

Implementasi Logika Fuzzy dan IoT untuk Pemantauan dan Optimalisasi Pengoperasian Lampu dan Pendingin Udara

Fuzzy Logic and IoT Implementation for Optimizing and Monitoring AC and Lighting

¹ Isa Rachman*), ¹ Noorman Rinanto, ¹Agus Khumaidi, ¹Mohammad Arigo Al. Hafid, ¹Sofi Berliana Rizky dan ¹Zainu Rafsanjani

¹Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111, Surabaya, Indonesia

*)*corresponding email: isarachman@ppns.ac.id*

Abstrak

Secara umum, pengoperasian lampu dan pendingin udara (AC / Air Conditioner) pada suatu ruangan masih dilakukan secara manual yang tidak disesuaikan dengan kebutuhan atau kondisi sebenarnya (aktual). Hal ini dapat menyebabkan pemborosan energi listrik yang berdampak pada peningkatan biaya listrik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengontrolan cahaya dan suhu ruangan untuk optimalisasi pengoperasian lampu dan pendingin udara sesuai dengan SNI 6197:2011 tentang standar pencahayaan dan SNI T-14-1993-037 tentang standar termal. Pengoperasian lampu berdasarkan tiga kondisi cahaya yaitu, gelap, sedang, dan terang. Pengoperasian pendingin udara dengan tiga himpunan keanggotaan suhu pendingin udara yaitu, turun, sedang, dan naik merupakan hasil pengolahan metode logika fuzzy Sugeno berdasarkan tiga himpunan keanggotaan suhu ruangan yaitu, dingin, normal, dan panas serta juga berdasarkan tiga himpunan keanggotaan jumlah orang yaitu, sedikit, sedang, dan banyak. Sistem ini terdiri dari sensor suhu SHT20, sensor cahaya TSL2561, sensor gerak HC-SR501, sensor fotoelektrik E3JK-S4M2 dan sensor listrik PZEM-004T serta mikrokontroler ESP32 sebagai pengontrol aktuator lampu TL dan aktuator pendingin udara. Dari hasil pengujian selama dua hari di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan PPNS menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu mengurangi penggunaan energi listrik sebesar 14.2 kWh setara Rp7.512,44,- dari 32,5 kWh setara Rp33.950,- menjadi 18,3 kWh setara Rp26.438,-.

Kata Kunci: listrik, lampu, pendingin udara, logika fuzzy, IoT.

Abstract

Generally, the operation of lights and Air Conditioners (AC) in a room is still done manually and is not adjusted to actual needs or conditions. This can cause a waste of electrical energy, which increases electricity costs. This research aims to design a room light and temperature control system to optimize the operation of lights and air conditioners in accordance with SNI 6197:2011 concerning lighting standards and SNI T-14-1993-037 concerning thermal standards. The operation of the lamp is based on three light conditions, namely, dark, medium, and bright. The operation of the AC with three membership sets of temperature, namely, down, medium, and up, is the result of processing the Sugeno fuzzy logic method based on three membership sets of room temperature, namely, cold, normal, and hot, and also based on three membership sets of the number of people, namely, few, medium, and many. This system consists of an SHT20 temperature sensor, TSL2561 light sensor, HC-SR501 motion sensor, E3JK-S4M2 photoelectric sensor, and PZEM-004T electrical sensor as well as ESP32 microcontroller as the controller of TL light actuator and air conditioners actuator. The results of testing for two days at the PPNS Robotics and Artificial Intelligence Laboratory show that the designed system can reduce the use of electrical energy by 14.2 kWh, equivalent to Rp7.512,44,- from 32.5 kWh, equivalent to Rp33,950,- to 18.3 kWh, equivalent to Rp26,438,-.

Keywords: electricity, lamp, AC, fuzzy logic, IoT

Makalah diterima 2 Maret 2025 – makalah direvisi 26 April 2025 – disetujui 27 April 2025

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi [CC BY-SA](#).



1 Pendahuluan

Kebutuhan akan efisiensi energi listrik menjadi semakin penting pada era modern, terutama dengan meningkatnya biaya listrik dan kesadaran akan dampak lingkungan dari konsumsi energi berlebih [1]. Secara umum, sumber beban utama konsumsi energi listrik pada suatu bangunan yaitu, penerangan (lampu) dan pendingin udara (AC) [2]. Pengoperasian lampu dan pendingin udara secara manual masih menjadi praktik umum pada banyak tempat. Meskipun cara ini sederhana dan mudah diterapkan, namun memiliki kelemahan terutama terkait dengan efisiensi pengoperasianya, misalnya sering lupa mematikan

lampa dan pendingin udara setelah selesai digunakan yang mengakibatkan pemborosan energi listrik sehingga berdampak pada peningkatan biaya listrik. Selain itu, pengoperasian perangkat secara manual tidak memungkinkan penyesuaian berdasarkan kondisi sebenarnya (aktual) pada ruangan, seperti keberadaan orang atau perubahan suhu, sehingga seringkali perangkat beroperasi tidak sesuai kebutuhan.

Perhatian khusus terhadap otomatisasi beban listrik menandai revolusi dalam sistem manajemen energi listrik. Pemanfaatan teknologi otomatisasi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan dan distribusi listrik [3]. Inovasi dalam otomatisasi beban listrik memberikan potensi untuk meningkatkan kinerja sistem kelistrikan secara keseluruhan, mengurangi pemborosan energi listrik, dan menciptakan solusi yang lebih efektif, lebih optimal dan berkelanjutan.

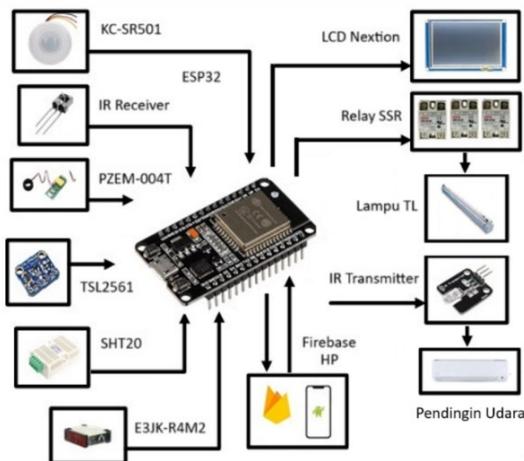
Aryandhi dan Talakua (2019) mengembangkan sistem kontrol suhu ruangan otomatis berbasis logika fuzzy untuk pendingin udara (AC) dengan mempertimbangkan suhu dalam dan luar ruangan serta jumlah orang dalam ruangan, tetapi belum mengintegrasikan kontrol pencahayaan dan tidak dilengkapi fitur pemantauan berbasis IoT [4]. Haniifah, dkk.(2020) mensimulasikan sistem kontrol dan monitoring jarak jauh untuk lampu dan AC berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T, tetapi belum mengimplementasikan logika fuzzy sebagai pengontrol adaptif terhadap kondisi lingkungan yang dinamis [5].

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada penelitian ini dibahas mengenai sistem otomatisasi pengoperasian lampu dan pendingin udara dengan implementasi logika fuzzy dan pemantauannya berbasis IoT. Logika fuzzy adalah pendekatan yang mampu menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan pada sistem kontrol yang memungkinkan sistem membuat keputusan lebih adaptif dan cerdas terhadap perubahan kondisi di lingkungan sekitarnya [6]. Sistem yang dirancang secara otomatis mengontrol aktuator lampu TL dan pendingin udara melalui ESP32 sesuai parameter-parameter yang diukur melalui sensor SHT20, TSL2561, HC-SR501, E3JK-S4M2, IR Receiver, dan PZEM-004T. Dengan didukung oleh teknologi IoT (*Internet of Things*), maka kinerja sistem dapat dipantau secara langsung melalui aplikasi Android “Smart Class”. IoT adalah teknologi yang mampu menghubungkan dan mengkomunikasikan berbagai perangkat melalui jaringan internet [7]. Objek penelitian ini adalah Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) yang berukuran panjang 15 meter, lebar 11 meter dan tinggi 4 meter.

Dengan adanya penelitian ini, maka pengoperasian lampu dan pendingin udara dapat dilakukan secara optimal sehingga konsumsi energi listrik menjadi lebih efisien dan berkelanjutan yang berdampak pada pengurangan biaya listrik secara signifikan dengan tetap memperhatikan kenyamanan pengguna. Selain itu, dengan pengontrolan yang tepat dan pemantauan berkelanjutan, resiko kerusakan akibat kelebihan beban atau kondisi operasional yang ekstrim dapat diminimalisir sehingga berpotensi memperpanjang umur lampu dan pendingin udara [8].

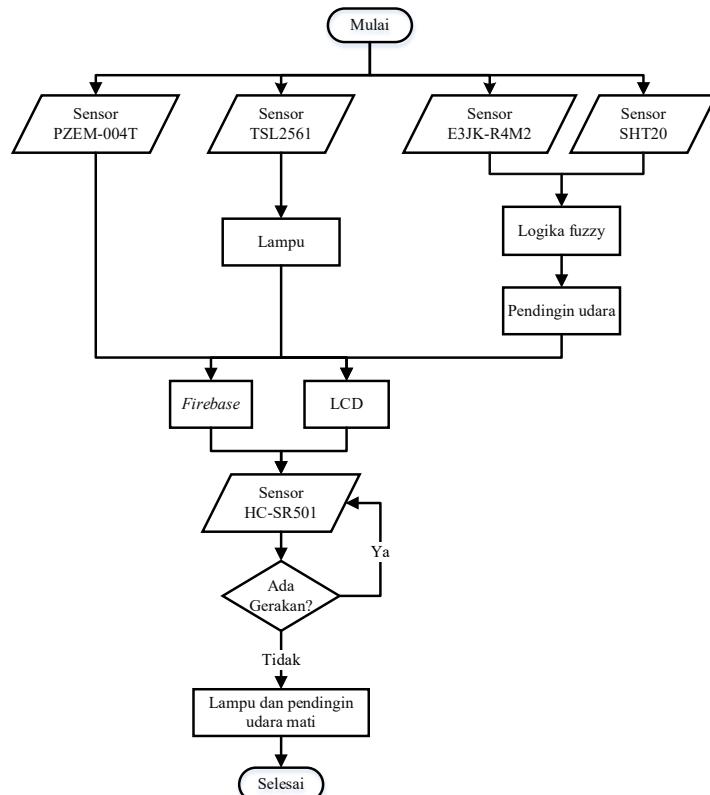
2 Metode

Sistem yang dirancang terdiri dari komponen-komponen masukan (*input*), pemroses (*controller*) dan keluaran (*output*). Rancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan sistem.

Komponen *input* berupa sensor-sensor yang berfungsi sebagai pengukur parameter-parameter terdiri dari SHT20 sebagai sensor suhu, TSL2561 sebagai sensor cahaya, HC-SR501 dan E3JK-S4M2 sebagai sensor pergerakan dan penghitung orang dalam ruangan serta *IR Receiver* sebagai sensor inframerah. Selain itu, terdapat PZEM-004T sebagai sensor listrik yang mengukur parameter tegangan, arus, frekuensi, faktor daya, daya, dan energi listrik. Komponen *controller* berupa mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai penerima data, pemroses data dan pengambil keputusan. Data juga dikirimkan ke *database* dengan *platform* Firebase untuk dipantau melalui aplikasi Android “Smart Class” dengan memanfaatkan teknologi IoT [9]. Komponen *output* berupa aktuator-aktuator yang berfungsi sebagai penggerak terdiri dari LCD sebagai aktuator penampil, relay SSR sebagai aktuator pemutus/penghubung lampu TL dan *IR Transmitter* sebagai aktuator inframerah untuk pengontrol pendingin udara.



Gambar 2. Diagram alir sistem.

Diagram alir sistem ditunjukkan pada Gambar 2 dengan tahapan sebagai berikut,

1. Data hasil pengukuran intensitas cahaya ruangan oleh sensor TSL2561 dikirimkan ke mikrokontroler ESP32, kemudian digunakan untuk mengontrol lampu sesuai Tabel 3. Data hasil pengukuran jumlah orang yang masuk ruangan oleh sensor E3JK-S4M2 dan pengukuran suhu ruangan oleh sensor SHT20 dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diolah dengan metode logika *fuzzy* Sugeno, kemudian digunakan untuk mengontrol pendingin udara sesuai aturan *fuzzy* pada Tabel 8. Data hasil pengukuran konsumsi energi listrik pada lampu dan pendingin udara oleh PZEM-004T serta data hasil pengukuran intensitas cahaya ruangan, jumlah orang yang masuk ruangan dan suhu ruangan ditampilkan di LCD dan dikirimkan ke Firebase serta dipantau melalui aplikasi Android “Smart Class”
2. Pergerakan orang di ruangan dideteksi oleh sensor HC-SR501. Apabila dalam kurun waktu tertentu, tidak terdeteksi pergerakan orang di ruangan, maka secara otomatis lampu dan pendingin udara dimatikan.

Tingkat intensitas cahaya yang sesuai pada suatu ruangan secara langsung mempengaruhi kenyamanan visual baik di dalam maupun di luar ruangan [10]. Dalam perancangan sebuah bangunan harus memperhatikan aspek sistim pencahayaan yang akan dibuat dengan merujuk pada rekomendasi standar rata-rata pencahayaan dan standar daya listrik maksimum yaitu, SNI 6197:2011 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar rata-rata pencahayaan [11]

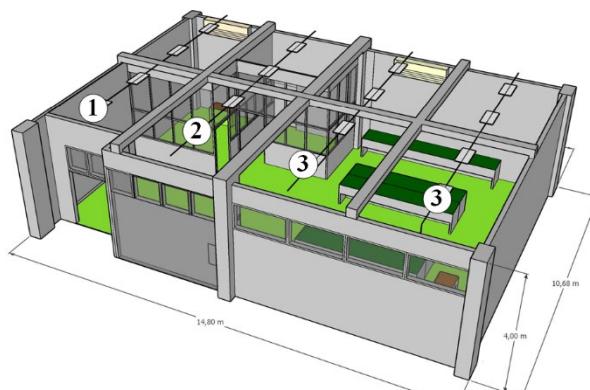
Fungsi ruangan	Intensitas cahaya (lux)
Lembaga pendidikan	
Ruang kelas	250
Perpustakaan	300
Laboratorium	500
Ruang komputer	500
Ruang bahasa	300
Ruang gambar	750

Dalam perancangan sistem kontrol lampu, *input* data intensitas cahaya yang didapatkan dari hasil pembacaan sensor TSL2561 diklasifikasikan menjadi tiga kondisi yaitu, Gelap, Sedang, dan Terang dengan rentang skala intensitas cahaya yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi intensitas cahaya

Klasifikasi	Intensitas cahaya (lux)
Gelap	0-45
Sedang	48-62
Terang	>65

Nilai klasifikasi intensitas cahaya pada Tabel 2 didapatkan dari data hasil pengukuran nilai intensitas cahaya sesuai kondisi sebenarnya (aktual) di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan, PPNS dengan menggunakan Luxmeter yang mencapai rentang 10-120 lux, meskipun standar pencahayaan sesuai SNI 6197:2011 di laboratorium seharusnya 500 lux. Hal ini dipengaruhi oleh desain dan konstruksi bangunan laboratorium.



Gambar 3. Denah lampu laboratorium.

Sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 3, terdapat 16 lampu di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan dengan pembagian sebagai berikut,

1. Lampu 1 berada pada bagian pintu
2. Lampu 2 berada pada bagian gudang
3. Lampu 3 berada pada bagian praktek.

Untuk memastikan pencahayaan optimal di seluruh area laboratorium yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan produktivitas pengguna, maka pengontrolan lampu sesuai kondisi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengontrolan lampu

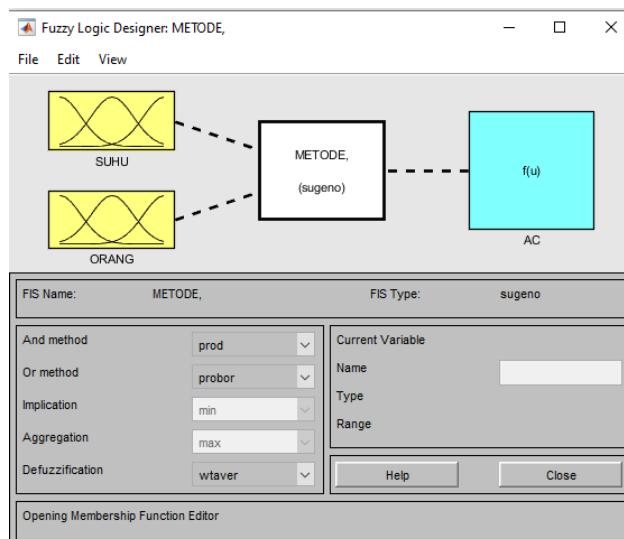
Kondisi	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3
Gelap	ON	ON	ON
Sedang	ON	OFF	ON
Terang	OFF	OFF	OFF

Kenyamanan termal adalah kondisi seseorang merasakan kesejukan/kehangatan sesuai dengan preferensinya terhadap suhu lingkungan, sehingga tidak merasa terlalu panas maupun terlalu dingin [12]. Kondisi ini dicapai ketika terdapat keseimbangan antara panas yang diproduksi oleh tubuh manusia melalui proses metabolisme dengan panas yang diserap atau dilepaskan ke lingkungan sekitarnya. Standar kenyamanan termal Indonesia (berdasarkan temperatur efektif) menurut SNI T-14-1993-037 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Standar kenyamanan termal Indonesia [13]

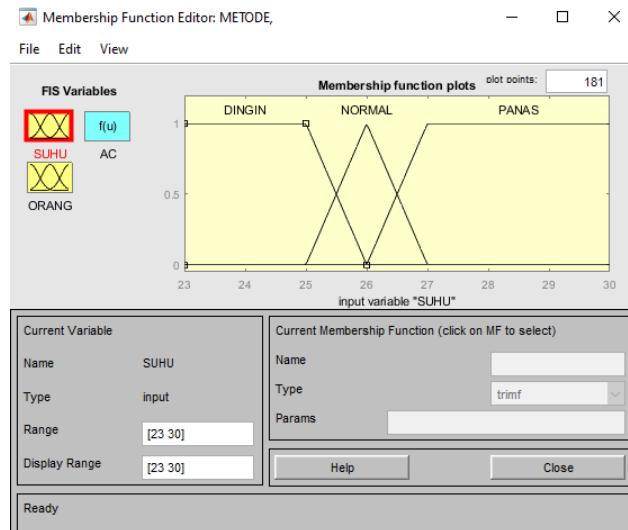
Kenyaman Termal	Suhu (°C)
Dingin tidak nyaman	<20.5
Sejuk-nyaman	20.5-22.8
Nyaman optimal	22.8-25.8
Hangat-nyaman	25.8-27.2
Panas tidak nyaman	>27.2

Dalam perancangan metode logika fuzzy untuk sistem kontrol pendingin udara dibutuhkan simulasi *input*, *output*, dan aturan-aturan yang digunakan dengan tujuan untuk memastikan bahwa logika fuzzy dirancang dengan parameter-parameter yang tepat untuk mencapai kinerja optimal.



Gambar 4. Input dan output logika fuzzy.

Sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 4, terdapat dua *input* dan satu *output* yang diolah oleh metode logika fuzzy dengan pendekatan Sugeno. *Input* yang digunakan berupa parameter suhu ruangan dan jumlah orang di dalam ruangan yang dikombinasikan untuk menghasilkan satu *output* yaitu, pengontrolan suhu pendingin udara yang paling tepat dengan kondisi sebenarnya. Dengan mempertimbangkan berbagai aturan dan parameter yang terlibat, logika fuzzy memungkinkan sistem untuk membuat keputusan yang adaptif dan responsif terhadap perubahan lingkungan, sehingga pengontrolan suhu pendingin udara yang dihasilkan dapat memastikan kenyamanan termal yang optimal bagi pengguna ruangan. Metode ini juga mampu memperhitungkan kemungkinan variasi kondisi ruangan, sehingga dapat memberikan pengontrolan suhu pendingin udara yang presisi dan sesuai kebutuhan pengguna [14].

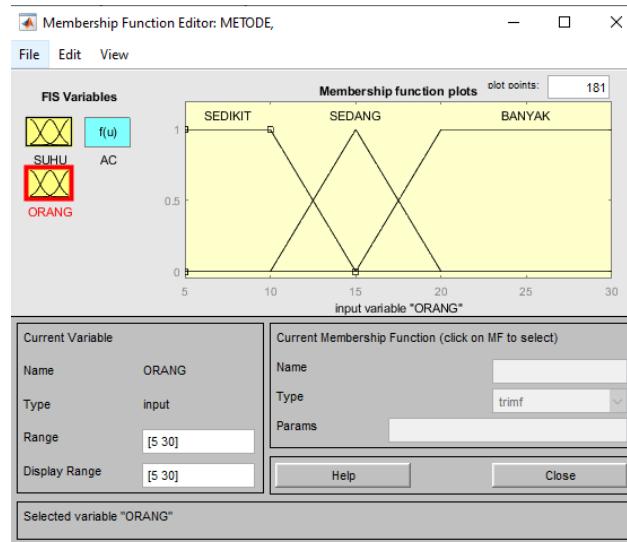


Gambar 5. Input suhu logika fuzzy.

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa *input* data suhu ruangan yang didapatkan dari hasil pembacaan sensor SHT20 memiliki tiga himpunan keanggotaan yaitu, Dingin, Normal, dan Panas. Klasifikasi rentang skala himpunan keanggotaan suhu ruangan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Himpunan keanggotaan suhu ruangan

Klasifikasi	Suhu ruangan (°C)
Dingin	23-26
Normal	25-27
Panas	26-30



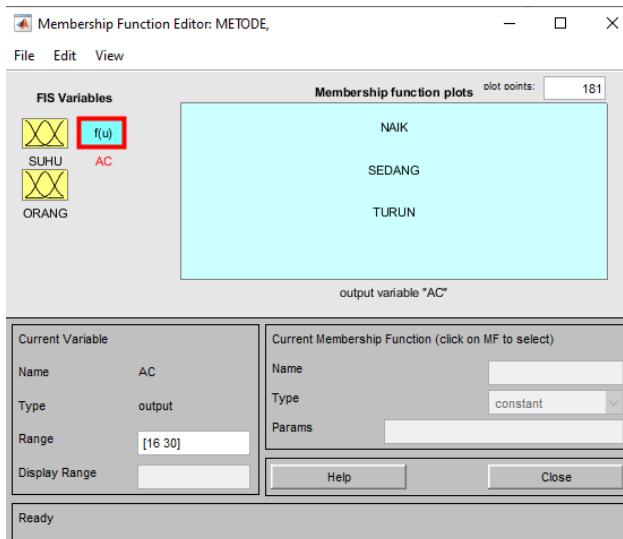
Gambar 6. Input jumlah orang logika fuzzy.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa *input* data jumlah orang yang didapatkan dari hasil pembacaan sensor E3JK-S4M2 memiliki tiga himpunan keanggotaan yaitu, Sedikit, Sedang, dan Banyak. Klasifikasi rentang skala himpunan keanggotaan jumlah orang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Himpunan keanggotaan jumlah orang

Klasifikasi	Jumlah orang (orang)
Sedikit	1-16
Sedang	11-21
Banyak	16-31

Klasifikasi-klasifikasi di atas digunakan untuk mendefinisikan kondisi suhu ruangan dan jumlah orang yang diolah metode logika fuzzy, memungkinkan metode untuk menganalisis dan menafsirkan data suhu ruangan dan jumlah orang yang telah diperoleh dari sensor-sensor. Informasi ini digunakan untuk pengontrolan suhu pendingin udara paling sesuai untuk menciptakan lingkungan yang nyaman. Proses ini memastikan bahwa pengontrolan suhu pendingin udara selalu disesuaikan dengan kondisi aktual yang diukur oleh sensor, memberikan kontrol yang lebih efektif dan adaptif terhadap perubahan suhu ruangan dan jumlah orang di dalam ruangan.



Gambar 7. Output suhu pendingin udara logika fuzzy.

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa *output* data suhu pendingin udara yang dihasilkan oleh *IR Transmitter* untuk pengontrol pendingin udara memiliki tiga himpunan keanggotaan yaitu, Naik, Sedang, dan Turun. Klasifikasi rentang skala himpunan keanggotaan suhu pendingin udara ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Himpunan keanggotaan suhu pendingin udara

Klasifikasi	Suhu pendingin udara (°C)
Turun	16
Sedang	23
Naik	30

Pada Tabel 8 ditunjukkan sembilan aturan logika fuzzy yang berfungsi sebagai penghubung antara kombinasi variabel *input* suhu ruangan (Dingin, Normal, Panas) dan variabel *input* jumlah orang (Sedikit, Sedang, Banyak) dengan variabel *output* suhu pendingin udara (Turun, Sedang, Naik) melalui himpunan logika fuzzy. Aturan logika fuzzy Sugeno dinyatakan dalam IF mewakili kondisi yang dipenuhi oleh variabel *input* dan THEN menentukan *output* yang harus dihasilkan.

Tabel 8. Aturan fuzzy

Aturan	Input		Output
	Suhu ruangan (°C)	Jumlah orang (orang)	Suhu pendingin udara (°C)
R1	Dingin	Sedikit	Suhu Naik
R2	Dingin	Sedang	Suhu Naik
R3	Dingin	Banyak	Suhu Naik
R4	Normal	Sedikit	Suhu Sedang
R5	Normal	Sedang	Suhu Sedang
R6	Normal	Banyak	Suhu Sedang
R7	Panas	Sedikit	Suhu Turun
R8	Panas	Sedang	Suhu Turun
R9	Panas	Banyak	Suhu Turun

Dengan memanfaatkan teknologi IoT-Firebase, maka kinerja sistem yang dirancang dapat dipantau secara langsung (*real time*) melalui aplikasi Android “Smart Class” yang telah dibuat berupa informasi suhu ruangan, intensitas cahaya dan jumlah orang di dalam ruangan serta konsumsi energi listrik lampu dan pendingin udara yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pemantauan kinerja sistem.

3 Hasil dan Diskusi

3.1 Pengujian Pencahayaan

Pengujian pencahayaan untuk sistem pengontrolan lampu dilakukan dengan pemberian rangsangan cahaya dan pemblokiran cahaya pada sensor cahaya TSL2561. Dengan metode ini memungkinkan untuk mengevaluasi efektivitas dan responsivitas dari sistem pengontrolan lampu terhadap perubahan tingkat intensitas cahaya. Nilai intensitas cahaya pada pengujian pencahayaan di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan didapatkan dari pengujian *trial and error* ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengujian pencahayaan

No.	Intensitas cahaya (lux)	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3
1.	14	ON	ON	ON
2.	52	ON	OFF	ON
3.	72	OFF	OFF	OFF

Dari hasil pengujian pencahayaan di atas didapatkan bahwa sistem pengontrolan lampu berjalan dengan benar dan sesuai dengan klasifikasi intensitas cahaya dan pengontrolan lampu yang telah ditetapkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

3.2 Data Latih (*Training*)

Pengujian data latih dengan menggunakan metode logika fuzzy Sugeno bertujuan untuk mengukur kinerja model Sugeno pada data latih dan mengevaluasi capaian model Sugeno dapat memahami dan

memodelkan relasi antara variabel *input* dan variabel *output*. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa model Sugeno mampu memahami kompleksitas dan variasi dalam data yang diberikan, serta mampu memprediksi dengan akurat berdasarkan pola yang telah dipelajari. Data latih diperoleh dari pengukuran variabel *input* yaitu, suhu ruangan dan jumlah orang di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan dengan menggunakan sensor yang telah dikalibrasi untuk memastikan keakuratan pengukuran. Data tersebut kemudian digunakan untuk membangun dan melatih model logika fuzzy Sugeno agar dapat mengontrol variabel *output* yaitu, suhu pendingin udara berdasarkan variabel *input* yang diperoleh. Proses pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses pengambilan data

Tabel 10. Data suhu ruangan dan jumlah orang

No.	Waktu	Suhu ruangan (°C)	Jumlah orang (orang)
1.	08.00	24.5	25
2.	09.00	23.4	30
3.	10.00	26.0	35
4.	11.00	27.5	35
5.	12.00	27.2	7
6.	13.00	27.2	27
7.	14.00	26.2	30

Tabel 10 menunjukkan data hasil pengukuran suhu dan jumlah orang di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan. Pengambilan data dilakukan setiap satu jam untuk memantau perubahan suhu ruangan dan jumlah orang dalam ruangan. Pengumpulan data dilakukan secara cermat guna memastikan akurasi dalam penerapan metode logika fuzzy. Pemilihan variabel ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja pendingin udara, memungkinkan pendinginan yang lebih efisien sesuai kondisi sebenarnya, sehingga meningkatkan kenyamanan pengguna sekaligus mengurangi konsumsi energi listrik.

3.3 Pengujian Metode Logika Fuzzy

Pengujian metode logika fuzzy dilakukan untuk menguji bagaimana sistem dapat memproses *input* berdasarkan aturan-aturan yang telah ditentukan dalam metode logika fuzzy [15]. Dalam pengujian ini, nilai variabel *input* berupa suhu ruangan sebesar 26°C dan jumlah orang di dalam ruangan sebanyak 20 orang. Perhitungan untuk menentukan bagian aturan variabel yang akan dihitung pada proses defuzzifikasi dilakukan dengan cara memilih hasil yang paling kecil dari setiap komposisi variabel *input*. Perhitungan komposisi variabel *input* ditunjukkan pada Tabel 11. Dengan mengukur dan mengkompilasi komposisi variabel *input* secara akurat, sistem dapat memutuskan dan menjalankan proses defuzzifikasi dengan benar dan efektif sehingga hasil akhir dari proses defuzzifikasi mencerminkan kondisi yang paling konservatif atau kritis dalam mengontrol variabel *output* berupa suhu pendingin udara yang paling tepat sesuai kondisi yang diinginkan.

Tabel 11. Perhitungan komposisi variabel *input*

No.	Suhu ruangan (°C)	Jumlah orang (orang)
R1	$\frac{26 - 24.5}{26 - 24.5} = 1 (\text{Dingin})$	$\frac{21 - 20}{21 - 16} = 0.2 (\text{Sedikit})$
R2	$\frac{26 - 24.5}{26 - 24.5} = 1 (\text{Dingin})$	$\frac{20 - 16}{21 - 16} = 0.8 (\text{Sedang})$
R3	$\frac{26 - 24.5}{26 - 24.5} = 1 (\text{Dingin})$	0 (<i>Banyak</i>)
R4	1 (<i>Normal</i>)	$\frac{21 - 20}{21 - 16} = 0.2 (\text{Sedikit})$
R5	1 (<i>Normal</i>)	$\frac{20 - 16}{21 - 16} = 0.8 (\text{Sedang})$
R6	1 (<i>Normal</i>)	0 (<i>Banyak</i>)
R7	$\frac{26.7 - 26}{26.7 - 26} = 1 (\text{Panas})$	$\frac{21 - 20}{21 - 16} = 0.2 (\text{Sedikit})$
R8	$\frac{26.7 - 26}{26.7 - 26} = 1 (\text{Panas})$	$\frac{20 - 16}{21 - 16} = 0.8 (\text{Sedang})$
R9	$\frac{26.7 - 26}{26.7 - 26} = 1 (\text{Panas})$	0 (<i>Banyak</i>)

Hasil inferensi kemudian diubah menjadi nilai *crisp* menggunakan proses defuzzifikasi yang merupakan proses mengkonversi hasil inferensi metode logika fuzzy menjadi nilai variabel *output* yang jelas dan dapat diterapkan pada sistem nyata [16]. Perhitungan menggunakan operator AND MIN pada metode logika fuzzy Sugeno ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan AND MIN variabel *output*

Rule	Suhu ruangan (°C)	Jumlah orang (orang)	Suhu pendingin udara (°C)
R1	1 (<i>Dingin</i>)	0.2 (<i>Sedikit</i>)	30 (<i>Suhu naik</i>)
R2	1 (<i>Dingin</i>)	0.8 (<i>Sedang</i>)	30 (<i>Suhu naik</i>)
R4	1 (<i>Normal</i>)	0.2 (<i>Sedikit</i>)	23 (<i>Suhu sedang</i>)
R5	1 (<i>Normal</i>)	0.8 (<i>Sedang</i>)	23 (<i>Suhu sedang</i>)
R7	1 (<i>Panas</i>)	0.2 (<i>Sedikit</i>)	16 (<i>Suhu turun</i>)
R8	1 (<i>Panas</i>)	0.8 (<i>Sedang</i>)	16 (<i>Suhu turun</i>)

Proses terakhir dalam pengujian ini adalah menentukan nilai keanggotaan variabel *output* menggunakan perhitungan manual dengan menerapkan metode matematis secara rinci untuk memastikan akurasi pada setiap nilai keanggotaan variabel *output* [17].

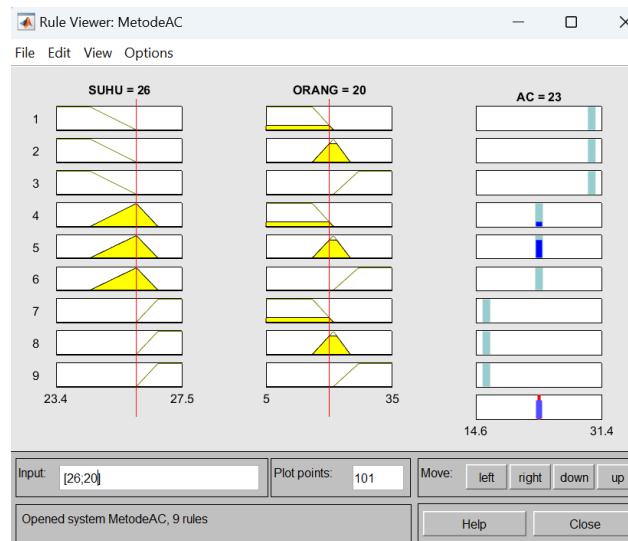
$$\text{Output} = \frac{\sum(\text{derajat keanggotaan} \times \text{nilai output})}{\sum(\text{derajat keanggotaan})}$$

$$\text{Output} = \frac{(0.2 \times 30) + (0.8 \times 30) + (0.2 \times 23) + (0.8 \times 23) + (0.2 \times 16) + (0.8 \times 16)}{0.2 + 0.8 + 0.2 + 0.8 + 0.2 + 0.8}$$

$$\text{Output} = \frac{(6) + (24) + (4.6) + (18.4) + (3.2) + (12.8)}{3}$$

$$\text{Output} = \frac{69}{3} = 23 (\text{Suhu Sedang})$$

Dari hasil perhitungan manual di atas didapatkan nilai variabel *output* sebesar 23°C yang termasuk dalam kategori Suhu Sedang sesuai dengan himpunan keanggotaan suhu pendingin udara yang telah ditetapkan pada Tabel 7. Nilai variabel *output* yang didapatkan dari hasil perhitungan manual akan dibandingkan dengan hasil pengujian menggunakan MATLAB untuk mengetahui validasi, akurasi, dan konsistensinya.



Gambar 10. Hasil pengujian MATLAB.

Hasil pengujian menggunakan MATLAB dengan nilai variabel *input* berupa suhu ruangan sebesar 26°C dan jumlah orang di dalam ruangan sebanyak 20 orang menghasilkan nilai variabel *output* berupa suhu pendingin udara sebesar 23°C yang dikategorikan Suhu Sedang ditunjukkan pada Gambar 10. Antara hasil perhitungan manual dengan hasil pengujian menggunakan MATLAB menunjukkan hasil identik yang membuktikan keandalan metode logika fuzzy Sugeno yang digunakan. Konsistensi ini menegaskan bahwa sistem pengontrolan suhu dapat berjalan secara efisien dan tepat sesuai dengan kebutuhan dalam berbagai kondisi operasional.

3.4 Pengujian Konsumsi Energi Listrik

Pengambilan data konsumsi energi listrik lampu dan pendingin udara di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan didapatkan dari hasil pembacaan sensor PZEM-004T selama dua hari dengan kondisi cahaya, suhu, dan jumlah orang yang identik. Pengujian konsumsi energi listrik tanpa optimalisasi dimana pengoperasian lampu dan pendingin udara dilakukan secara manual ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Pengujian konsumsi energi listrik tanpa optimalisasi

Tanggal	Waktu	Lampu				Pendingin udara			
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (kWh)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (kWh)
07/08/2024	08:00:00 AM	235.7	1.65	223.4	0.0	231.7	11.21	911.8	0.0
07/08/2024	12:00:00 PM	236.1	1.65	223.1	0.9	233.6	11.39	931.8	3.1
07/08/2024	04:00:00 PM	237.0	1.65	223.3	1.8	234.3	11.17	921.8	6.4
07/08/2024	08:00:00 PM	236.2	1.64	223.2	2.7	233	11.23	921.9	10.2
08/08/2024	12:00:00 AM	235.6	1.65	223.4	3.6	232.1	11.07	907.2	14.0
08/08/2024	04:00:00 AM	235.6	1.01	211.4	4.2	232.5	11.16	912.4	17.4
08/08/2024	08:00:00 AM	235.9	0.84	208.3	4.4	231.6	5.43	519.7	19.1

Dari hasil pengujian di atas didapatkan konsumsi energi listrik harian untuk lampu sebesar 4,4 kWh dan untuk pendingin udara sebesar 19.1 kWh sehingga total keseluruhan sebesar 32,5 kWh dengan estimasi biaya sebesar Rp. 33.950,45. Pengujian konsumsi energi listrik dengan optimalisasi dimana pengoperasian lampu dan pendingin udara dilakukan secara otomatis ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Pengujian konsumsi energi listrik dengan optimalisasi

Tanggal	Waktu	Lampu				Pendingin udara			
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (kWh)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (kWh)
09/08/2024	08:00:00 AM	235.7	1.65	223.4	0.0	231.7	11.21	911.8	0.00
09/08/2024	12:00:00 PM	234.9	1.64	223.3	0.4	234.9	11.32	916.4	2.20
09/08/2024	04:00:00 PM	236.5	1.66	223.1	1.1	233.5	11.27	925.7	4.70
09/08/2024	08:00:00 PM	236.8	1.64	223.3	1.7	234.3	11.17	921.8	6.40
10/08/2024	12:00:00 AM	235.5	1.64	223.4	2.4	233.5	11.19	921.3	9.20
10/08/2024	04:00:00 AM	236.8	1.66	223.4	2.9	232.1	11.13	911.4	12.30
10/08/2024	08:00:00 AM	236.7	1.67	223.3	3.2	231.9	11.03	905.1	15.10

Dari hasil pengujian di atas didapatkan konsumsi energi listrik harian untuk lampu sebesar 3,2 kWh dan untuk pendingin udara sebesar 15.1 kWh sehingga total keseluruhan sebesar 18,3 kWh dengan estimasi biaya sebesar Rp26.438,01,-. Berdasarkan hasil pengujian konsumsi energi listrik yang telah dilakukan pada Tabel 13 dan Tabel 14 terdapat penurunan konsumsi energi listrik sebesar 14.2 kWh dengan estimasi penghematan biaya sebesar Rp7.512,44,-.

3.5 Pengujian Sistem Pemantauan

Data berupa hasil pengukuran parameter intensitas cahaya ruangan, jumlah orang yang masuk ruangan, suhu ruangan dan konsumsi energi listrik pada lampu dan pendingin udara ditampilkan di LCD dan dikirimkan ke Firebase serta dipantau melalui aplikasi Android “Smart Class” yang telah dibuat dengan memanfaatkan teknologi IoT.



Gambar 11. Tampilan LCD dan aplikasi Android “Smart Class”

Perbandingan antara data yang ditampilkan pada LCD dengan pemantauan melalui aplikasi Android “Smart Class” ditunjukkan pada Gambar 11. Berdasarkan hasil pengujian, data yang ditampilkan pada LCD menunjukkan kesesuaian dengan data pemantauan melalui aplikasi Android “Smart Class”. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT bekerja dengan baik dan berfungsi secara akurat sehingga dapat diandalkan oleh pengguna dalam memantau kondisi Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan secara *real-time* tanpa harus berada di lokasi secara langsung sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam manajemen ruangan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem pengontrolan cahaya dan suhu untuk optimalisasi pengoperasian lampu dan pendingin udara yang dirancang telah bekerja dengan baik. Dalam pengujian metode *fuzzy* dengan nilai variabel *input* berupa suhu ruangan sebesar 26°C dan jumlah orang di dalam ruangan sebanyak 20 orang menghasilkan variabel *output* berupa suhu pendingin udara 23°C yang termasuk dalam kategori Suhu Sedang sesuai dengan himpunan keanggotaan suhu pendingin udara yang

telah ditetapkan. Hasil pengujian konsumsi energi listrik antara tanpa dan dengan optimalisasi pengoperasian lampu dan pendingin udara yang dilakukan selama dua hari menunjukkan terdapat penurunan konsumsi energi listrik sebesar 14.2 kWh setara Rp7.512,44,- dari 32,5 kWh setara Rp33.950,- menjadi 18,3 kWh setara Rp26.438,-. Pemantauan kinerja sistem pengontrolan cahaya dan suhu secara *real-time* berbasis Android dan IoT dapat bekerja dengan baik dan berfungsi secara akurat yang dapat ditunjukkan dari kesesuaian data hasil pengukuran intensitas cahaya ruangan, jumlah orang yang masuk ruangan, suhu ruangan dan konsumsi energi listrik pada lampu dan pendingin udara dan yang ditampilkan pada LCD dengan pemantauan melalui aplikasi Android “Smart Class” yang telah dibuat.

Ucapan Terima Kasih

Dengan penuh rasa syukur, kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, yang telah memberikan dukungan berupa fasilitas Laboratorium Otomasi dan Robotika dalam penyelesaian penelitian ini.

Nomenklatur

kWh = kilowatt hour (Energi)

Lux = Intensitas cahaya

°C = Celsius (Suhu)

V = Volt (Tegangan)

A = Ampere (Arus)

W = Watt (Daya)

Referensi

- [1] A. A. A. Setya, “Efisiensi energi listrik dalam upaya meningkatkan power quality dan penghematan energi listrik di gedung Universitas Ciputra (UC) Apartment Surabaya,” *Teknol. Elektro*, vol. 6, no. 3, 2017. [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-teknik-elektro/article%20/view/20972>
- [2] P. Kartini, “Analisis statistik konsumsi energi listrik pada bangunan gedung yayasan Widya Dharma Pontianak,” *Elkha*, vol. 9, no. 2, p. 45, 2019. <https://doi.org/10.26418/elkha.v9i2.25136>
- [3] R. Syahputra, “Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik,” LP3M UMY, Yogyakarta, pp. 249–256, 2016. [Online]. Available: https://elektro.umy.ac.id/wp-content/uploads/2023/04/Ramadoni-Syahputra_Transmisi-dan-Distribusi-Tenaga-Listrik-diktat-2.pdf
- [4] Y. D. Aryandhi and W. Talakua, “Penerapan inferensi *fuzzy* untuk pengendali suhu ruangan secara otomatis pada Air Conditioner (AC),” *Pros. FMIPA Univ. Pattimura*, pp. 177–184, 2013. [Online]. Available: https://ejournal.unpatti.ac.id/ppr_iteminfo_lnk.php?id=518
- [5] N. Haniifah, Suhanto, and S. Hariyadi, “Simulasi kontrol monitoring lampu dan AC dengan *Building Automation System* (BAS) berbasis *Internet of Things* (IoT) di Asrama Alpha,” *Approach J. Teknol. Penerbangan*, vol. 4, no. 2, pp. 127–136, 2020. <https://doi.org/10.46491/snntp.v4i1.758>
- [6] S. R. Yahya et al., “Metode Fuzzy Logic,” in *Metode SPK Favorit di Masa Depan : Teori dan Contoh*, pp. 11 – 28, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/370984161_METODE_SPK_FAVORIT_DI_MASA_DEPAN_Teori_dan_Contoh
- [7] M. Octaria and M. Irwan Padli Nasution, “Peluang dan tantangan penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem informasi manajemen,” *J. Sist. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 87–93, 2024. <https://doi.org/10.59581/jusiiwidyakarya.v2i2.3559>
- [8] I. M. M. Parwita, “Sistem monitoring kondisi AC untuk menentukan waktu servis menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbor*,” *J. Sist. dan Inform.*, vol. 18, no. 2, pp. 148–158, 2024. <https://doi.org/10.30864/jsi.v18i2.610>
- [9] A. Puspabhuana and P. Y. D. Arliyanto. "Rancang Bangun Purwarupa Aplikasi Kendali Lampu Rumah (Smart Home) Berbasis IoT dan Android yang Terkoneksi dengan Firebase." *Jurnal Inkofar*, vol. 5, no. 2, 2021. <https://doi.org/10.46846/jurnalinkofar.v5i2.203>
- [10] R. Madhani, P. Zalmi, and G. Erlanti, “Pengaruh intensitas pencahayaan terhadap kenyamanan visual pemustaka di Perpustakaan Universitas Metamedia,” *NIAN TANA Sikk.*, no. 6, 2024.

- <https://doi.org/10.59603/niantanasikka.v2i6.560>
- [11] Badan Standardisasi Nasional, "Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan," *Standar Nas. Indones.*, pp. 1–38, 2020. [Online]. Available: <https://akses-sni.bsn.go.id/dokumen/2020/SNI%206197-2020/>
- [12] I. K. Mardika and D. Sagala, "Kenyamanan termal dalam ruang pertemuan umum ditinjau dari aspek sirkulasi udara: studi kasus handep hapakat kabupaten pulang pisau", *J. Perspekt. Arsit.*, vol. 18, no. 1, pp. 31–41, Jun, 2023. <https://doi.org/10.36873/jpa.v18i1.10811>
- [13] A. H. M. Priyadi and W. Nurjayanti, "Evaluasi Pencahayaan Alami dan Kenyamanan Termal," *Semin. Ilm. Arsit.*, vol. 5, no. 2, 2024. [Online]. Available: <https://proceedings.ums.ac.id/siar/article/view/4237>
- [14] S. Amalia, "Pemodelan Sistem Pengontrolan Suhu Ruangan Berbasis Logika Fuzzy Mamdani," *J. Tek. ITP*, vol. 10, no. 1, 2021. <https://doi.org/10.21063/JTE.2021.31331006>
- [15] M. B. Ginting, N. Sinuhaji, and I. M. B. Tarigan, "Sistem Kontrol dan Monitoring AC dengan Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Berbasis IoT", *Journal of Information System Research (JOSH)*, vol. 6, no. 1, pp. 371-385, Oct, 2024. <https://doi.org/10.47065/josh.v6i1.5944>
- [16] N. A. Santoso and W. Setiawati, "Penerapan Metode Logika Fuzzy dalam Menentukan Harga Gabah pada Petani," *REMIK Ris. dan E-Jurnal Manaj. Inform. Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 1355–1366, 2023. [Online]. Available: <https://www.jurnal.polgan.ac.id/index.php/remik/article/view/12694>
- [17] M. Irfan, L. P. Ayuningtias, J. Jumadi, "Analisa perbandingan logic fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani (Studi kasus : prediksi jumlah pendaftar mahasiswa baru Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung)," *J. Tek. Inform.*, vol. 10, no. 1, pp. 9–16, 2017. <http://dx.doi.org/10.15408/iti.v10i1.6810>