

Pendekatan Fuzzy Logic dalam Rancangan Otomatisasi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pendingin Udara

Mohammad Arigo Al. Hafid¹, Sofi Berliana Rizky² Zainu Rafsanjani³,
Isa Rachman⁴, Rini Indarti⁵, Noorman Rinanto⁶, Agus Khumaidi⁷

e-mail: mohammadarigo@gmail.com¹, sofiberliantarizky@gmail.com², zainurafsanjani07@gmail.com³,
isarachman@ppns.ac.id⁴, riniindarti@ppns.ac.id⁵, noorman.rinato@ppns.ac.id⁶, aguskhumaidi@ppns.ac.id⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 27 Juni 2024

Direvisi 19 Juli 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

AC
Fuzzy
Listrik
Kontrol

ABTRAK

Penggunaan pendingin udara seperti AC (*Air Conditioner*) di banyak ruangan masih sering dikontrol secara manual, yang mengakibatkan seringnya lupa mematikan perangkat tersebut. Hal ini menyebabkan pemborosan energi listrik yang signifikan. Metode yang cocok untuk mengatasi masalah ini adalah metode *Fuzzy*. Metode *Fuzzy* merupakan pendekatan yang mampu menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan dalam sistem kontrol. Dalam penelitian ini, implementasi metode *Fuzzy* dilakukan pada AC untuk mengoptimalkan penghematan energi listrik. Dengan menggunakan kontrol *Fuzzy*, sistem dapat secara otomatis mengatur dan mematikan AC berdasarkan berbagai parameter seperti keberadaan orang di ruangan, dan kondisi suhu lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *fuzzy* ini dapat di implementasikan langsung ke dalam ruangan.

ABSTRACT

The use of air conditioners (AC) in many rooms is still often controlled manually, leading to frequent instances where the device is left on unintentionally. This results in significant energy wastage. A suitable method to address this issue is the Fuzzy method. The Fuzzy method is an approach capable of handling uncertainty and ambiguity in control systems. In this study, the implementation of the Fuzzy method is applied to air conditioners to optimize electrical energy savings. By using Fuzzy control, the system can automatically adjust and turn off the AC based on various parameters such as the presence of people in the room and environmental temperature conditions. The results of the study indicate that the Fuzzy method can be directly implemented in rooms.

Keywords:

AC
Fuzzy
Electricity
control

Penulis Korespondensi:

Mohammad Arigo Al. Hafid,
Jurusan Teknik Otomasi,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111.



Email: mohammadarigo@student.ppons.ac.id
+62 83 117-954-000

1. PENDAHULUAN

Dalam era modern ini, kebutuhan akan efisiensi energi menjadi semakin penting, terutama dengan meningkatnya biaya listrik dan perhatian terhadap dampak lingkungan. Salah satu sumber utama konsumsi energi di bangunan adalah pendingin udara seperti AC (*Air Conditioner*). Pada umumnya penggunaan AC yang tidak efisien, terutama karena kontrol manual yang membuat sering kali terlupakan, menyebabkan pemborosan energi yang signifikan dan ketidakefektifitasan dalam penggunaannya. Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol yang lebih cerdas untuk mengelola penggunaan energi secara lebih efektif.

Metode *Fuzzy* merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini. Berbeda dengan sistem kontrol konvensional yang bekerja berdasarkan logika biner, metode *Fuzzy* mampu menangani berbagai tingkat ketidakpastian dan kondisi yang tidak jelas[1]. Metode ini bekerja dengan menggunakan aturan-aturan yang mendekati cara berpikir manusia dalam pengambilan keputusan[2]. Dengan demikian, metode *Fuzzy* dapat memberikan kontrol yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap perubahan kondisi di lingkungan sekitarnya.[3]

Alasan menggunakan metode *fuzzy* salah satunya dapat berbagai perangkat lunak dan pustaka yang tersedia untuk implementasi *Fuzzy*, sehingga memudahkan proses pengembangan dan integrasi sistem kontrol AC. Hal ini memungkinkan pengembang untuk fokus pada desain sistem dan algoritma kontrol, tanpa harus menghabiskan banyak waktu untuk mempelajari detail teknis implementasi *Fuzzy*[4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode *Fuzzy* pada sistem pendingin AC guna menghemat energi listrik. Melalui penerapan metode ini, diharapkan sistem dapat secara otomatis menyesuaikan kebutuhan suhu nyaman pada ruangan berdasarkan parameter seperti keberadaan orang di ruangan serta kondisi suhu lingkungan. Implementasi metode *Fuzzy* diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan energi, tetapi juga memberikan kenyamanan optimal bagi pengguna. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengembangan sistem kontrol energi yang lebih cerdas dan efisien dimasa depan.

Berikut adalah rujukan dari beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan yang berhubungan dengan penelitian ini sebagai berikut:

1. Berdasarkan tugas akhir yang ditulis oleh Rifqi Nur Abyan dengan judul "Sistem Kontrol Beban Kelistrikan Pada Smart Home Untuk Efisiensi Energi Listrik" implementasi sistem kontrol beban kelistrikan pada rumah pintar dengan tujuan utama yaitu mengontrol suhu AC, nemeningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik melalui penerapan metode PID[5]. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengurangi biaya pengeluaran energi rumah dengan memastikan bahwa penggunaan energi sesuai dengan kebutuhan.
2. Berdasarkan jurnal yang ditulis oleh Chindra Saputra, Roby Setiawan, dan Yulia Arvita dengan judul " Penerapan Sistem Kontrol Suhu dan Monitoring Serta Kelembapan pada Kumbung Jamur Tiram Berbasis Iot Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*"[6] dengan tujuan utama yaitu untuk mengontrol suhu ruangan pada jamur tiram untuk memperoleh jamur tiram yang baik.

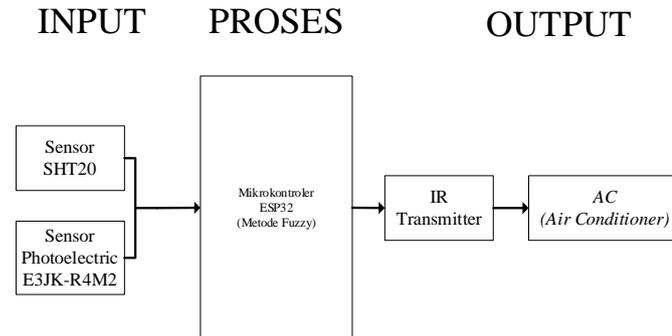
Dari kedua penelitian tersebut, peneliti berencana untuk mengintegrasikan pengaturan suhu AC dengan menggunakan metode *fuzzy*. Metode ini memungkinkan penyesuaian suhu yang lebih tepat dan adaptif berdasarkan berbagai parameter lingkungan, sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan pengguna. Dengan menggabungkan temuan dari penelitian sebelumnya, mereka akan mengembangkan sistem kontrol yang lebih canggih dan responsif terhadap perubahan kondisi ruangan.



2. METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Diagram Blok Sistem

Berikut adalah gambar 1 menunjukkan bagaimana sistem berkerja. Terdapat sensor sebagai masukan dan mikrokontroler untuk memproses data dari sensor, selanjutnya aktuatur sebagai keluaran untuk mengontrol AC.



Gambar 1: Diagram Blok

Gambar 1 menunjukkan diagram blok yang terdapat beberapa komponen, yaitu sensor sebagai *input*, mikrokontroler, dan aktuatur sebagai *Output*. Sensor yang digunakan dalam sistem ini adalah SHT20 dan sensor photoelectric E3JK-R4M2. SHT20 merupakan sensor untuk mengukur suhu pada ruangan, sedangkan sensor photoelectric merupakan sensor untuk mendeteksi kehadiran objek yaitu manusia.

Mikrokontroler yang digunakan dalam sistem ini adalah ESP32, yang memiliki peran penting dalam memproses data yang diterima dari berbagai sensor dan mengontrol perangkat keluaran sesuai kebutuhan. ESP32 ini tidak hanya bertanggung jawab untuk mengumpulkan dan mengolah data sensor, tetapi juga menggunakan metode logika *fuzzy* untuk membuat keputusan yang cerdas dan adaptif berdasarkan data yang diperoleh.

Perangkat keluaran dalam sistem ini termasuk pengirim IR untuk pendingin udara. Pengirim IR digunakan untuk mengirim sinyal ke AC berdasarkan keputusan yang diambil oleh ESP32. Secara keseluruhan, sistem ini menggunakan data sensor untuk membuat keputusan tentang pengontrolan perangkat keluaran, dengan tujuan untuk mempertahankan lingkungan yang nyaman. Metode logika *fuzzy* yang digunakan oleh ESP32 memungkinkan untuk pembuatan keputusan yang lebih rinci, yang mengambil kira beberapa faktor seperti suhu dan jumlah orang.

2.2 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, seorang Professor di *Graduate School of Computer Science Division of Berkeley EECS*. Dia juga menjabat sebagai Direktur dari BISC (*Berkeley Initiative in Soft Computing*)[7]. Logika *fuzzy*, yang berasal dari kata "*fuzzy*" yang berarti kabur, memungkinkan kita untuk menganalisis masalah dengan ketidakpastian.

Logika *Fuzzy* tampil sebagai solusi cerdas untuk memetakan *input* menjadi *Output*, bagaikan otak manusia yang memproses informasi. Berbeda dengan sistem tradisional yang kaku, Logika *Fuzzy* unggul dalam menangani kompleksitas[8]. Sistem tradisional terhambat oleh penambahan *input* baru, membutuhkan kalkulasi ulang yang rumit[4]. Sebaliknya, Logika *Fuzzy* mudah beradaptasi, cukup dengan menambahkan fungsi keanggotaan dan aturan terkait.

Kemampuan Logika *Fuzzy* bagaikan kecerdasan buatan yang cerdas. Diterjemahkan ke dalam algoritma, Logika *Fuzzy* mampu *menangani* data yang kompleks dan ambigu, melampaui batasan data biner tradisional. Logika *Fuzzy* menafsirkan pernyataan yang tidak jelas dengan makna logis, menjadikannya alat yang handal dalam berbagai aplikasi pengolahan data[9].

Logika *Fuzzy* menawarkan kemampuan berpikir yang luar biasa. Berbeda dengan desain tradisional yang bergantung *pada* rumus matematika kompleks, Logika *Fuzzy* memungkinkan perancangan sistem tanpa terikat pada rumus-rumus tersebut. Kemampuan berpikir Logika *Fuzzy* ini membuatnya ideal untuk menangani sistem yang



kompleks dan tidak pasti, di mana data dan informasi tidak selalu tersedia secara lengkap dan akurat[10]. Berikut adalah dasar dari metode *fuzzy logic*.

A. *Input fuzzy*

Adalah bilangan *crisp* (tegas) yang diwakili dalam himpunan *input*. Bilangan *crisp* ini merupakan nilai yang pasti dan tidak ambigu, yang kemudian dipetakan ke dalam himpunan *fuzzy* untuk diproses lebih lanjut dalam sistem *fuzzy*. Himpunan *input* ini berfungsi sebagai wadah untuk berbagai nilai *crisp* yang akan diolah dalam algoritma *fuzzy*, memungkinkan konversi dari data numerik konkret ke representasi *fuzzy* yang lebih fleksibel dan mampu menangani ketidakpastian.

B. Fuzzifikasi

Adalah proses di mana bilangan *crisp* diubah menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*. Proses ini melibatkan penerjemahan data tegas menjadi derajat keanggotaan yang menunjukkan sejauh mana suatu nilai *crisp* termasuk dalam himpunan *fuzzy* tertentu. Dengan kata lain, *fuzzifikasi* mengonversi nilai numerik pasti menjadi representasi *fuzzy* yang memungkinkan analisis dan pemrosesan yang lebih fleksibel dalam sistem berbasis logika *fuzzy*.

C. *Fuzzy inference system*

Adalah bagian dari proses yang digunakan untuk pengambilan kesimpulan (*reasoning*) dan keputusan. Sistem ini menginterpretasikan nilai keanggotaan *fuzzy* dan menerapkan aturan-aturan logika *fuzzy* untuk menghasilkan *Output* yang bermanfaat. Dengan memanfaatkan pendekatan berbasis aturan ini, *fuzzy inference system* mampu menangani ketidakpastian dan memberikan keputusan yang lebih mendekati realitas, terutama dalam situasi yang kompleks dan tidak pasti.

D. *Knowledge base*

Berisi aturan-aturan yang biasanya dinyatakan dengan perintah IF (*THEN*) Aturan-aturan ini menggambarkan hubungan antara kondisi-kondisi tertentu (IF) dan tindakan atau hasil yang diharapkan (*THEN*). Dengan menggunakan format ini, *knowledge base* menyediakan kerangka kerja untuk sistem pengambilan keputusan, memungkinkan pemrosesan informasi yang efisien dan penerapan logika untuk menghasilkan respons yang tepat berdasarkan kondisi yang diobservasi.

E. Defuzzifikasi

Adalah proses untuk mengubah nilai *Output fuzzy* menjadi nilai *crisp*. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan *Output* yang dapat digunakan dalam aplikasi dunia nyata dengan mengonversi hasil yang diwakili dalam bentuk *fuzzy* menjadi nilai numerik yang tegas dan spesifik. Defuzzifikasi adalah langkah terakhir dalam sistem logika *fuzzy*, yang memastikan bahwa hasil dari analisis *fuzzy* dapat diinterpretasikan dan diterapkan dengan jelas dan tepat.

2.3 Fuzzy Sugeno

Metode *Fuzzy Sugeno*, juga dikenal sebagai model Takagi-Sugeno-Kang (TSK), pertama kali diperkenalkan oleh Takagi, Sugeno, dan Kang pada tahun 1985. Metode ini merupakan salah satu metode inferensi *fuzzy* yang populer dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi[11]. Metode *Fuzzy Sugeno* memiliki penalaran yang mirip dengan metode Mamdani, yang membedakan yaitu keluaran dari Metode *Fuzzy Sugeno* berupa nilai konstanta atau persamaan linier, yaitu konsekuen tidak merupakan himpunan *fuzzy*, namun merupakan suatu persamaan linier dengan variabel-variabel sesuai dengan variabel-variabel *input*-nya[12]

A. Bentuk umum orde 0

Secara umum bentuk keseluruhan orde 0 adalah:

$$IF(X \text{ is } A) (X \text{ is } A) (X \text{ is } A) (X \text{ is } A) THEN Z = k \quad (1)$$

Dengan Ai adalah himpunan *fuzzy* ke-1 sebagai anteseden, dan k adalah konstanta (tegas) sebagai konsekuen.

B. Bentuk umum orde 1

Secara umum bentuk keseluruhan orde 1 adalah:



$$IF(X \text{ is } A) \dots (X \text{ is } A) THEN Z = p \tag{2}$$

Dengan Ai adalah himpunan *fuzzy* ke-1 sebagai anteseden, dan pi adalah satu konstanta ke-1 dan q merupakan konstanta dalam konsekuen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Penelitian

Data yang disajikan pada tabel 1 adalah data yang diambil langsung oleh peneliti di Gedung M 101 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Data yang didapat meliputi waktu, suhu, dan jumlah orang.

TABEL I : Data *Real*/suhu dan jumlah orang

No.	Waktu	Suhu (°C)	Jumlah 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
8.	15.00	27.2	21
9.	16.00	26.7	16
10.	17.00	27.4	5

Pada Tabel I dapat dilihat bahwa pengambilan data dilakukan setiap satu jam untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat tentang variasi suhu dan jumlah orang di dalam ruangan sepanjang hari. Berdasarkan data yang diperoleh, suhu minimal yang tercatat adalah 23,4°C. Selain itu, jumlah orang yang terdeteksi di dalam ruangan bervariasi, dengan jumlah paling sedikit sebanyak 5 orang dan jumlah maksimum mencapai 35 orang. Data ini penting untuk memahami pola penggunaan ruangan dan efektivitas pengaturan suhu dengan metode kontrol yang digunakan.

3.2 Pengolahan *Fuzzy*

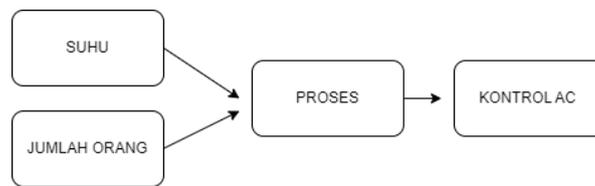
Pada pengolahan *fuzzy*, terdapat beberapa tahapan penting yang harus dilakukan untuk memastikan sistem berjalan dengan optimal. Tahapan-tahapan ini meliputi menentukan variabel *fuzzy*, yaitu parameter-parameter yang relevan dengan sistem yang sedang dianalisis, seperti suhu ruangan dan jumlah orang dalam sistem kontrol suhu. Setelah variabel *fuzzy* ditentukan, langkah berikutnya adalah menentukan variabel linguistik yang merupakan istilah-istilah untuk menggambarkan nilai dari variabel *fuzzy*, seperti "dingin", "normal", dan "panas" untuk variabel suhu, sedangkan "sedikit", "sedang", dan "banyak" untuk variabel jumlah orang. Tahap berikutnya adalah *Fuzzyfikasi*, yang merupakan proses mengonversi nilai numerik dari variabel *fuzzy* menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan untuk menggambarkan derajat keanggotaan terhadap setiap istilah linguistik. Misalnya, suhu 24.5 derajat Celsius mungkin memiliki derajat keanggotaan tertentu dalam kategori "normal". Setelah *Fuzzyfikasi*, aturan-aturan *fuzzy* ditentukan, biasanya berbentuk "jika-maka" yang menghubungkan variabel *fuzzy input* dengan variabel *fuzzy Output*. Contohnya, aturan "Jika suhu adalah 'dingin' dan jumlah orang 'sedikit' maka suhu AC adalah 'naik'". Mesin inferensi kemudian menggunakan aturan-aturan ini untuk membuat keputusan berdasarkan *input* yang telah di *Fuzzyfikasi*, menggabungkan aturan-aturan untuk menghasilkan satu atau lebih *Output fuzzy*. Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, yang mengonversi *Output fuzzy* dari mesin inferensi kembali ke nilai numerik yang bisa digunakan untuk



tindakan nyata, seperti menentukan suhu AC dalam satuan celsius setelah mesin inferensi menentukan bahwa Suhu AC harus "naik". Setiap tahapan ini memastikan bahwa sistem *fuzzy* dapat menangani ketidakpastian dan memberikan *Output* yang tepat berdasarkan *input* yang tidak pasti atau ambigu, sehingga sangat berguna dalam berbagai aplikasi seperti kontrol otomatis, pengambilan keputusan, dan analisis data.

3.2.1 Variabel Fuzzy

Pada tahapan ini, dilakukan penentuan variabel *fuzzy*. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan adalah suhu dan jumlah orang sebagai *input*. Sementara itu, *Output*nya berupa IR transmitter yang digunakan untuk mengirimkan sinyal inframerah yang dapat mengontrol perangkat AC. Variabel suhu terdiri dari himpunan dingin, normal, dan panas. Sedangkan variabel jumlah orang terdiri dari himpunan sedikit, sedang, dan banyak.



Gambar 2: Variabel Fuzzy

Gambar 2 menunjukkan variabel-variabel yang digunakan dalam metode *fuzzy*. Terdapat dua input utama dalam sistem ini, yaitu suhu ruangan yang diukur oleh sensor SHT20 dan jumlah orang di dalam ruangan yang dihitung menggunakan sensor fotoelektrik. Kedua input ini kemudian diproses dalam mikrokontroler ESP32 menggunakan metode *fuzzy Sugeno*. Hasil dari pemrosesan tersebut akan digunakan untuk mengontrol suhu pada AC, dengan pengaturan suhu spesifik: suhu turun ke 16°C, suhu sedang diatur pada 23°C, dan suhu naik ke 30°C. Sistem ini dirancang untuk menyesuaikan suhu secara otomatis berdasarkan kondisi aktual di dalam ruangan, guna meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penghuni.

3.2.2 Variabel Linguistik

Penelitian ini menggunakan tiga variabel *fuzzy*, dan nilai linguistik dari setiap variabelnya ditentukan sebagai berikut:

1. Variabel suhu dibagi menjadi tiga himpunan *fuzzy*: dingin, normal, dan panas, dengan rentang nilai 23.4 – 27.5 °C. Acuan penetapan suhu ini berdasarkan data yang diambil di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, dengan rincian sebagai berikut:
 - a. Dingin : 23.4 – 26.0°C
 - b. Normal : 24.5 – 26.7°C
 - c. Panas : 26.0 – 27.5°C
2. Variabel jumlah orang dibagi menjadi tiga himpunan *fuzzy*: sedikit, sedang, dan banyak, dengan rentang nilai 5 – 35 orang. Acuan penetapan jumlah orang ini berdasarkan data yang diambil di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, dengan rincian sebagai berikut:
 - a. Sedikit : 5 – 21 orang
 - b. Sedang : 16 – 25 orang
 - c. Banyak : 21 – 35 orang
3. Variabel suhu AC dibagi menjadi tiga himpunan *fuzzy*: suhu turun, suhu sedang, dan suhu naik, dengan rentang nilai 16 – 30 °C. Nilai suhu AC ini berdasarkan data kenyamanan suhu di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, dengan rincian sebagai berikut:
 - a. Suhu Turun : 16°C
 - b. Suhu Sedang : 23°C



c. Suhu Naik : 30°C

3.2.3 Fuzzifikasi

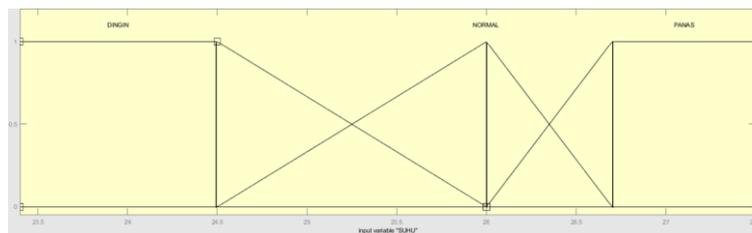
Fuzzifikasi adalah proses konversi data atau *input non-fuzzy* menjadi nilai *fuzzy* dalam sistem logika *fuzzy*, di mana data yang tegas dan pasti diubah menjadi nilai *fuzzy* yang mencerminkan tingkat keanggotaan suatu elemen terhadap himpunan *fuzzy*. Ini memungkinkan sistem logika *fuzzy* untuk menangani ketidakpastian dan kompleksitas data yang tidak dapat diukur secara tegas, memfasilitasi analisis dan pengambilan keputusan dalam lingkungan yang tidak selalu dapat dijelaskan dengan nilai pasti. Pada tahap *Fuzzifikasi*, nilai numerik diubah menjadi himpunan *fuzzy* dengan menetapkan derajat keanggotaan berdasarkan variabel *fuzzy* dan nilai linguistik yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian menentukan fungsi keanggotaan untuk setiap variabel berdasarkan data yang dikumpulkan.

TABEL II : Data yang diujipada penelitian ini.

Suhu (°C)	Jumlah Orang
26.0	20

Tabel II menunjukkan nilai *input* suhu dan jumlah orang yang akan diujikan menggunakan aplikasi MATLAB dan perhitungan manual. Data ini akan digunakan untuk menguji keakuratan dan kinerja sistem kontrol *fuzzy* yang telah dirancang. Dengan menggunakan dua metode uji ini, diharapkan hasil yang diperoleh dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang efektivitas algoritma *fuzzy* dalam mengatur suhu ruangan berdasarkan jumlah orang yang berada di dalamnya.

3.2.3.1 Variabel Suhu



Gambar 3: Kurva Variabel Suhu

Gambar 3 menunjukkan nilai kurva pada variabel suhu yang dibuat pada aplikasi Matlab. Nilai derajat keanggotaan pada variabel suhu dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

Himpunan dingin (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 23.4 \\ 1 & ; 23.4 \leq x \leq 24.5 \\ \frac{26-x}{26-24.5} & ; 24.5 < x \leq 26 \\ 0 & ; x > 26 \end{cases} \quad (3)$$

Himpunan normal (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 24.5 \\ \frac{x-24.5}{26-24.5} & ; 24.5 \leq x < 26 \\ \frac{26.7-x}{26.7-26} & ; 26 \leq x < 26.7 \\ 0 & ; x > 26.7 \end{cases} \quad (4)$$

Himpunan panas (x)

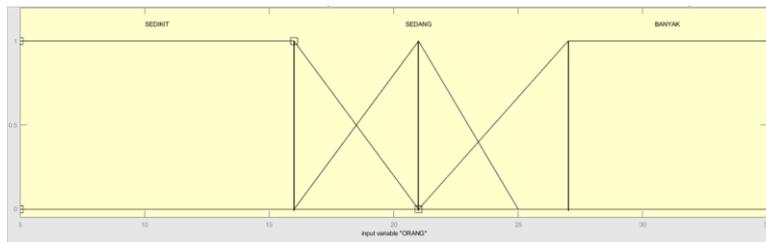


$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 26 \\ \frac{x-26}{26.7-26} & ; 26 \leq x < 26.7 \\ 1 & ; 26.7 \leq x \leq 27.5 \\ 0 & ; x > 27.5 \end{cases} \quad (5)$$

Berdasarkan data pada tabel II. dilakukan simulasi perhitungan derajat keanggotaan, maka didapat derajat keanggotaan dari variable suhu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Dingin } \mu(26) &= \frac{26-24.5}{26-24.5} = 1 \\ \text{Normal } \mu(26) &= \frac{26-24.5}{26-24.5} = 1 \\ \text{Panas } \mu(26) &= \frac{26-26}{26.7-26} = 1 \end{aligned}$$

3.2.3.2 Variabel Jumlah Orang



Gambar 4: Kurva Variabel Jumlah Orang

Gambar 4 menunjukkan nilai kurva pada variabel jumlah orang yang dibuat pada aplikasi Matlab Nilai derajat keanggotaan pada variabel jumlah orang dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

Himpunan sedikit (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 5 \\ 1 & ; 5 \leq x \leq 16 \\ \frac{21-x}{21-16} & ; 16 < x \leq 21 \\ 0 & ; x > 21 \end{cases} \quad (6)$$

Himpunan sedang (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 16 \\ \frac{x-16}{21-16} & ; 16 \leq x < 21 \\ \frac{25-x}{25-21} & ; 21 \leq x < 25 \\ 0 & ; x > 25 \end{cases} \quad (7)$$

Himpunan banyak (x)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 21 \\ \frac{x-21}{27-21} & ; 21 \leq x < 27 \\ 1 & ; 27 \leq x \leq 35 \\ 0 & ; x > 35 \end{cases} \quad (8)$$

Berdasarkan data pada tabel II. dilakukan simulasi perhitungan derajat keanggotaan, maka didapat derajat keanggotaan dari variabel suhu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Sedikit } \mu(20) &= \frac{21-20}{21-16} = 0.2 \\ \text{Sedang } \mu(20) &= \frac{20-16}{21-16} = 0.8 \\ \text{Banyak } \mu(20) &= 0 \end{aligned}$$



Tabel III : Hasil Fuzzifikasi Data Suhu dan Jumlah Orang di Laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan.

Variabel	Suhu	Jumlah Orang
Himpunan	Dingin $\mu(26) = 1$	Sedikit $\mu(20) = 0.2$
	Normal $\mu(26) = 1$	Sedang $\mu(20) = 0.8$
	Panas $\mu(26) = 1$	Banyak $\mu(20) = 0$

Tabel III menunjukkan hasil dari perhitungan fuzzifikasi data suhu dan jumlah orang yang menggunakan data dari pengambilan di laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan. Hasil ini mencakup nilai-nilai yang diperoleh setelah menerapkan metode *fuzzy* pada data suhu dan jumlah orang yang telah dikumpulkan. Proses fuzzifikasi ini merupakan langkah penting dalam sistem kontrol *fuzzy*, di mana data input yang bersifat pasti diubah menjadi nilai-nilai *fuzzy* yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan yang lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan kondisi di dalam ruangan. Hasil perhitungan ini menunjukkan bagaimana sistem dapat menginterpretasikan data nyata untuk mengoptimalkan pengaturan suhu AC secara otomatis.

3.2.4 Rules Fuzzy

Tabel IV : Aturan *fuzzy*.

Rule	INPUT		OUTPUT
	Suhu	Orang	
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

Tabel IV menunjukkan aturan fuzzy dengan sebanyak 9 aturan. Dengan input suhu yang dikategorikan sebagai dingin, normal, dan panas, serta input jumlah orang yang diklasifikasikan sebagai sedikit, sedang, dan banyak, sistem kontrol *fuzzy* menghasilkan *Output* untuk pengaturan suhu AC. *Output* ini mencakup tiga tindakan utama: menaikkan suhu, mempertahankan suhu pada tingkat sedang, dan menurunkan suhu. Pengkategorian ini memungkinkan sistem untuk melakukan penyesuaian suhu yang lebih tepat berdasarkan kombinasi dari kondisi suhu ruangan dan jumlah orang yang terdeteksi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penghuni secara keseluruhan.

3.2.5 Fuzzy inference system (FIS)

Tabel V : daftar rules IF – THEN

Jenis	Rules
R1	If suhu [26] is Dingin [1] AND Orang [20] is Sedikit [0.2] THEN suhu naik
R2	If suhu [26] is Dingin [1] AND Orang [20] is Sedang [0.8] THEN suhu naik
R3	If suhu [26] is Dingin [1] AND Orang [20] is Banyak [0] THEN suhu naik
R4	If suhu [26] is Normal [1] AND Orang [20] is Sedikit [0.2] THEN suhu sedang
R5	If suhu [26] is Normal [1] AND Orang [20] is Sedang [0.8] THEN suhu sedang
R6	If suhu [26] is Normal [1] AND Orang [20] is Banyak [0] THEN suhu sedang
R7	If suhu [26] is Panas [1] AND Orang [20] is Sedikit [0.2] THEN suhu turun
R8	If suhu [26] is Panas [1] AND Orang [20] is Sedang [0.8] THEN suhu turun
R9	If suhu [26] is Panas [1] AND Orang [20] is Banyak [0] THEN suhu turun



Tabel V menunjukkan daftar aturan fuzzy yang digunakan dalam sistem kontrol AC. Terdapat 9 aturan IF-THEN yang memanfaatkan dua input utama, yaitu suhu (dingin, normal, panas) dan jumlah orang (sedikit, sedang, banyak), untuk menentukan *Output* pengaturan suhu AC. Sistem ini menghasilkan tiga jenis tindakan pengaturan: menaikkan suhu, mempertahankan suhu pada tingkat sedang, dan menurunkan suhu.

3.2.6 DeFuzzyfikasi

Hasil inferensi kemudian diubah menjadi nilai *crisp* menggunakan proses defuzifikasi. Defuzifikasi adalah proses yang mengubah hasil inferensi *fuzzy* menjadi nilai yang jelas dan dapat diterapkan pada sistem nyata. Berikut ini merupakan perhitungan menggunakan operator AND (MIN) pada metode *fuzzy Sugeno*. Setelah perhitungan ini dilakukan, hasilnya kemudian dilanjutkan dan disajikan dalam Tabel VI.

Tabel VI : Perhitungan AND-MIN

Rule	Suhu	Orang	Suhu AC
R1	1 (Dingin)	0,2 (Sedikit)	30 (Suhu Naik)
R2	1 (Dingin)	0,8 (Sedang)	30 (Suhu Naik)
R3	1 (Normal)	0,2 (Sedikit)	23 (Suhu Sedang)
R4	1 (Normal)	0,8 (Sedang)	23 (Suhu Sedang)
R5	1 (Panas)	0,2 (Sedikit)	16 (Suhu Turun)
R6	1 (Panas)	0,8 (Sedang)	16 (Suhu Turun)

Tabel VI menunjukkan hasil perhitungan menggunakan operator *AND (MIN)* pada metode *fuzzy Sugeno*. Dalam metode ini, operator *AND (MIN)* digunakan untuk mengkombinasikan derajat keanggotaan dari beberapa variabel *input*. Proses terakhir dalam analisis ini adalah menentukan nilai keanggotaan dari *Output* yang terlibat menggunakan perhitungan manual. Langkah ini melibatkan penerapan metode matematis secara rinci untuk memastikan bahwa setiap nilai keanggotaan dihitung dengan akurat. Berikut adalah tahapan perhitungan manual yang digunakan:

$$Output = \frac{\sum(derajat\ keanggotaan \times nilai\ output)}{\sum(derajat\ keanggotaan)} \tag{9}$$

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

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

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

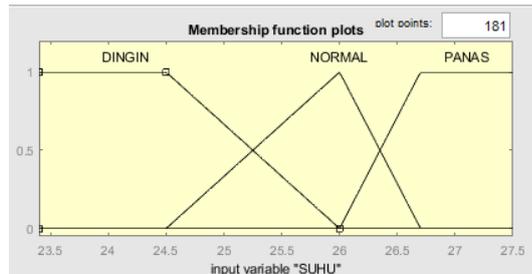
jadi dari hasil perhitungan menggunakan metode *fuzzy Sugeno* dengan operator *AND (MIN)*, didapatkan nilai *output* suhu AC sebesar 23°C, yang dikategorikan sebagai suhu sedang. Ini menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* berhasil menentukan suhu yang sesuai berdasarkan *input* yang diberikan.

3.3 Pengujian Fuzzy Menggunakan Matlab

3.3.1 Variabel Suhu

Bentuk kurva dari variabel suhu dapat dilihat pada gambar 5:



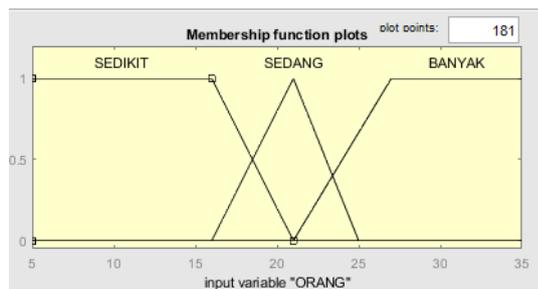


Gambar 5: Kurva Variabel Suhu pada Matlab

Pada gambar 5. menunjukkan tiga himpunan keanggotaan, yaitu dingin, normal, dan panas. Range yang digunakan pada variabel suhu tersebut adalah 23,4 hingga 26,0.

3.3.2 Variabel Jumlah Orang

Bentuk kurva dari variable jumlah orang dapat dilihat pada gambar 6:



Gambar 6: Kurva Variabel Jumlah Orang pada Matlab

Pada gambar 6. menunjukkan tiga himpunan keanggotaan, yaitu sedikit, sedang, dan banyak. Range yang digunakan pada variabel jumlah orang tersebut adalah 5 hingga 35.

3.3.3 Rules Base Fuzzy



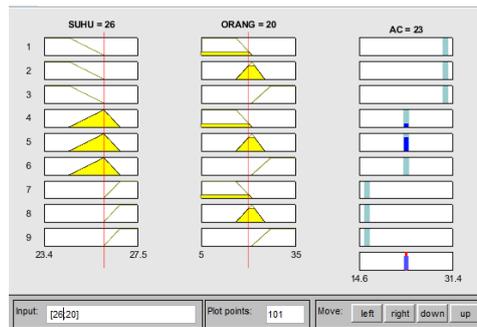
Gambar 7: Rules Fuzzy Pada Matlab

Gambar 7 menunjukkan rules base pada fuzzy. Rule base merupakan inti dari sistem logika fuzzy yang memungkinkan sistem untuk melakukan inferensi dan menghasilkan respon yang sesuai dengan situasi input yang kompleks. Fungsi aturan fuzzy yang diimplementasikan dalam aplikasi MATLAB dapat ditemukan pada gambar 7 ini. yang menyajikan aturan-aturan yang digunakan untuk menghubungkan kondisi input dengan tindakan atau keputusan Output dalam konteks sistem yang menggunakan logika fuzzy.

3.3.4 Defuzzifikasi

Pada gambar dibawah ini akan ditampilkan hasil defuzzifikasi dari data yang diujikan pada matlab dengan nilai input suhu 26°C, dan Jumlah Orang 20.





Gambar 8: Hasil Uji Data Pada Matlab

Pada gambar 8, kita dapat melihat hasil defuzzifikasi dari data suhu dan jumlah orang yang diuji. Dengan nilai *input* masing-masing variabel sebesar 26°C dan 20 orang, didapatkan hasil *Output* besaran suhu AC sebesar 23°C. Pengujian menggunakan MATLAB menunjukkan hasil yang konsisten, yaitu 23°C, yang juga sesuai dengan perhitungan manual. Hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan cukup akurat dan dapat diandalkan.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian, dapat ditarik kesimpulan bahwa logika *fuzzy* dengan metode Sugeno merupakan landasan yang efektif untuk membuat dan menerapkan sistem yang dapat mengontrol AC pada ruangan laboratorium Robotika dan Kecerdasan Buatan dengan variabel *input* berupa suhu dan jumlah orang. Dari hasil percobaan dengan suhu 26 dan jumlah orang didapatkan hasil suhu AC 23°C (suhu sedang). Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan logika *fuzzy* mampu memberikan keputusan yang lebih akurat dan responsif dalam menyesuaikan kinerja AC, sehingga tercapai penghematan energi yang signifikan. Dengan demikian, penerapan logika *fuzzy* pada sistem pendingin udara berbasis IoT menjadi solusi dalam upaya mengurangi konsumsi energi listrik sekaligus meningkatkan kenyamanan dan produktivitas di ruangan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lubis Awwaluddin Imran dkk, "Sistem Kendali Lampu Ruangan Menggunakan Metode *Fuzzy* Logic Dan Android Berbasis Mikrokontroler," *J. Sist. Komput. Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.53513/jursik.v1i1.4800.
- [2] M. R. R. Isworo, M. F. Aldama, P. D. Agnesya, and A. Puspita, "PENERAPAN *FUZZY* LOGIC MENGGUNAKAN METODE SUGENO DAN TSUKAMOTO UNTUK MENGONTROL SUHU AC," vol. 3, pp. 117–121, 2023.
- [3] R. P. Prasetya, "Implementasi *Fuzzy* Mamdani Pada Lampu Lalu Lintas Secara Adaptif Untuk Meminimalkan Waktu Tunggu Pengguna Jalan," *J. Mnemon.*, vol. 3, no. 1, pp. 24–29, 2020, doi: 10.36040/mnemonic.v3i1.2526.
- [4] J. Prayudha, U. Fatimah, S. Sitorus, and S. Raharjo, "Implementasi Metode *Fuzzy* Untuk Sistem Identifikasi Kadar Elektrolit Untuk Mengukur Tingkat Kesuburan Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino," *J-Sisko Tech*, vol. 2, no. 1, pp. 92–106, 2019.
- [5] R. N. Abyan, *Sistem kontrol beban kelistrikan pada smart home untuk efisiensi energi listrik*. 2023.
- [6] H. D. Septama, T. Yulianti, W. E. Sulistyono, A. Yudamson, R. Suhud, and T. Atmojo, "Smart Warehouse : Sistem Pemantauan dan Kontrol Otomatis Suhu serta Kelembaban Gudang," *Semin. Nas. Inovasi, Teknol. dan Apl.*, vol. 1, no. 2, pp. 189–192, 2018.
- [7] M. Rizal, "Implementasi *Fuzzy* Inference System Sugeno Berbasis Arduino Untuk Pengendali Suhu Ruangan," 2022.
- [8] B. I. Gunawan and U. Y. Oktiawati, "Sistem Pemantau dan Pengendali Suhu Ruang Server Menggunakan *Fuzzy*," *J. Resti*, vol. 4, no. 10, pp. 1–9, 2020.
- [9] C. Yohanes Oraplean, J. Dedy Irawan, and D. Rudhistiar, "Implementasi Logika *Fuzzy* Pada Sistem Monitoring Suhu Ternak Ayam Petelur Berbasis Web," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 5, no. 2, pp. 700–707, 2021, doi: 10.36040/jati.v5i2.3789.
- [10] A. Al Hafiz, "Implementasi Metode *Fuzzy* Logic Pada Intensitas Lampu di Laboratorium Berbasis Arduino," *J. SAINTIKOM (Jurnal Sains Manaj. Inform. dan Komputer)*, vol. 19, no. 2, p. 36, 2020, doi: 10.53513/jis.v19i2.2422.
- [11] A. Abdilah, "Rancang Bangun Pengontrolan AC (Air Conditioner) Untuk Penghematan Energi Dengan Kendali *Fuzzy* Logic Sugeno Berbasis IoT (Internet of Things) Menggunakan LoRa," vol. 9, no. 5, pp. 2358–2364, 2022.
- [12] D. Dedi, P. Prayogo, S. D. Hapid, and ..., "Sistem Pendukung Keputusan Penilaian Pegawai Dengan Menggunakan Logika *Fuzzy*," *J.*



Sisfotek ..., vol. 5, no. 1, 2015, [Online]. Available:

<http://journal.global.ac.id/index.php/sisfotek/article/view/9%0Ahttp://journal.global.ac.id/index.php/sisfotek/article/download/9/15>

