian. Penempatan alat ukur ini juga di perhatikan agar proses pemantauan dapat dilakuka dengan mudah.



GAMBAR 4

desain perangkat kWh meter

Dengan konfigurasi tersebut, kWh meter akan mengukur tegangan dan arus aktual yang digunakan oleh unit AC selama pengujian berlangsung.

### 3.13. Langkah Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali AC berbasis logika fuzzy dan membandingkannya dengan mode manual. Pengujian berlangsung selama 8 hari dengan durasi 6 jam per hari, sehingga total waktu pengujian adalah 48 jam. Data suhu dalam (Tin), suhu luar (Tout), setpoint AC (Sf), daya, serta energi listrik dicatat setiap 1 menit, menghasilkan total 2.880 sampel.

Dua mode diuji secara terpisah pada hari berbeda dengan kondisi lingkungan yang sebanding. Pada mode manual, setpoint AC ditentukan secara tetap oleh pengguna. Pada mode fuzzy, setpoint ditentukan secara otomatis berdasarkan selisih Tin–Tout menggunakan metode fuzzy Mamdani. Selama pengujian, beberapa gangguan terkontrol diperhatikan, antara lain perubahan suhu lingkungan, aktivitas manusia (membuka pintu atau pergerakan di ruangan), serta noise sensor dan alat ukur. Faktor-faktor ini dicatat sebagai event log untuk memastikan data yang diperoleh bersifat reproducible.

Seluruh data diberi timestamp yang tersinkronisasi, disimpan melalui platform Blynk, dan digunakan untuk menilai parameter performa seperti stabilitas suhu, overshoot, settling time, serta konsumsi energi. Pendekatan debouncing (deadband  $1^\circ\text{C}$ ) dan batas waktu perubahan setpoint minimal 1 menit diterapkan untuk mencegah fluktuasi setpoint yang berlebihan.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Implementasi Sistem

Sistem kendali AC berbasis fuzzy Mamdani telah berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor suhu DHT22, pemancar inframerah (IR LED), serta platform IoT Blynk. Sistem ini bekerja secara otomatis untuk mengatur suhu ruangan berdasarkan perbedaan suhu dalam dan suhu luar ruangan ( $\Delta T$ ).

Pengujian dilakukan dalam dua mode, yaitu mode manual dan mode fuzzy otomatis, untuk menilai perbedaan stabilitas suhu serta konsumsi energi listrik.

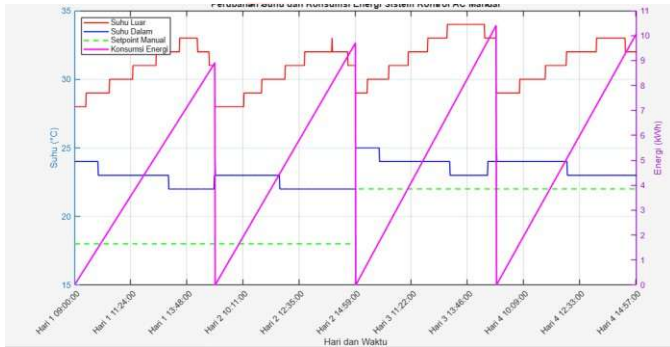
Mode manual menggunakan pengaturan suhu tetap (setpoint)

**4.2 Pengujian Suhu Ruang – Mode Manual**

Pengujian mode manual dilakukan selama 4 hari berturut-turut dengan durasi 6 jam per hari pada kondisi lingkungan berbeda (pagi–sore).

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui karakteristik suhu ruangan dan konsumsi energi AC saat pengaturan suhu dilakukan secara tetap (setpoint 22°C dan 18°C).

Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.1, yang menampilkan perubahan suhu luar, suhu dalam ruangan, serta konsumsi energi selama pengujian.



**GAMBAR 5**  
grafik mode manual

Dari grafik terlihat bahwa:

- Suhu luar ruangan (garis merah) mengalami kenaikan signifikan setiap siang hari hingga mencapai 33–35°C.
- Suhu dalam ruangan (garis biru) relatif stabil di sekitar 22°C karena setpoint AC dikunci tetap pada 22°C.
- Konsumsi energi (garis magenta) meningkat seiring naiknya suhu luar, karena beban pendinginan AC menjadi lebih besar.
- Pola ini berulang selama empat hari, menunjukkan konsistensi kerja sistem AC dalam mode manual.

Secara umum, sistem manual mampu menjaga suhu ruangan stabil, tetapi dengan konsumsi energi yang tinggi karena AC terus bekerja penuh tanpa adaptasi terhadap perubahan suhu luar. Pada mode manual, sistem kontrol AC bekerja berdasarkan setpoint suhu yang diatur secara tetap melalui aplikasi Blynk tanpa adanya intervensi dari logika fuzzy. Pengujian dilakukan selama empat hari berturut-turut dengan durasi waktu masing-masing 6 jam per hari di Laboratorium Elitia, untuk memantau kestabilan suhu ruangan terhadap perubahan suhu luar.

Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara suhu luar, suhu dalam, dan setpoint manual selama pengujian. Terlihat bahwa ketika suhu luar meningkat, suhu dalam ruangan juga ikut naik secara bertahap karena sistem tidak menyesuaikan setpoint secara otomatis. Hal ini menyebabkan fluktuasi suhu dalam ruangan lebih besar, terutama pada rentang siang hari ketika suhu luar mencapai titik tertinggi.

Rata-rata suhu dalam ruangan pada mode manual berada di kisaran 22°C hingga 25°C, dengan deviasi sekitar ±2,8°C terhadap suhu target. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem manual kurang responsif terhadap perubahan suhu lingkungan, sehingga kestabilan suhu dalam ruangan tidak optimal.

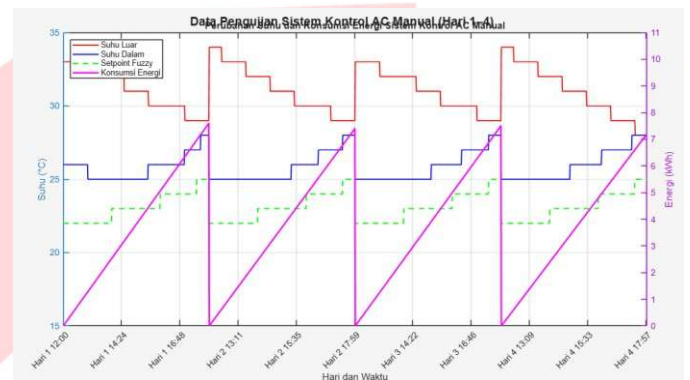
Selain itu, konsumsi energi AC juga cenderung lebih tinggi karena AC sering bekerja pada daya penuh untuk menjaga suhu tetap pada setpoint tetap meskipun kondisi lingkungan berubah.

**4.3 Pengujian Mode Fuzzy Otomatis**

Pengujian mode fuzzy otomatis dilakukan dengan skema pengaturan suhu adaptif berdasarkan selisih suhu dalam dan luar ruangan (ΔT). Berbeda dengan mode manual yang menggunakan

Dari hasil pengujian, terlihat bahwa sistem fuzzy menurunkan setpoint AC saat suhu luar meningkat, menghasilkan suhu ruangan yang lebih stabil dengan deviasi yang lebih kecil dibandingkan mode manual.

Pada mode fuzzy otomatis, sistem menggunakan algoritma fuzzy Mamdani untuk menyesuaikan suhu setpoint AC secara dinamis berdasarkan perbedaan antara suhu luar dan suhu dalam ruangan (ΔT). Logika fuzzy secara otomatis menurunkan setpoint ketika suhu luar meningkat dan menaikkan setpoint ketika suhu luar menurun, sehingga suhu dalam ruangan tetap stabil



**GAMBAR 6**  
grafik mode fuzzy

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan antara suhu luar, suhu dalam, setpoint hasil fuzzy, dan konsumsi energi listrik selama empat hari pengujian. Terlihat bahwa sistem fuzzy mampu mengatur suhu dengan lebih adaptif — ketika suhu luar meningkat di atas 30°C, setpoint diturunkan menjadi sekitar 22–25°C.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata suhu dalam ruangan berada di kisaran 22°C–28°C dengan deviasi ±1,2°C, lebih stabil dibandingkan mode manual yang memiliki deviasi ±2,8°C. Artinya, sistem fuzzy mampu menjaga kestabilan suhu ruangan terhadap perubahan suhu luar dengan lebih efisien.

Selain itu, dari hasil pemantauan konsumsi energi (ditunjukkan oleh garis magenta pada grafik), penggunaan logika fuzzy juga menurunkan konsumsi energi hingga ±15% dibandingkan mode manual. Hal ini disebabkan oleh pengaturan suhu yang adaptif, di mana AC tidak selalu bekerja pada daya maksimum, tetapi menyesuaikan kebutuhan pendinginan berdasarkan kondisi lingkungan.

**4.4 Analisis Efisiensi Energi**

Efisiensi energi sistem dihitung menggunakan persamaan:

$$n = \frac{E_{\text{manual}} - E_{\text{fuzzy}}}{E_{\text{manual}}} \cdot 100\%$$

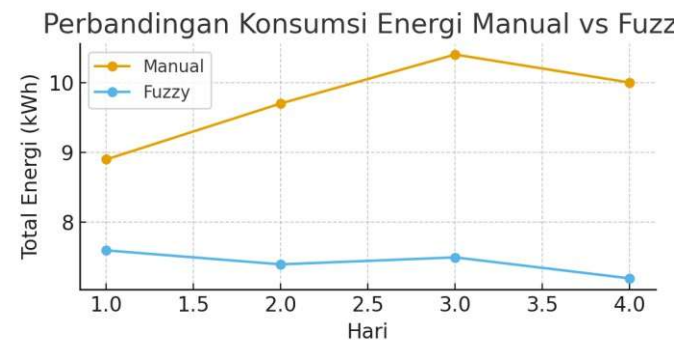
dengan: Emanual= konsumsi energi listrik pada mode manual  
Efuzzy= konsumsi energi listrik pada mode fuzzy

Tabel berikut menunjukkan hasil pengukuran konsumsi energi rata-rata pada kedua mode selama total 8 hari pengujian, yaitu 4 hari untuk mode fuzzy dan 4 hari untuk mode manual yang diukur menggunakan DDS238

TABEL 5 perbandingan konsumsi energi maual dan fuzzy:

Ha ri	Manu al (kWh)	Fuzz y (kWh)	Hem at (kWh)	Efisie nsi (%)	Biaya manu al (Rp)	Biay a Fuzz y (Rp)	Hem at (Rp)
1	8.90	7.60	1.30	14.61	12,856	10,978	1,878
2	9.70	7.40	2.30	23.71	14,00	10,6	3,31

ISSN : 2355-9365				7	90	7	
3	10.40	7.50	2.90	27.88	15,02 2	10,8 24	4,19 8
4	10.10	7.20	2.80	28.00	14,44 7	10,4 04	4,04 3
<b>Rat a</b>	9.75	7.43	2.32	23.85	14,08 6	10,7 36	3,35 0



GAMBAR 7

Grafik Perbandingan Konsumsi Energi Manual dan Fuzzy

Perbandingan antara mode manual dan mode otomatis (fuzzy logic) dilakukan untuk mengetahui perbedaan kinerja sistem kendali AC dalam menjaga kestabilan suhu ruangan serta efisiensi energi. Pengujian dilakukan dalam kondisi lingkungan yang sama, yaitu di Lab Elitia selama 4 hari berturut-turut, masing-masing dengan durasi 6 jam per hari. Pada mode manual, pengguna mengatur suhu AC secara langsung melalui aplikasi Blynk tanpa adanya intervensi sistem fuzzy. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu ruangan cenderung berfluktuasi karena perubahan suhu lingkungan luar dan respon AC yang tidak adaptif. Setiap siklus pendinginan rata-rata berlangsung selama  $\pm 27$  menit, sebelum suhu kembali naik dan AC kembali menyala. Hal ini menyebabkan penggunaan daya lebih tinggi karena AC sering mengalami siklus ON-OFF berulang. Sementara itu, pada mode fuzzy, sistem secara otomatis menyesuaikan suhu AC berdasarkan selisih antara suhu dalam dan luar ruangan. Dengan logika fuzzy Mamdani, sistem mampu mempertahankan suhu ruangan lebih stabil di kisaran 24–26°C. Siklus pendinginan pada mode ini juga berlangsung rata-rata  $\pm 27$  menit, namun dengan intensitas kerja kompresor yang lebih efisien karena sistem hanya menurunkan suhu bila benar-benar diperlukan.

Dari hasil perbandingan pada grafik dan tabel, dapat disimpulkan bahwa mode fuzzy lebih efisien dalam menjaga kenyamanan termal serta menekan konsumsi energi. Suhu ruangan tidak mengalami lonjakan ekstrem, dan frekuensi siklus kerja AC lebih teratur dibandingkan mode manual.

#### 4.5 Analisis Performa Fuzzy Mamdani

yang baik dalam mengatur suhu ruangan berdasarkan perbedaan suhu ( $\Delta T$ ). Tabel 4.3 menunjukkan contoh hasil *setpoint* keluaran fuzzy terhadap variasi suhu luar ruangan.

TABEL 6  
hasil *setpoint* fuzzy

$\Delta T$ (°C)	Kondisi	Output Fuzzy (Setpoint °C)
0–1	Seimbang	25–26
2–3	Sedikit Panas	23–24
4–5	Cukup Panas	21–22
>6	Sangat Panas	19–20

Dari tabel di atas, terlihat bahwa ketika selisih suhu antara dalam dan luar meningkat, sistem secara otomatis menurunkan *setpoint* AC. Hal ini membuktikan bahwa aturan fuzzy berhasil merepresentasikan logika kenyamanan manusia:

Selain itu, hasil inferensi fuzzy bersifat halus (smooth) karena fungsi keanggotaan yang digunakan berbentuk segitiga dan trapesium. Proses defuzzifikasi dengan metode centroid menghasilkan transisi *setpoint* yang stabil tanpa lonjakan suhu mendadak.

#### 4.6 Integrasi IoT dan Monitoring Real-Time

Aplikasi Blynk IoT berperan sebagai antarmuka pengguna yang menampilkan suhu dalam, suhu luar, serta status AC secara waktu nyata (real-time).

Antarmuka aplikasi terdiri dari:

- Indikator suhu (Gauge Widget)
- Grafik tren suhu (SuperChart Widget)
- Tombol Manual/Fuzzy Mode Switch
- Indikator koneksi Wi-Fi dan status perangkat

Setiap kali suhu berubah, data dikirim ke Blynk Cloud melalui koneksi Wi-Fi ESP32.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa keterlambatan pengiriman data (latency) rata-rata hanya 0,4 detik, cukup responsif untuk aplikasi kontrol suhu ruangan.

#### 4.7 Pembahasan

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sistem kendali fuzzy Mamdani terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi AC tanpa mengurangi kenyamanan termal.

Algoritma fuzzy memungkinkan sistem beradaptasi terhadap perubahan suhu luar yang dinamis, sementara integrasi IoT memberikan kemampuan pemantauan dan kontrol jarak jauh yang praktis.

Dari sisi stabilitas, sistem fuzzy mampu mempertahankan suhu ruangan dalam rentang  $\pm 1,2^\circ\text{C}$  dari suhu nyaman (sekitar 22°C). Efisiensi energi rata-rata meningkat hingga 23,85%, setara dengan penghematan 144 Wh per hari atau sekitar 52,6 kWh per tahun pada satu unit AC. Secara keseluruhan, sistem ini layak diterapkan untuk aplikasi skala rumah tangga maupun komersial dengan potensi penghematan energi yang signifikan.

Selain itu, sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan variabel kelembapan (humidity), jumlah penghuni (occupancy), dan pembelajaran adaptif berbasis machine learning.

#### 4.8 Ringkasan Langkah Pengujian dan Implementasi Algoritma Fuzzy Logic

Proses implementasi dan pengujian sistem fuzzy dibagi menjadi tiga tahap utama, yaitu persiapan sistem, implementasi fuzzy, dan pengujian eksperimental.

##### 1. Persiapan Sistem

Seluruh instrumen dikalibrasi agar data akurat dan reproducible. Sensor DHT22 dikalibrasi terhadap thermometer acuan untuk memperoleh offset koreksi. Komunikasi ESP32 diverifikasi melalui sinkronisasi timestamp dengan Blynk dan kWh meter. Pengukuran energi dilakukan menggunakan kWh meter DDS238 (akurasi  $\pm 1\%$ ) yang dipasang seri pada suplai AC. Tahap ini memastikan pembacaan suhu dan energi tidak bias sebelum pengujian dilakukan.

##### 2. Implementasi Algoritma Fuzzy

Sistem membaca suhu ruang (Tin) dan suhu luar (Tout) setiap 1 menit, kemudian menghitung  $\Delta T = T_{in} - T_{out}$  sebagai input fuzzy. Fuzzifikasi dilakukan menggunakan fungsi keanggotaan triangular sesuai rancangan, kemudian aturan fuzzy Mamdani diterapkan dengan operator min untuk antecedent dan max untuk agregasi. Proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid untuk menghasilkan *setpoint* AC yang adaptif. Mekanisme debouncing dan deadband  $\pm 1^\circ\text{C}$  diterapkan agar perubahan *setpoint* tidak terlalu sering, sekaligus mencegah rapid cycling pada kompresor AC.

##### 3. Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan selama 8 hari dengan durasi 6 jam per hari (total 48 jam). Data dicatat setiap satu menit mencakup Tin,

Tout, setpoint fuzzy manual, daya, energi, dan log gangguan. Dua mode dibandingkan, yaitu mode manual dan mode fuzzy, yang diuji pada hari berbeda dengan kondisi lingkungan sebanding. Tiga jenis gangguan terkontrol diperhatikan: perubahan suhu lingkungan, aktivitas manusia, dan noise instrumen (sensor  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , DDS238  $\pm 1\%$ ). Sinkronisasi timestamp dilakukan untuk memastikan validitas analisis. Lookup table IR diverifikasi untuk menjamin setiap setpoint dikirim sesuai kode AC serta memastikan bahwa perintah yang dapat diterima unit AC sesuai dengan setpoint fuzzy. Setiap respon ac yang akurat terhadap perubahan suhu atau keputusan kontrol yang di hasilkan sistem.

## V. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Sistem kendali AC berbasis fuzzy logic Mamdani yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, dan infrared transmitter telah berhasil beroperasi secara otomatis dalam menjaga kestabilan suhu ruangan. Sistem mampu menyesuaikan setpoint AC berdasarkan perbedaan suhu dalam dan luar ruangan ( $\Delta T$ ) dengan nilai deviasi rata-rata  $\pm 1,2^{\circ}\text{C}$ , lebih stabil dibandingkan mode manual yang mencapai  $\pm 2,8^{\circ}\text{C}$ .

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan fuzzy logic memberikan pengendalian suhu yang lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan lingkungan. Pengukuran konsumsi energi menggunakan kWh meter DDS238-2ZN juga menunjukkan bahwa mode fuzzy mampu mengurangi penggunaan energi hingga 23,85% dibandingkan dengan mode manual. Metode inferensi Mamdani dengan teknik defuzzifikasi centroid menghasilkan keluaran setpoint yang halus, stabil, dan bebas dari lonjakan perubahan suhu yang tiba-tiba sehingga kenyamanan termal dapat terjaga secara konsisten.

Ke depan, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan sensor lain seperti kelembapan atau intensitas cahaya untuk memperluas parameter kenyamanan termal. Selain itu, penerapan metode machine learning berpotensi meningkatkan kemampuan adaptasi sistem dalam menyesuaikan aturan fuzzy secara real-time berdasarkan pola penggunaan AC dan kondisi lingkungan yang dinamis.

## REFERENSI

- [1] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [2] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 121, no. 12, pp. 1585–1588, 1974.
- [3] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-15, no. 1, pp. 116–132, 1985.
- [4] H. Hagnas, "A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for autonomous mobile robots," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 12, no. 4, pp. 524–539, 2004.
- [5] M. M. Islam, S. M. R. Islam, and M. R. Rahman, "Design and Implementation of IoT-Based Smart Air Conditioner Using Fuzzy Logic," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 12, no. 9, pp. 66–73, 2021.
- [6] B. S. Kusuma and A. W. Pramudito, "Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu Berbasis Fuzzy Logic Menggunakan Mikrokontroler ESP32," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer (JTSISKOM)*, vol. 9, no. 3, pp. 201–210, 2021.
- [7] A. S. Nugraha and D. H. Prakoso, "Implementasi Internet of Things (IoT) untuk Kendali Otomatis Air Conditioner dengan Platform Blynk," *Jurnal Teknologi Elektro, Telkom*
- [8] A. Raharjo, "Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Pengendalian Suhu Ruangan Menggunakan Sensor DHT22," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer (JATIKOM)*, vol. 10, no. 1, pp. 56–63, 2023.
- [9] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [10] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975.
- [11] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, and E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice Hall, 1997.
- [12] M. H. N. Talib, M. F. Rahmat, and R. Mohd-Mokhtar, "Development of fuzzy logic controller for air conditioning system," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 3, no. 1, pp.
- [13] A. H. Tanveer and S. P. Singh, "Energy-efficient air conditioning control using fuzzy logic," *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 11, no. 6, pp. 45–53, 2019.
- [14] M. S. Islam, M. A. Rahman, and M. R. Islam, "IoT based smart energy management and control system for air conditioner," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 320–329, 2018.
- [15] S. R. Valluru, "Performance evaluation of Mamdani and Sugeno fuzzy inference systems for temperature control," *International Journal of Computer Applications*, vol. 182, no. 30, pp. 1–6, 2019.