

PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM AIR CONDITIONER PINTAR UNTUK KENYAMANAN SUHU RUANG KELAS MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY MAMDANI BERBASIS IOT

Adam Sandy Azhari^{1*}, Aditya Rizky Darmawan², Muhamad Ardho Rantis³, Yusma Cantika Parhati³

^{1,2,3,4}Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Singaperbangsa Karawang; Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361; (0267) 641177

Keywords:

Logika Fuzzy Mamdani;
IoT;
Wokwis;
AC Pintar;
Kenyanaman Ruang Kelas.

Correspondent Email:

adamsandyazhari@gmail.com

Abstrak. Suhu dan kelembaban di ruang kelas sangat berpengaruh terhadap kenyamanan dan fokus belajar mahasiswa. Penelitian ini membahas perancangan serta simulasi sistem AC pintar yang dapat mengatur suhu ruangan secara otomatis menggunakan logika fuzzy Mamdani. Sistem ini disimulasikan menggunakan platform Wokwi dengan komponen utama berupa sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembaban, serta LED sebagai indikator kerja pendingin. Logika fuzzy digunakan agar sistem bisa menyesuaikan tingkat pendinginan berdasarkan kondisi lingkungan secara lebih fleksibel, seperti cara manusia menilai kenyamanan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem dapat merespons perubahan suhu dan kelembaban dengan baik sesuai aturan yang dibuat. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dikembangkan sistem AC pintar yang efisien dan mendukung terciptanya suasana belajar yang nyaman di ruang kelas.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. Temperature and humidity in classrooms greatly affect students' comfort and focus during learning. This study discusses the design and simulation of a smart air conditioning system that can automatically adjust room temperature using Mamdani fuzzy logic. The system is simulated using the Wokwi platform with a DHT22 sensor to measure temperature and humidity, and an LED to represent cooling activity. Fuzzy logic helps the system adjust the cooling level based on environmental conditions in a more flexible and human-like way. The simulation results show that the system can respond well to changes in temperature and humidity according to the defined rules. This research is expected to support the development of an efficient smart AC system that helps maintain a comfortable learning environment in classrooms.

1. PENDAHULUAN

Kenyamanan suhu dan kelembaban di ruang kelas sangat berpengaruh terhadap kenyamanan belajar mahasiswa. Penelitian menunjukkan bahwa kondisi termal yang kurang ideal bisa menurunkan konsentrasi dan produktivitas belajar [14]. Selain itu, bangunan sekolah di iklim tropis umumnya belum dirancang agar mampu menjaga kondisi termal yang nyaman

secara konsisten, sehingga siswa sering merasakan panas meskipun sudah ada AC atau ventilasi dasar [16].

Di banyak institusi pendidikan, pengaturan AC masih dilakukan secara manual dengan remote atau saklar sederhana. Cara ini tidak responsif terhadap perubahan kondisi *real-time* seperti fluktuasi suhu dan kelembaban. Akibatnya, pengoperasian AC bisa menjadi

boros energi dan tidak optimal dari segi kenyamanan [1]. Teknologi *Internet of Things (IoT)* memberi solusi dengan memungkinkan penggunaan sensor seperti DHT22 untuk memantau suhu dan kelembaban secara terus-menerus, lalu mengendalikan AC secara otomatis untuk menjaga kondisi ideal [8][9].

Logika fuzzy, terutama model mamdani, sangat bermanfaat dalam membuat keputusan pengaturan termal yang fleksibel dan nyaman secara manusiawi. Dengan aturan linguistik seperti “jika suhu tinggi dan kelembaban tinggi, maka intensitas pendinginan besar”, sistem dapat meniru cara berpikir manusia dalam menentukan respons pendinginan [2][3][6]. Kombinasi antara logika fuzzy dan IoT telah banyak diteliti seperti di ruang kerja, rumah pintar, serta ruang lain, dan terbukti bahwa kombinasi tersebut dapat meningkatkan efisiensi kontrol suhu dan kelembaban [4][5][7].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada implementasi menggunakan alat fisik. Penggunaan simulasi melalui platform seperti Wokwi relatif masih jarang, padahal simulasi memberikan keuntungan signifikan sebagai tahap awal sebelum melakukan implementasi secara nyata, misalnya dalam menguji skenario berbeda, memperbaiki logika kontrol, dan menghemat biaya prototyping [11][12][13].

Agar sistem fuzzy dapat bekerja secara optimal, kita memerlukan acuan nilai yang ideal untuk suhu dan kelembaban. Berdasarkan standar SNI dan studi lapangan di Indonesia, rentang suhu nyaman yang optimal berada pada kisaran 22,8°C hingga 25,8°C dan kelembaban relatif antara 50% hingga 70%, tergantung desain bangunan dan ventilasi [15][18][19][20]. Referensi tersebut akan digunakan sebagai dasar *membership function* fuzzifikasi dalam simulasi sistem AC pintar.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan merancang dan mensimulasikan sistem AC pintar berbasis logika fuzzy Mamdani pada platform Wokwi. Sistem tersebut akan menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban untuk kemudian akan menentukan intensitas pendinginan dan mengontrol AC menggunakan IR LED (disimulasikan dengan LED) sesuai aturan fuzzy. Simulasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran awal tentang efektivitas

logika fuzzy dalam menjaga termal ruang kelas secara adaptif dan juga efisien.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat fisik seperti sensor dan aktuator saling terhubung satu sama lain melalui jaringan untuk mengirimkan data dan melakukan kontrol otomatis. Dalam konteks pengendalian suhu ruangan, *Internet of Things* berperan penting karena dapat mengumpulkan data lingkungan secara terus-menerus dan mengaktifkan perangkat pendingin sesuai kondisi yang terdeteksi [1][8][9]. Penggunaan platform virtual seperti Wokwi juga mendukung proses pengembangan karena memungkinkan pengujian rangkaian tanpa perangkat fisik [11][12][13].

Pada penelitian sebelumnya, *Internet of Things* telah banyak diterapkan dalam sistem pemantauan AC, pengendalian *greenhouse*, hingga sistem kontrol di ruang bayi [5][7]. Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa *Internet of Things* mampu meningkatkan efisiensi pemantauan dan memberikan respon yang lebih cepat terhadap perubahan suhu dan kelembaban.

2.2. *Logika Fuzzy*

Logika fuzzy merupakan metode kecerdasan buatan yang mampu memproses data yang bersifat tidak pasti atau samar, misalnya kategori linguistik seperti “tinggi”, “normal”, atau “rendah”. Metode fuzzy mamdani banyak digunakan karena strukturnya sederhana dan mudah dipahami, terutama pada sistem kendali suhu dan kelembaban [2][3][6].

Penerapan fuzzy di berbagai penelitian telah membuktikan bahwa metode ini dapat menghasilkan pengendalian suhu yang lebih fleksibel dibandingkan kontrol on/off tradisional. Misalnya, penelitian pada ruang sirkulasi udara, *greenhouse*, serta pengaturan kenyamanan bayi [4][5][7]. Selain itu, algoritma fuzzy juga digunakan dalam optimisasi performa HVAC, seperti yang dibahas dalam penelitian K. Parvin dkk, yang menekankan bagaimana fuzzy dapat meningkatkan efisiensi sistem pendingin [10].

2.3. *Sistem Kontrol AC*

Berbagai studi telah dilakukan untuk menggabungkan *Internet of Things* dan logika fuzzy dalam sistem pengendalian AC. Gamaliel dan Arliyanto, merancang sistem monitoring AC berbasis *Internet of Things* [1], sementara beberapa peneliti lain menerapkan logika fuzzy untuk menyesuaikan pendinginan sesuai kondisi lingkungan [2][3][6]. Penelitian Maulana juga mengembangkan sistem kontrol AC berbasis web [8], sedangkan Syudaha dkk, fokus pada *building management system* berbasis *Internet of Things*.

Sebagian penelitian memanfaatkan perangkat sensor DHT22, ESP32, dan modul kendali lainnya. Melalui berbagai pendekatan tersebut, diperlihatkan bahwa kombinasi antara *Internet of Things* dan logika fuzzy mampu memberikan pengendalian AC yang lebih adaptif dan efisien.

2.4. Simulasi IoT

Simulasi perangkat menjadi bagian penting sebelum melakukan implementasi nyata untuk mengurangi risiko kesalahan rancangan dan menghemat biaya. Platform Wokwi menyediakan lingkungan simulasi yang lengkap untuk perangkat *Internet of Things* seperti ESP32 dan sensor DHT22 sehingga cocok untuk penelitian awal [11][12]. Simulasi suhu dan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* juga telah dilakukan pada beberapa penelitian untuk mempermudah pengujian konsep [13].

Penelitian simulatif ini menjadi cukup relevan karena tidak semua penelitian harus langsung menggunakan perangkat fisik, simulasi dapat memberikan gambaran detail mengenai cara kerja sistem sebelum akhirnya diaplikasikan dalam bentuk nyata.

2.5. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal merupakan aspek yang penting dalam ruang belajar. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa suhu dan kelembaban memainkan peran kunci dalam kenyamanan ruang kelas [14][20]. Studi-studi tentang kenyamanan termal pada bangunan tropis juga menegaskan bahwa kondisi iklim di Indonesia yang panas dan lembab memerlukan pengaturan termal yang lebih adaptif [16][18].

SNI 03-6572-2001 dan penelitian terkait menunjukkan bahwa zona nyaman termal biasanya berada pada rentang suhu sekitar 22°C-26°C dengan kelembaban relatif yang cenderung ada pada kisaran 50-70%, meskipun

nilai ini dapat berubah tergantung ventilasi dan desain bangunan [15][19]. Penelitian internasional mengenai performa termal bangunan sekolah juga membahas bagaimana kelembaban 40-60% dapat memberikan kualitas udara yang lebih baik dalam konteks ruang kelas [17].

Nilai-nilai acuan dari penelitian tersebut digunakan dalam perancangan *membership function* fuzzy untuk menentukan kategori suhu dan kelembaban pada penelitian ini.

2.6. Posisi Penelitian

Berdasarkan literatur yang ada, dapat dilihat bahwa:

- a. Banyak penelitian yang telah menerapkan *Internet of Things* dan logika fuzzy untuk kontrol suhu
- b. Sebagian besar penelitian melakukan implementasi nyata dengan perangkat fisik
- c. Simulasi berbasis Wokwi masih jarang dilakukan
- d. Belum banyak penelitian yang berfokus pada konteks ruang kelas dan kenyamanan termal di lingkungan tropis

Dengan demikian, penelitian ini menempati posisi sebagai penelitian simulatif dengan logika fuzzy Mamdani untuk kontrol AC pada ruang kelas dengan memanfaatkan sensor DHT22 dan ESP32 dalam lingkungan simulasi Wokwi

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan merancang dan mensimulasikan sistem pengendalian AC berbasis logika fuzzy Mamdani menggunakan platform Wokwi. Seluruh rangkaian diuji secara virtual menggunakan ESP32, sensor DHT22, LED sebagai aktuator simulatif, serta protokol MQTT sebagai media monitoring.

3.1. Desain Sistem

Sistem terdiri dari tiga komponen utama:

1. **Sensor** (DHT22) sebagai pembaca suhu dan kelembaban,
2. **Pengendali** (ESP32) yang menjalankan algoritma fuzzy Mamdani,
3. **Output** berupa LED yang menggambarkan intensitas pendinginan.

Selain itu, data sensor serta nilai keluaran fuzzy dikirimkan ke broker MQTT melalui mekanisme *publish* untuk keperluan pemantauan. Arsitektur ini sejalan dengan konsep IoT yang memungkinkan proses akuisisi dan pengendalian data secara real time [1], [8].

3.2. Alat dan Bahan

Penelitian ini hanya menggunakan perangkat simulatif, yaitu:

- Wokwi IoT Simulator** untuk simulasi perangkat keras
- ESP32** sebagai mikrokontroler
- Sensor DHT22** untuk pengukuran suhu dan kelembaban
- LED** sebagai representasi tingkat pendinginan
- MQTT Broker** (contoh: broker.emqx.io)
- MQTTX** sebagai client untuk monitoring
- Arduino IDE** sebagai lingkungan pemrograman

Platform Wokwi dipilih karena memungkinkan pengujian skenario secara fleksibel tanpa perangkat fisik [11], [12], [13].

3.3. Perancangan Logika Fuzzy Mamdani

Sistem fuzzy Mamdani menggunakan dua variabel input (suhu dan kelembaban) dan satu output berupa intensitas pendinginan. Tahapan fuzzy meliputi fuzzifikasi, aturan fuzzy, inferensi, dan defuzzifikasi.

3.3.1. Fuzzifikasi Input

Variabel input dibagi ke dalam himpunan linguistik seperti “rendah”, “sedang”, dan “tinggi”. Untuk memodelkan himpunan tersebut digunakan fungsi keanggotaan berbentuk **segitiga (triangular)**.

$$\begin{aligned}\mu(x) &= 0, x \leq a \\ \mu(x) &= (x - a) / (b - a), a < x < b \\ \mu(x) &= (c - x) / (c - b), b < x < c \\ \mu(x) &= 0, x \geq c\end{aligned}$$

Pemilihan rentang nilai didasarkan pada referensi kenyamanan termal bangunan tropis menurut SNI dan penelitian sebelumnya [15], [18], [19], [20].

3.3.2. Aturan Fuzzy (Rule Base)

Aturan fuzzy disusun dalam bentuk IF-THEN, misalnya:

- IF suhu **tinggi** AND kelembaban **tinggi** THEN pendinginan **kuat**
- IF suhu **sedang** AND kelembaban **rendah** THEN pendinginan **sedang**

Aturan ini mengacu pada pola kendali yang digunakan dalam penelitian fuzzy-IoT sebelumnya [2], [3], [4], [6], [7], [10].

3.3.3. Inferensi Mamdani

Proses inferensi menggabungkan semua aturan fuzzy menggunakan operator dasar. Pada metode Mamdani, operator AND direpresentasikan oleh fungsi **minimum**, sedangkan OR oleh **maksimum**:

Operator AND

$$\mu A \cap B(x) = \min(\mu A(x), \mu B(x))$$

Operator OR

$$\mu A \cup B(x) = \max(\mu A(x), \mu B(x))$$

Metode Mamdani dipilih karena memberikan struktur aturan yang lebih intuitif dan cocok untuk aplikasi kontrol sederhana [3], [6].

3.3.4. Defuzzifikasi

Untuk menghasilkan nilai keluaran crisp, digunakan metode **centroid**, yang menghitung titik pusat dari area fungsi keanggotaan keluaran:

$$z^* = \frac{\int \mu(z)z dz}{\int \mu(z) dz}$$

Nilai z^* kemudian diterjemahkan menjadi intensitas LED sebagai simulasi daya pendinginan AC.

3.4. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

- Pengumpulan referensi** terkait IoT, fuzzy Mamdani, dan kenyamanan termal [1]–[20].
- Perancangan arsitektur sistem** yang menghubungkan sensor–pengendali–aktuator.

- c. **Penentuan membership function** untuk suhu dan kelembaban berdasarkan standar kenyamanan termal.
- d. **Penyusunan aturan fuzzy** yang mencerminkan respon pendinginan terhadap input lingkungan.
- e. **Implementasi simulasi** pada Wokwi menggunakan ESP32, DHT22, LED, dan koneksi MQTT.
- f. **Pemrograman logika fuzzy** pada ESP32 menggunakan Arduino IDE.
- g. **Pengujian sistem** dengan mengubah nilai suhu dan kelembaban pada Wokwi.
- h. **Monitoring melalui MQTT**, yaitu mempublikasikan data sensor dan nilai output ke topik tertentu.
- i. **Analisis hasil** dengan melihat konsistensi respon fuzzy terhadap berbagai kondisi input.

3.5. Teknik Analisis

Data simulasi dianalisis dengan cara:

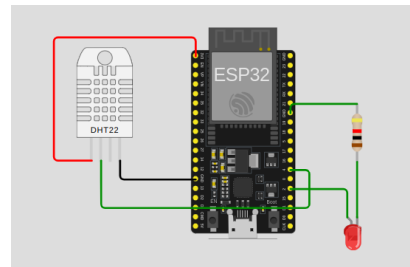
- a. mengevaluasi apakah keluaran fuzzy sesuai aturan logika,
- b. membandingkan hasil pada beberapa skenario suhu-kelembaban,
- c. melihat kestabilan sistem saat input berubah cepat,
- d. serta mencocokkannya dengan teori dan penelitian fuzzy-HVAC sebelumnya [2], [3], [10].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengujian sistem kendali AC berbasis logika fuzzy Mamdani yang disimulasikan menggunakan platform Wokwi. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa nilai suhu dan kelembaban, kemudian diamati respon sistem serta hasil monitoring melalui MQTT.

4.1. Hasil Simulasi Rangkaian Sistem

Pada simulasi ini digunakan ESP32, sensor DHT22, LED, dan koneksi MQTT. Rangkaian dibangun sepenuhnya di platform Wokwi untuk mempermudah proses pengujian tanpa perangkat fisik.

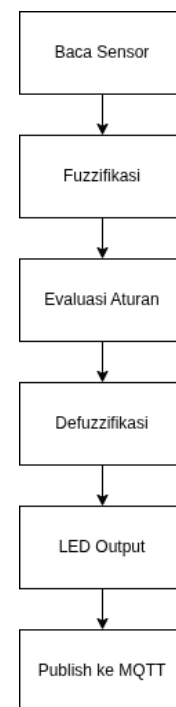


Gambar 4.1 Rangkaian Sistem

Gambar tersebut menunjukkan hubungan antar komponen, mulai dari pembacaan sensor, pemrosesan fuzzy pada ESP32, hingga output LED sebagai indikator aksi AC.

4.2. Diagram Alur Sistem

Proses sistem fuzzy terdiri dari pembacaan sensor, fuzzifikasi, inferensi, defuzzifikasi, dan pengiriman data melalui MQTT.



Gambar 4.2 Diagram Alur Sistem

Diagram ini memperlihatkan alur kerja dari input hingga pengambilan keputusan.

4.3. Membership Function Sistem

Membership function untuk suhu, kelembaban, dan output ditetapkan berdasarkan standar kenyamanan ruang kelas.

Himpunan	Bentuk	Parameter(a,b,c)
Dingin	Segitiga	18, 20, 23
Nyaman	Segitiga	22, 24, 26
Panas	Segitiga	25, 28, 30

Tabel 4.1 Membership Function Suhu (°C)

Himpunan	Bentuk	Parameter(a, b, c)
Rendah	Segitiga	30, 35, 50
Normal	Segitiga	45, 55, 65
Tinggi	Segitiga	60, 75, 85

Tabel 4.2 Membership Function Kelembaban (% RH)

Himpunan	Makna	Nilai Crisp
Naikkan	Suhu dianggap terlalu dingin, maka tingkatkan setpoint	+3
Tetap	Kondisi stabil	0
Turunkan	Suhu/kelembaban terlalu tinggi, maka turunkan setpoint	-3

Tabel 4.3 Membership Function Output Kontrol AC

Tabel-tabel ini sesuai dengan parameter fungsi segitiga yang telah diimplementasikan dalam kode.

4.4. Hasil Fuzzifikasi

Ketika sensor membaca nilai suhu dan kelembaban tertentu, sistem melakukan perhitungan terhadap derajat keanggotaan masing-masing himpunan fuzzy. Hasilnya ditampilkan pada Serial Monitor.



Gambar 4.3 Contoh Potongan Output

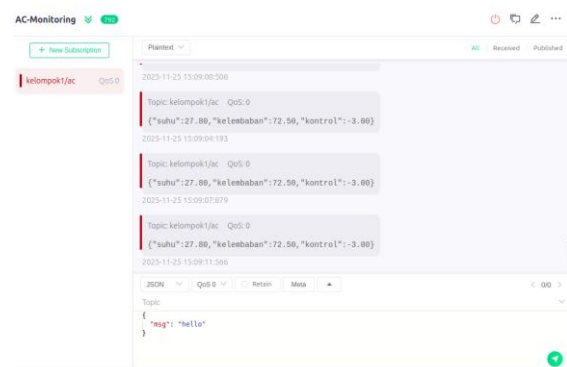
Interpretasi:

- Suhu condong ke *Panas*
- Kelembaban condong ke *Tinggi*
→ sistem menurunkan setpoint AC

Aksi ini direpresentasikan oleh LED menyala panjang sebagai simulasi IR-blaster menurunkan suhu.

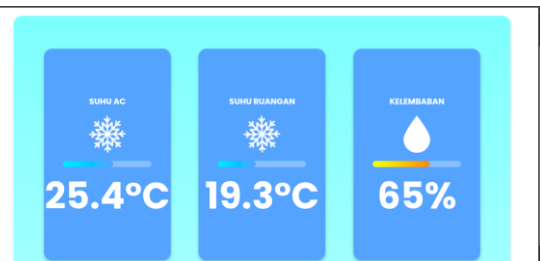
4.5. Hasil Monitoring Melalui MQTT

Data sensor dan output fuzzy dikirim menggunakan format JSON dan dapat dipantau melalui MQTTX atau dashboard monitoring yang telah dibuat.



Gambar 4.4 Tampilan MQTTX

Selain itu, topic MQTT terbaca oleh dashboard web.



Gambar 4.5 Tampilan Dashboard Web

Contoh payload yang diterima MQTT:

Topic: kelompok1/ac QoS: 0

```
{"suhu":27.80,"kelembaban":72.50,"kontrol":-3.00}
```

Gambar 4.6 Contoh Payload yang Diterima

Payload ini menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi sebagai sistem IoT secara penuh

4.6. Hasil Monitoring Melalui MQTT

Setelah sistem stabil, dilakukan pengujian beberapa kombinasi nilai suhu dan kelembaban. Tabel hasil simulasi ditampilkan pada Tabel 6.

Skenario	Suhu(°C)	kelembaban(%)	Output Crisp	Aksi
1	18.2	30.0	0	Tetap
2	19.3	46.5	1.17	Naikkan
3	22.5	80.5	-1.80	Turunkan
4	23.5	34.5	3.00	Naikkan
5	24.6	53.0	0	Tetap
6	25.6	78.5	-3.00	Turunkan
7	26.7	30.0	0	Tetap
8	28.8	55.5	-3.00	Turunkan
9	29.9	61.0	-3.00	Turunkan

Tabel 4.4 Hasil Pembacaan Sensor dan Output Fuzzy

4.7. Evaluasi Sistem

Dari pengujian yang dilakukan:

- Sistem fuzzy memberikan respons yang stabil untuk berbagai nilai input.
- Keputusan sejalan dengan teori HVAC dan standar kenyamanan ruang kelas.
- Simulasi LED dapat menggambarkan tindakan nyata AC (naikkan, tetap, turunkan).
- Data dapat dipantau real-time melalui MQTT, menunjukkan integrasi penuh IoT.
- Output fuzzy halus (smooth) dan tidak ON/OFF, karena menggunakan centroid.

5. KESIMPULAN

- Metode fuzzy Mamdani memberikan pengambilan keputusan yang halus dan

tidak bersifat ON/OFF, sehingga menghasilkan respons pengendalian AC yang lebih mendekati perilaku sistem HVAC yang sebenarnya.

- Nilai suhu dalam rentang 23–26°C dan kelembaban 40–60% cenderung menghasilkan aksi “Tetap”, yang sesuai dengan standar kenyamanan termal ruang kelas. Hal ini menunjukkan bahwa parameter fuzzy yang digunakan sudah konsisten dengan referensi kenyamanan ruangan.
- Sistem dapat melakukan aksi yang tepat sesuai kondisi, seperti menaikkan setpoint AC ketika ruangan terlalu dingin dan menurunkannya ketika ruangan panas dan lembab. LED pada simulasi berhasil merepresentasikan aksi pengendalian tersebut dengan pola kedipan yang berbeda.
- Integrasi IoT melalui MQTT berhasil berjalan dengan baik, di mana data suhu, kelembaban, dan nilai kontrol dapat dikirim dan dipantau secara real-time. Hal ini membuktikan bahwa sistem memiliki kemampuan monitoring jarak jauh dan dapat dikembangkan menjadi sistem kontrol AC berbasis IoT yang sesungguhnya.
- Implementasi di Wokwi menunjukkan bahwa simulasi dapat menggantikan perangkat fisik untuk tahap awal penelitian, sehingga menghemat biaya, waktu, dan memudahkan pengujian berbagai skenario.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen mata kuliah Internet of Things yang telah memberikan tugas dalam pengalaman membuat project real. Penulis juga berterima kasih kepada seluruh rekan mahasiswa yang telah membantu dalam proses diskusi dan pengujian sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Kurniawan, “Internet of Things: Konsep dan Implementasi,” *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 2, pp. 88–95, 2020.
- S. J. P. Todd and B. T. Jefferson, “Fuzzy logic-based HVAC control for smart buildings,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 115300–115314, 2020.

- [3] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [4] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis," *IEEE Trans. Computers*, vol. C–26, no. 12, pp. 1182–1191, 1977.
- [5] H. Kusuma and D. Sutanto, "Analisis sistem kontrol suhu menggunakan logika fuzzy Mamdani," *Jurnal Sistem Cerdas*, vol. 4, no. 1, pp. 12–20, 2021.
- [6] R. Ibrahim and M. Aziz, "Fuzzy Mamdani-based control for temperature regulation," *International Journal of Advanced Computer Science*, vol. 10, no. 4, pp. 102–108, 2020.
- [7] A. G. Khotimah, "Implementasi fuzzy logic untuk pengendalian AC otomatis," *J. Teknologi Informasi Indonesia*, vol. 7, no. 1, pp. 55–62, 2019.
- [8] J. Gubbi et al., "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [9] H. Hameed and A. Qamar, "MQTT-based IoT monitoring system," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 345–356, 2022.
- [10] A. P. Samudra and R. Prasetyo, "Pengendalian suhu ruang berbasis fuzzy dan IoT," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 44–51, 2021.
- [11] Wokwi, "Wokwi Simulator Documentation." [Online]. Available: <https://docs.wokwi.com>
- [12] J. Widodo and R. Ariyanto, "Simulasi perangkat IoT menggunakan Wokwi," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi*, pp. 233–240, 2022.
- [13] M. Putra and A. Rahmat, "Pengujian ESP32 pada lingkungan simulasi," *Jurnal Elektronika dan Komputer*, vol. 5, no. 3, pp. 90–98, 2022.
- [14] S. Mulyono, "Analisis kenyamanan termal ruang kelas menggunakan pendekatan PMV–PPD," *Jurnal Informatika dan Teknologi Elektronika Terapan (JITET)*, vol. 7, no. 2, pp. 77–84, 2021.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03-6572-2001: Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara," 2001.
- [16] M. R. Salleh et al., "Thermal comfort parameters in educational buildings," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 211–215, 2017.
- [17] S. Y. Park, "HVAC fuzzy control systems and optimization," *Building and Environment*, vol. 144, pp. 522–530, 2018.
- [18] A. C. Boer and Y. Susanto, "Analisis suhu dan kelembaban optimal ruang belajar," *Jurnal Arsitektur Tropis*, vol. 9, no. 1, pp. 12–19, 2020.
- [19] L. Windsor, "Thermal comfort limits for classrooms in warm-humid climates," *Proceedings of Windsor Conference 2018*, pp. 1–12, 2018.
- [20] M. S. Lee and F. T. Chow, "Humidity influence on thermal perception of occupants," *Energy and Buildings*, vol. 156, pp. 181–191, 2017.