

Sistem Kendali Kenyamanan Lingkungan Rumah Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Dengan Teknologi IoT

Nabilla Dwi Putri^{1*}, Faisal Damsi², Renny Maulidda³

1,2,3 Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

*e-mail: nabilla1806@gmail.com

ABSTRAK

Kenyamanan lingkungan tempat tinggal menjadi kebutuhan penting karena sangat berpengaruh terhadap kualitas hidup. Hal ini mendorong pengembangan sistem kendali otomatis berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali suhu secara otomatis guna meningkatkan kenyamanan pengguna di dalam rumah. Sistem ini memanfaatkan sensor BMP280 untuk memantau suhu dan menerapkan metode Fuzzy Logic Mamdani dalam menentukan keputusan kendali terhadap kipas dan peltier thermoelectric. Pencahayaan dikendalikan secara sederhana melalui sistem on/off, sedangkan kualitas udara hanya dimonitor menggunakan sensor MQ135 tanpa pengolahan fuzzy. Data dari seluruh sensor dikirimkan ke aplikasi berbasis MIT App Inventor melalui protokol MQTT. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan suhu untuk mengamati respons sistem kendali otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengaktifkan aktuator secara tepat sesuai kondisi suhu dan aturan fuzzy yang dirancang. Dengan pendekatan ini, sistem memberikan solusi efisien dan adaptif dalam menciptakan kenyamanan otomatis di lingkungan tempat tinggal berbasis IoT.

Kata Kunci: Fuzzy Logic Mamdani, IoT, Otomasi Rumah, BMP280, MQTT, Sistem Kendali Kenyamanan

Environmental Comfort Control System for Homes Using the Mamdani Fuzzy Logic Method with IoT Technology

ABSTRACT

Environmental comfort within residential spaces plays a crucial role in enhancing the quality of life, prompting the development of automated control systems based on Internet of Things (IoT) technology. This study aims to design and implement an automated temperature control system to improve user comfort in homes. The system uses a BMP280 sensor to monitor temperature levels, applying the Mamdani Fuzzy Logic method to make control decisions for fan and Peltier thermoelectric devices. Lighting is controlled through a simple on/off system, while air quality is monitored with an MQ135 sensor without fuzzy logic processing. All sensor data is transmitted to an application built on MIT App Inventor via the MQTT protocol. Testing involves varying temperature levels to observe the system's response. The results show that the system effectively activates actuators based on the temperature and fuzzy rules designed. This approach provides an efficient and adaptive solution for achieving automatic environmental comfort in IoT-based residential environments.

Keywords: Mamdani Fuzzy Logic, IoT, Home Automation, BMP280, MQTT, Comfort Control System

PENDAHULUAN

Kenyamanan lingkungan tempat tinggal berperan penting dalam kualitas hidup. Faktor-faktor seperti suhu dan kualitas udara memengaruhi kenyamanan penghuni. Teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pengendalian otomatis terhadap kondisi lingkungan rumah, yang dapat meningkatkan kenyamanan penghuni secara real-time. Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem kendali berbasis IoT untuk suhu atau kelembapan di rumah [1]. Penggunaan Fuzzy Logic Mamdani untuk pengaturan suhu terbukti efektif dalam memberikan keputusan adaptif [2]. Namun, kebanyakan penelitian hanya mengatur suhu atau kelembapan,

tanpa mempertimbangkan aspek lain seperti pencahayaan dan kualitas udara. Selain itu, pencahayaan sering dikendalikan dengan sistem on/off, dan kualitas udara hanya dimonitor tanpa pengendalian otomatis [3]. *Smart home* adalah konsep rumah yang memanfaatkan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk menghubungkan dan mengontrol perangkat-perangkat rumah tangga, seperti lampu, kipas angin, dan sistem keamanan. *Smart home* mampu mempelajari kebiasaan pengguna dan menyesuaikan fungsinya secara otomatis untuk meningkatkan kenyamanan dan efisiensi dalam kehidupan sehari-hari [4]. Ide dasar di balik perangkat *Internet of Things* (IoT) adalah memberikan identitas yang berbeda kepada benda-benda nyata agar dapat diidentifikasi dan direpresentasikan sebagai data dalam sistem komputer. *Internet of Things* beroperasi melalui penggunaan perintah pemrograman, yang masing-masing memulai interaksi otomatis tanpa campur tangan manusia antara mesin-mesin yang terhubung. [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kendali kenyamanan rumah berbasis IoT yang mengintegrasikan pengaturan suhu dengan kategori dingin, sejuk, nyaman, hangat dan panas menggunakan Fuzzy Logic Mamdani agar mencapai kondisi suhu nyaman sesuai SNI 03-6572-2001. Selain itu, sistem juga mengatur pencahayaan on/off, dan memantau kualitas udara secara otomatis. Pendekatan ini diharapkan dapat mengatasi keterbatasan penelitian sebelumnya dengan memberikan solusi yang lebih komprehensif untuk kenyamanan penghuni.

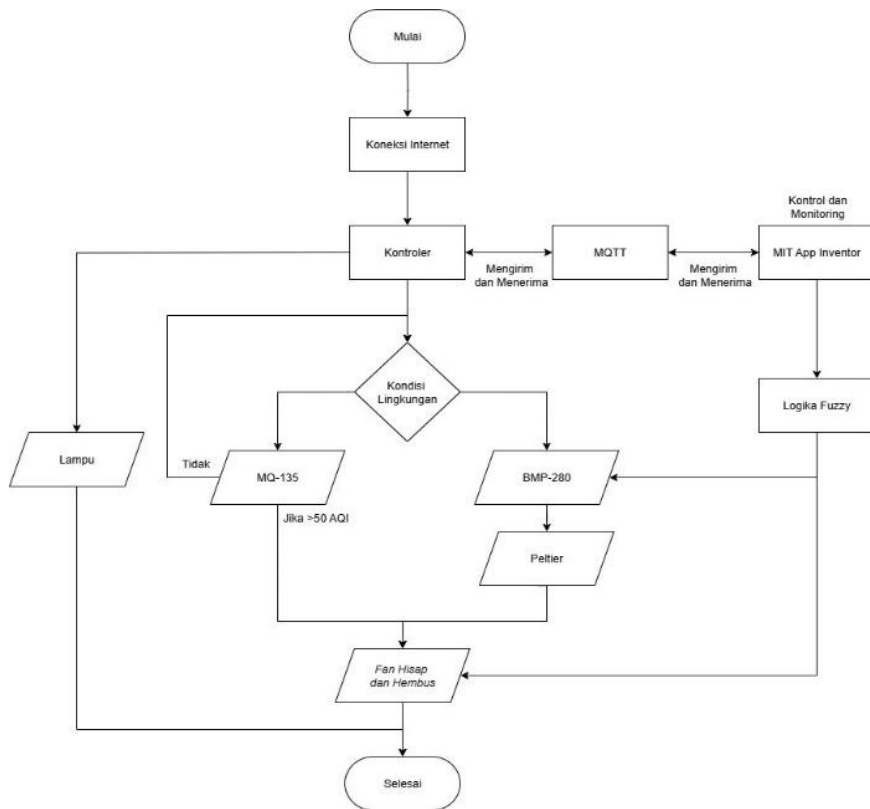
METODE PENELITIAN

Prosedur Penelitian

Penelitian dimulai dengan menghidupkan perangkat dan menghubungkannya ke IoT melalui koneksi internet. Jika koneksi tersedia, data dari sensor BMP280 (suhu) dan MQ135 (kualitas udara) dikirim melalui MQTT ke aplikasi MIT App Inventor untuk pemantauan. Pengaturan suhu dilakukan menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani, yang mengolah nilai suhu aktual ke dalam kategori dingin, sejuk, nyaman, hangat, dan panas untuk menghasilkan keputusan pengendalian aktuator pendingin dan kecepatan *fan* agar kondisi suhu mencapai kategori nyaman.

Selain suhu, kualitas udara juga dipantau secara otomatis tanpa menggunakan fuzzy. Jika nilai AQI terdeteksi melebihi kategori baik (>50 AQI), sistem akan mengaktifkan *fan* hembus untuk meningkatkan sirkulasi udara dan menurunkan tingkat polusi di dalam ruangan. Sementara itu, kontrol lampu dilakukan secara manual oleh pengguna melalui aplikasi MIT App Inventor, sehingga lampu dapat dinyalakan atau dimatikan kapan saja sesuai kebutuhan. Setelah proses penyesuaian selesai, sistem kembali ke mode monitoring dan terus bekerja secara berulang hingga terdeteksi perubahan kondisi lingkungan yang memerlukan tindakan pengendalian berikutnya.

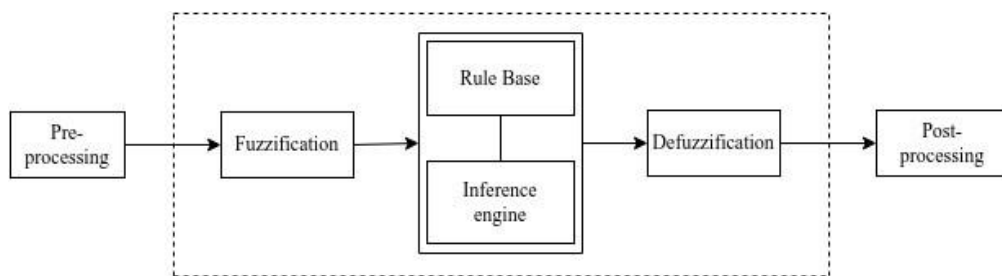




Gambar 1. Diagram Alur Prosedur Penelitian

Metode Fuzzy Logic Mamdani

Salah satu elemen Sistem Inferensi Fuzzy (FIS) yang menghasilkan intuisi dalam keadaan yang tidak pasti adalah teknik Mamdani [6] [7]. Fuzzifikasi, pembuatan aturan fundamental (rule base), inferensi, dan defuzzifikasi merupakan empat fase utama FIS Mamdani [8]. Gambar 2 menggambarkan langkah-langkah tersebut.

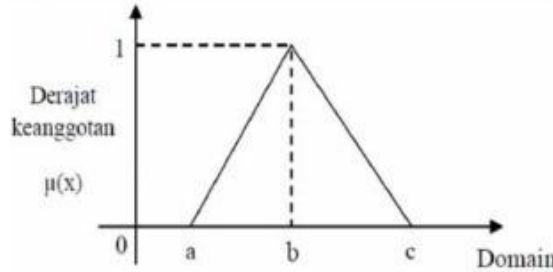


Gambar 2. Tahapan Fuzzy Inference System

Fungsi Keanggotaan

Pada tahap fuzzifikasi, nilai input crisp seperti suhu diubah menjadi derajat keanggotaan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan. Dalam penelitian ini digunakan dua jenis fungsi, yaitu segitiga dan trapesium.

Fungsi Keanggotaan Segitiga



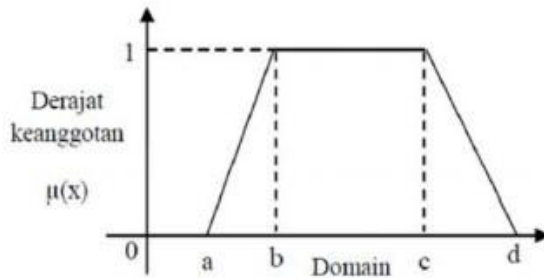
Gambar 3. Kurva Fungsi Keanggotaan Segitiga

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \end{cases} \quad (1)$$

Keterangan :

a,b,c adalah titik batas pada fungsi keanggotaan.
 $\mu_A(x)$ adalah derajat keanggotaan fuzzy untuk nilai x.

Fungsi Keanggotaan Trapesium



Gambar 4. Kurva Fungsi Keanggotaan Trapesium

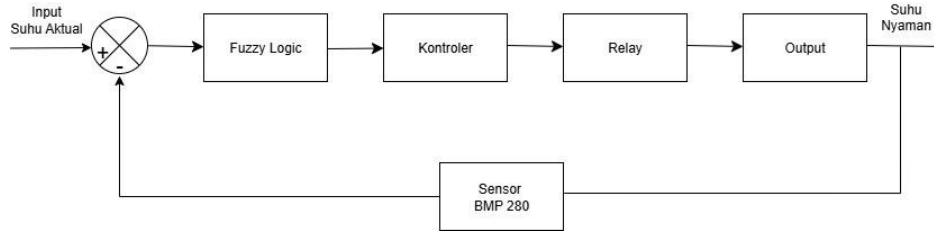
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x < d \end{cases} \quad (2)$$

Keterangan :

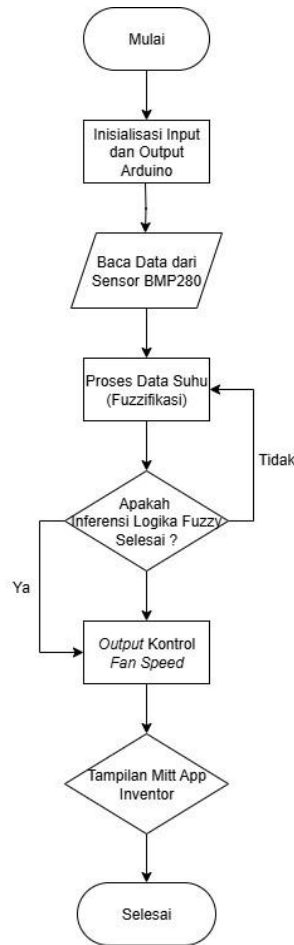
a,b,c, dan d adalah titik batas pada fungsi keanggotaan.

Diagram Blok dan Flowchart Sistem

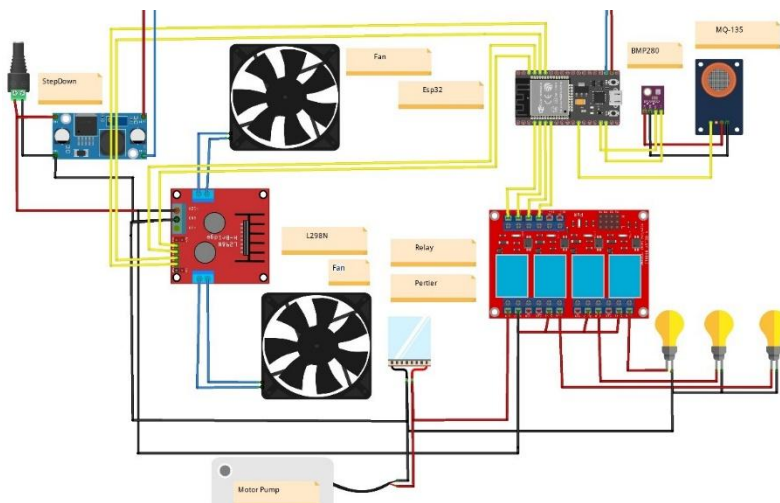
Diagram ini menggambarkan alur pemrosesan data suhu dari sensor hingga menghasilkan keputusan pengendalian otomatis. Sistem ini menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk menangani data suhu dalam bentuk linguistik.



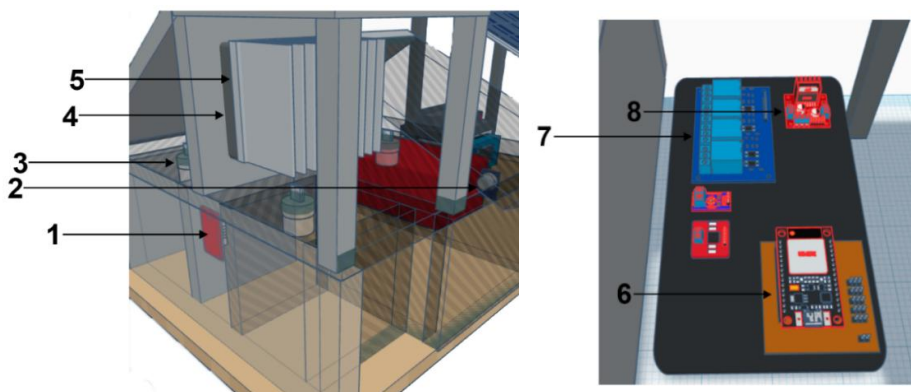
Gambar 5. Diagram Blok Sistem Suhu



Gambar 6. Flowchart Fuzzy



Gambar 7. Skema Rangkaian



Gambar 8. Tata Letak Sistem

Keterangan :

- | | |
|-----------|---------------------------|
| 1. DHT-22 | 5. Peltier Thermoelectric |
| 2. MQ-135 | 6. Mikrokontroler |
| 3. Lampu | 7. Relay |
| 4. Fan | 8. L298N |

Tabel 1. Spesifikasi Alat

Alat/Komponen	Fungsi	Keterangan
ESP32 Devkit V1	Mikrokontroler Utama	Mengolah data & IoT MQTT
BMP280	Sensor Suhu	Input Fuzzy
MQ135	Sensor Kualitas Udara	Input AQI

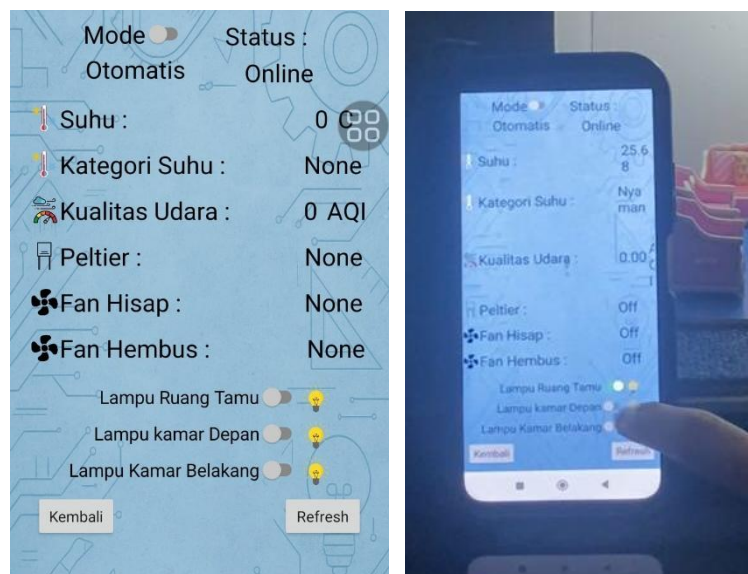


Alat/Komponen	Fungsi	Keterangan
Relay 4 Channel	Saklar Elektronik	Mengontrol Lampu dan Peltier
L298N Driver	Driver Fan	Kontrol Kecepatan Fan
Fan DC	Sirkulasi Udara	Aktuator Suhu
Peltier Thermoelectric	Pendingin	Output Suhu
Motor Pump	Sirkulasi Air	Pendinginan
Lampu Ruang Adaptor 12 V dan 5 V	Aktuator Cahaya Power Supply	Kontrol Via Relay Sumber Daya Sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Overview Sistem

Tujuan dari proyek ini adalah menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) dengan pendekatan Fuzzy Logic Mamdani untuk merancang sistem kontrol kenyamanan secara intuitif untuk lingkungan rumah. Sistem diuji untuk mendeteksi dan mengatur suhu, mengontrol lampu, serta memantau kualitas udara berdasarkan konsentrasi gas di lingkungan dan mengonversinya menjadi nilai Air Quality Index (AQI). Gambar 9 menampilkan hasil integrasi ini.



Gambar 9. Prototipe Sistem

Overview Kualitas Udara

Reaksi sensor MQ135 terhadap kualitas udara sekitar digunakan untuk pengujian. Air sehat dan air tidak sehat adalah dua kondisi utama yang diamati.

Tabel 2. Respons Sistem Kualitas Udara

Nilai AQI	Kategori Kualitas Udara	Tindakan Sistem
0-50	Baik	<i>Fan</i> Hembus OFF
>50	Tidak Sehat	<i>Fan</i> Hembus ON

Berdasarkan hasil pengujian, sistem akan memberikan respons yang berbeda tergantung nilai indeks kualitas udara (AQI) yang terdeteksi oleh sensor.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor MQ135

No	Jarak (cm)	Lama Normal (detik)	Volt (V)	ADC	AQI
1	5	2	1.97	1680	200
2	10	5	1.90	1540	150
3	15	6	1.80	1390	120
4	20	9	1.70	1240	100
5	25	14	1.60	1090	80

Pengujian sensor MQ135 dilakukan dalam ruangan kecil (35 cm × 22 cm) dengan sumber polusi dari korek gas yang dinyalakan pada jarak 5–25 cm dari sensor. Ketika korek gas dinyalakan, gas hasil pembakaran akan menyebar secara alami ke seluruh ruangan dan perlahan mendekati sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara sumber polusi dan sensor, semakin lama waktu yang dibutuhkan sensor untuk mendeteksi konsentrasi maksimum, serta semakin kecil nilai AQI yang tercatat.

Overview Penerapan Logika Fuzzy

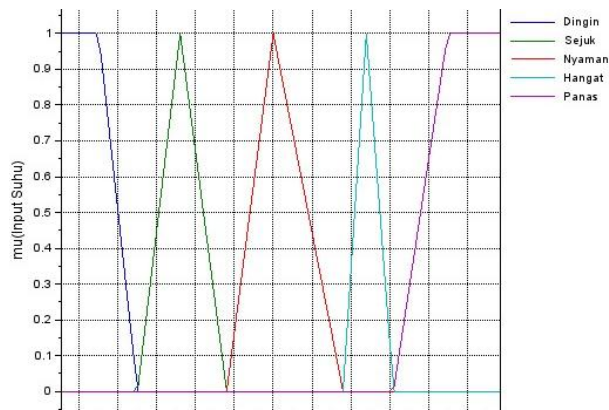
Tabel 4. Nilai Membership Function

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan (Unit)	Domain	Interval	Bentuk Grafik
<i>Input</i>	Suhu	Dingin	[18 30]	[18 20.5]	[18; 19.5; 20.5]	Trapesium
		Sejuk		[20.5 22.8]	[20.5; 21.6; 22.8]	Segitiga
		Nyaman		[22.8 25.8]	[22.8; 24.0; 25.8]	Segitiga
		Hangat		[25.8 27.1]	[25.8; 26.4; 27.1]	Segitiga
		Panas		[27.1 30]	[27.1; 28.5; 30]	Trapesium
<i>Output</i>	<i>Fan</i> Hisap	OFF	[0 100]	[0 50]	[0; 0; 40; 50]	Trapesium
		Slow		[50 75]	[50; 62; 75]	Segitiga
		Fast		[75 100]	[75; 85; 100; 100]	Trapesium



Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan (Unit)	Domain	Interval	Bentuk Grafik
	Fan Hembus	OFF	[0 100]	[0 50]	[0; 0; 40; 50]	Trapesium
		Slow		[50 75]	[50; 62; 75]	Segitiga
		Fast		[75 100]	[75; 85; 100;100]	Trapesium
	Peltier	ON	-	-	-	Non Fuzzy
		OFF	-	-	-	Non Fuzzy

Fungsi keanggotaan dikembangkan setelah pembentukan asosiasi fuzzy. Pemetaan titik-titik data masukan dalam himpunan fuzzy ke dalam nilai-nilainya, atau derajat koleksi, dengan interval antara 0 dan 1, dikenal sebagai fungsi koleksi. Pendekatan terhadap fungsi yang digunakan dalam studi ini representasi trapesium dan segitiga adalah cara fungsi koleksi ditentukan. Berikut grafik setiap anggota himpunan yang memiliki derajat keanggotaan dari aplikasi SCILAB:



Gambar 10. Grafik *Input* pada Scilab

Rumus Fungsi Keanggotaan Suhu

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 1, & x = b \end{cases}$$

$$\mu_{Dingin}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 18 \text{ atau } x \geq 20,5 \\ \frac{x-18}{19,5-18}, & 18 < x \leq 19,5 \\ \frac{20,5-x}{20,5-19,5}, & 19,5 < x < 20,5 \\ 1, & x = 19,5 \end{cases}$$

$$\mu_{Sejuk}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 20,5 \text{ atau } x \geq 22,8 \\ \frac{x-20,5}{21,6-20,5}, & 20,5 < x \leq 21,6 \\ \frac{22,8-x}{22,8-21,6}, & 21,6 < x < 22,8 \\ 1, & x = 21,6 \end{cases}$$

$$\mu_{Nyaman}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 22,8 \text{ atau } x \geq 25,8 \\ \frac{x-22,8}{24,0-22,8}, & 22,8 < x \leq 24,0 \\ \frac{25,8-x}{25,8-24,0}, & 24,0 < x < 25,8 \\ 1, & x = 24,0 \end{cases}$$

$$\mu_{Hangat}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 25,8 \text{ atau } x \geq 27,1 \\ \frac{x-25,8}{26,4-25,8}, & 25,8 < x \leq 26,4 \\ \frac{27,1-x}{27,1-26,4}, & 26,4 < x < 27,1 \\ 1, & x = 26,4 \end{cases}$$

$$\mu_{Panas}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 27,1 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-27,1}{28,5-27,1}, & 27,1 < x \leq 28,5 \\ \frac{30-x}{30-28,5}, & 28,5 < x < 30 \\ 1, & x = 28,5 \end{cases}$$

Tabel 5. Aturan Mamdani

No	Input		Output		
	Suhu Aktual	Fan Hisap	Fan Hembus	Peltier	
1	Dingin	OFF	Fast	OFF	
2	Sejuk	OFF	Slow	OFF	
3	Nyaman	OFF	OFF	OFF	
4	Hangat	Slow	OFF	ON	
5	Panas	Fast	OFF	ON	

Penyelesaian Fuzzy Logic

1. Diketahui Suhu = 19°C
 Rule 1 = $\mu_{Dingin} = \frac{x-a}{b-a} = \frac{19-18}{19,5-18} = \frac{1}{1,5} = 0,667$

2. Diketahui Suhu = 21°C
 Rule 2 = $\mu_{Sejuk} = \frac{x-a}{b-a} = \frac{21-20,5}{21,6-20,5} = \frac{0,5}{1,1} = 0,455$

3. Diketahui Suhu = 24,5°C
 Rule 3 = $\mu_{Nyaman} = \frac{c-x}{c-b} = \frac{25,8-24,5}{25,8-24,0} = \frac{1,3}{1,8} = 0,722$



4. Diketahui Suhu = 26,5°C
Rule 4 = $\mu_{Hangat} = \frac{c-x}{c-b} = \frac{27,1-26,5}{27,1-26,4} = \frac{0,6}{0,7} = 0,857$

5. Diketahui Suhu = 29,2°C
Rule 5 = $\mu_{Panas} = \frac{c-x}{c-b} = \frac{30-29,2}{30-28,5} = \frac{0,8}{1,5} = 0,533$

Inferensi

$\alpha_{predikat1} = \mu_{Dingin}$
= min ($\mu_{Dingin}(19)$)
= min (0,667)
= 0,667

$\alpha_{predikat2} = \mu_{Sejuk}$
= min ($\mu_{Sejuk}(21)$)
= min (0,455)
= 0,455

$\alpha_{predikat3} = \mu_{Nyaman}$
= min ($\mu_{Nyaman}(24,5)$)
= min (0,722)
= 0,722

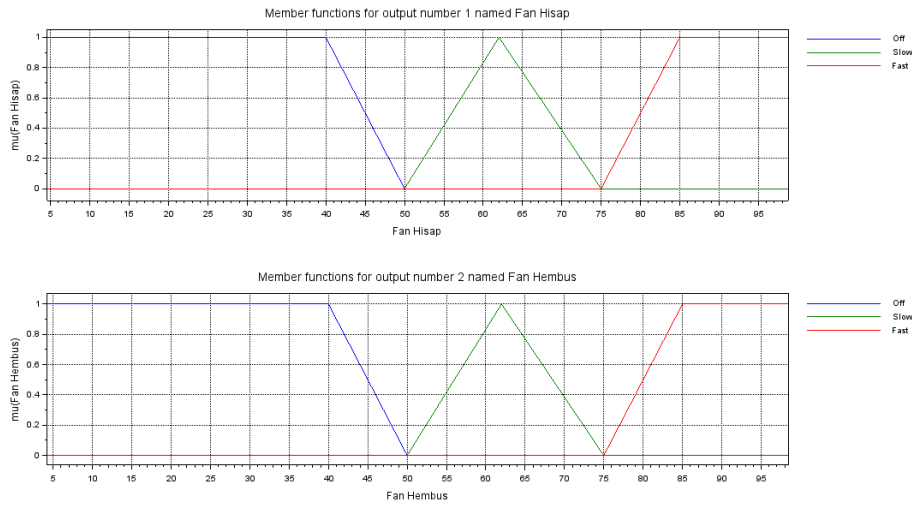
$\alpha_{predikat4} = \mu_{Hangat}$
= min ($\mu_{Hangat}(26,5)$)
= min (0,857)
= 0,857

$\alpha_{predikat5} = \mu_{Panas}$
= min ($\mu_{Panas}(29,2)$)
= min (0,533)
= 0,53

Komposisi Aturan Max

Dalam sistem ini, digunakan pendekatan komposisi aturan dengan metode max, di mana hanya nilai keanggotaan tertinggi dari aturan fuzzy yang digunakan dalam proses inferensi dan defuzzifikasi. Karena hasilnya berupa fungsi keanggotaan segitiga, maka cukup dilakukan proses clipping dan defuzzifikasi pada satu segitiga saja. Pendekatan ini menyederhanakan perhitungan

dan hasilnya telah terbukti sejalan dengan *output* sistem pada simulasi aplikasi.



Gambar 11. Grafik Output Scilab

Rule 4 (*slow*) : $\alpha = 0.857 \rightarrow$ segitiga [50, 62, 75]

$$\begin{aligned}
 t_1 &= (\alpha)(b - a) + a & t_2 &= c - (\alpha)(c - b) \\
 &= (0,857)(62 - 50) + 50 & &= 75 - (0,857)(75 - 62) \\
 &= 60,284 & &= 63,859
 \end{aligned}$$

$$\mu(z) = \begin{cases} \frac{z-60,284}{62-60,284} & 60,284 \leq z < 62 \\ 0,857 & z = 62 \\ \frac{63,859-z}{63,859-62} & 62 < z \leq 63,859 \\ 0 & z < 60,284 \text{ atau } z > 63,859 \end{cases}$$

Defuzzifikasi

$$M = \int_{t_1}^b z \cdot \mu(z) dz$$

Momen (M)

$$M1 = \int_{60,284}^{62} z \cdot \frac{z-60,284}{62-60,284} \cdot 0,857 dz = 45,1684$$

$$M3 = \int_{62}^{63,859} z \cdot \frac{63,859-z}{63,859-62} \cdot 0,857 dz = 49,8817$$

$$A = \int_{60,284}^{63,859} \mu(z) dz$$

Luas (A)

$$A = \frac{1}{2} \cdot \text{alas} \cdot \text{tinggi}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \cdot (63,859 - 60,284) \cdot 0,857 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 3,575 \cdot 0,857 \\
 &= 1,5319
 \end{aligned}$$

Centroid

$$\begin{aligned}
 z &= \frac{\int \mu(z) \cdot z dz}{A_{total}} \\
 &= \frac{M1 + M3}{A} \\
 &= \frac{45,1684 + 49,8817}{1,5319} \\
 &= \frac{95,0501}{1,5319} \\
 &= 62,05
 \end{aligned}$$

Hasil uji sensor suhu BMP280 pada aplikasi menunjukkan bahwa sistem mampu membaca suhu sekitar secara akurat dan instan. Sistem manajemen suhu otomatis berbasis Mamdani Fuzzy Logic diuji menggunakan data suhu nyata, seperti 19°C, 21°C, 24,5°C, 26,5°C, dan 29,2°C, sebagai input. Tujuan pengujian ini adalah untuk melihat apakah sistem dapat menyalakan *output* sesuai dengan pembacaan suhu. Nilai keluaran yang tajam (nilai akhir) dari inferensi fuzzy menggunakan aturan dominan dan pendekatan defuzzifikasi sentroid sangat mirip dengan hasil simulasi aplikasi, berdasarkan hasil yang diperoleh.

Tabel 6. Hasil Uji Suhu

No	Suhu (°C)	Himpunan Fuzzy	Rule	Derajat Keanggotaan(α)	Nilai Defuzzifikasi (z)
1	19	Dingin	Rule 1	0,667	86,4
2	21	Sejuk	Rule 2	0,455	62,17
3	24,5	Nyaman	Rule 3	0,833	<50
3	26,5	Hangat	Rule 4	0,857	62,05
4	29,2	Panas	Rule 5	0,533	92,5

Sebagai contoh, pada suhu 26,5°C yang berada dalam rentang “hangat”, nilai keanggotaan (α) sebesar 0,857 digunakan sebagai clipping pada segitiga fungsi keanggotaan *Slow*. Melalui perhitungan defuzzifikasi secara manual, diperoleh nilai *crisp* sebesar 62,05, yang sangat dekat dengan hasil simulasi aplikasi yaitu 62,3. Rata-rata selisih antara hasil manual dan simulasi kurang dari 0,3 yang menunjukkan bahwa metode fuzzy yang digunakan sudah tepat dan valid, dapat memberikan kontrol suhu yang adaptif dan akurat berdasarkan kategori linguistik suhu.

KESIMPULAN

Sistem kendali kenyamanan lingkungan rumah menggunakan IoT dengan metode Fuzzy Logic Mamdani pada penelitian ini mampu membaca perubahan suhu secara adaptif dan mengendalikan *output* untuk menjaga kondisi tetap berada pada rentang suhu yang nyaman.

Penggunaan lima kategori linguistik (dingin, sejuk, nyaman, hangat, panas) membuat respons pengendalian lebih detail dan akurat, serta hasil pengujian menunjukkan keluaran yang konsisten dengan simulasi. Pada aspek kualitas udara, sistem berhasil mendeteksi nilai AQI menggunakan sensor MQ135 dan mengaktifkan *fan* hembus secara otomatis ketika nilai melebihi ambang batas. Kontrol lampu melalui aplikasi juga berjalan efektif. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan performa yang stabil dan adaptif untuk menjaga kenyamanan lingkungan tempat tinggal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Rahmawati, A. Zuchriadi, and D. W. Wahyudyan, "Development of a Prototype System for Monitoring and Controlling Cat Care Based on the Internet of Things," *J. INFORMATICS Telecommun. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 129–151, 2025.
- [2] R. U. P. Pasaribu, A. Ridwan, and A. Probowo, "Pengembangan Sistem Kontrol Suhu Ruangan Cerdas Berbasis Arduino dengan Integrasi Sensor Kelembaban, CO₂, dan Occupancy," in *Hasil Seminar Nasional UNPRI*, 2024, vol. 2, no. 1.
- [3] A. H. Sulasmoro and M. Huda, *SIM800L dan IoT: Kunci Mengungkap Potensi Data Konsumsi Listrik Rumah Tangga*. Penerbit NEM, 2025.
- [4] E. Erwin *et al.*, *Pengantar & Penerapan Internet Of Things: Konsep Dasar & Penerapan IoT di berbagai Sektor*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [5] Y. Efendi, "Internet of Things (IOT) sistem pengendalian lampu menggunakan Raspberry PI berbasis mobile," *J. Ilm. Ilmu Komput. Fak. Ilmu Komput. Univ. Al Asyariah Mandar*, vol. 4, no. 1, pp. 19–26, 2018.
- [6] A. Yunan and S. Kurniadi, "Implementation of Fuzzy Inference Mamdani System Based on Graphic User Interface for the timing of planting rice on rice plants in traditional farming systems in South Aceh district," *J. Inotera*, vol. 6, no. 2, pp. 119–127, 2021.
- [7] B. Adiwinto and D. Novianto, "Implementation Fuzzy Mamdani Algorithm To Predict Web Based Inventory," *Int. J. Artif. Intell. Res.*, vol. 7, no. 1.1, 2024.
- [8] W. D. W. I. Nurhidayat, "Perancangan Sistem Pemantauan Perubahan Suhu Bearing Coal Crusher Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani." Nusa Putra University, 2024.

