

OPTIMASI ENERGI DENGAN IOT DAN FUZZY LOGIC PADA AC SMART DI GEDUNG DHARMA WACANA

Tri Aristi Saputri¹, Budi Sutomo², Afifah Hairunnisa³

¹Universitas Dharma Wacana

²Universitas Dharma Wacana (Marlessy et al., 2019)

³Universitas Dharma Wacana

¹aristy@dharmawacana.ac.id

²budi.atmel@gmail.com

³afifahkhairunnisa2810@gmail.com

Abstract

Efficient energy management in air conditioning (AC) systems is a critical challenge in the modern era, particularly in educational buildings such as Dharma Wacana Hall. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based Smart Air Conditioning system utilizing fuzzy logic to optimize energy management. The system employs DHT22 sensors and ESP32 microcontrollers to monitor indoor and outdoor temperatures in real-time. The collected data were analyzed using the Mamdani fuzzy logic method, resulting in automated AC adjustments. Over a 29-day testing period, the system demonstrated its capability to adapt cooling intensity based on environmental conditions, achieving an average energy savings of 4% on moderate-temperature days. However, on days with higher cooling demands, energy consumption exceeded that of conventional systems. In conclusion, the system successfully improved energy efficiency and thermal comfort in educational buildings, although further development is needed to enhance sensor accuracy and system resilience to internet dependency. This research contributes to the application of IoT technologies for energy efficiency, particularly in the educational sector.

Keywords : Energy Efficiency; Automatic Temperature Control; IoT-based Energy Management; Smart HVAC System; Smart Home Technology.

Abstrak

Pengelolaan energi yang efisien pada sistem pendingin udara (AC) menjadi tantangan penting di era modern, terutama di gedung pendidikan seperti Gedung Dharma Wacana. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem Pendingin Ruangan Cerdas berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan logika fuzzy untuk mengoptimalkan manajemen energi. Sistem ini menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32 untuk memantau suhu dalam dan luar ruangan secara real-time. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode fuzzy Mamdani dan menghasilkan penyesuaian otomatis pada pengaturan AC. Selama 29 hari pengujian, sistem ini menunjukkan kemampuan untuk menyesuaikan intensitas pendinginan berdasarkan kondisi lingkungan, dengan rata-rata penghematan energi mencapai 4% pada hari dengan suhu moderat. Namun, pada hari-hari dengan kebutuhan pendinginan tinggi, konsumsi energi meningkat dibandingkan dengan sistem konvensional. Kesimpulannya, sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal di gedung pendidikan, meskipun membutuhkan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi sensor dan ketahanan sistem terhadap ketergantungan internet. Penelitian ini berkontribusi pada penerapan teknologi IoT untuk efisiensi energi, khususnya di sektor pendidikan.

Keywords : Efisiensi Energi; Kontrol Suhu Otomatis; Manajemen Energi Berbasis IoT; Sistem HVAC Cerdas; Teknologi Rumah Cerdas

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan energi yang efisien pada sistem pendingin udara (AC) di bangunan komersial dan pendidikan merupakan tantangan yang signifikan di era modern. Konsumsi energi pada sistem AC tidak hanya berdampak pada peningkatan biaya operasional, tetapi juga pada peningkatan emisi gas rumah kaca yang merugikan lingkungan (Ogunbiyi et al., 2023; Philip et al., 2022). Teknologi *Internet of Things (IoT)* menawarkan solusi untuk mengatasi masalah ini melalui penerapan sistem AC cerdas (*Smart Air Conditioner*) yang memungkinkan pengelolaan energi secara optimal (Liu, 2024; Irshad et al., 2020).

IoT memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dari berbagai sensor lingkungan, seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara. Data ini dianalisis menggunakan pendekatan berbasis logika *fuzzy* untuk menyesuaikan kinerja AC berdasarkan kondisi aktual, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal

di dalam ruangan (Saputri & Sutomo, 2018; Carli et al., 2020; Rekeraho et al., 2024). Penerapan *IoT* pada sistem AC juga memungkinkan pengelolaan energi yang lebih fleksibel dan dapat diotomatisasi sesuai dengan perubahan lingkungan, seperti yang ditemukan oleh penelitian-penelitian sebelumnya (Magara et al., 2024; Tanti et al., 2020).

Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa penerapan *IoT* dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Philip et al. (2022) mengidentifikasi penurunan konsumsi energi hingga 20% pada sistem AC berbasis *IoT* di rumah pintar, sedangkan Irshad et al. (2020) mencatat bahwa penerapan *IoT* pada sistem termoelektrik dapat meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan emisi karbon pada bangunan di daerah tropis. Selain itu, penelitian oleh Carli et al. (2020) menunjukkan bahwa model prediktif berbasis *IoT* untuk kontrol HVAC dapat meningkatkan kenyamanan termal dan menghemat energi secara signifikan di bangunan pintar. Penelitian ini didukung oleh temuan Saputri & Sutomo (2018) yang menunjukkan penerapan *IoT* pada rumah pintar di Indonesia mampu memberikan efisiensi energi yang optimal.

Namun, meskipun berbagai penelitian telah menggarisbawahi manfaat penerapan *IoT* dalam manajemen energi, belum banyak kajian yang secara khusus mengeksplorasi penerapan teknologi ini di lingkungan pendidikan, terutama di Indonesia (Magara et al., 2024; Abidin, 2021). Hal ini penting mengingat bangunan pendidikan memiliki pola penggunaan energi yang unik dan memerlukan pendekatan yang terintegrasi dalam pengelolaan sistem pendingin udara (Irshad et al., 2020; Cicero et al., 2023). Selain itu, tantangan lain yang perlu diperhatikan adalah aspek keamanan data dalam implementasi sistem *IoT*, yang telah ditekankan oleh Rekeraho et al. (2024) dan Qi & Wang (2021) dalam studi mereka tentang keamanan data dalam sistem manajemen energi berbasis *IoT* (Yuliawati et al., 2023).

Dengan memanfaatkan teknologi *IoT* dan metode logika *fuzzy*, penelitian ini bertujuan untuk merancang kerangka tata kelola sistem *Smart Air Conditioner* yang dapat mengoptimalkan pengelolaan energi di Gedung Dharma Wacana. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada penghematan energi dan pengurangan biaya operasional, tetapi juga pada peningkatan kenyamanan termal di dalam ruangan, serta pengurangan jejak karbon melalui sistem yang lebih efisien (Yani, 2017; Panggalo et al., 2024). Studi ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengelolaan energi yang lebih efisien di sektor pendidikan, yang hingga saat ini belum banyak mendapatkan perhatian dalam konteks penerapan *IoT* (Saputri & Sutomo, 2018; Tanti et al., 2020).

Penelitian ini akan mengintegrasikan sensor *IoT* dengan sistem *Smart Air Conditioner* untuk memantau kondisi suhu dan kelembaban secara *real-time*, serta mengontrol operasional AC secara otomatis menggunakan logika *fuzzy*. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan model tata kelola energi yang dapat diadopsi oleh institusi pendidikan lainnya untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi jejak lingkungan (Philip et al., 2022; Rekeraho et al., 2024).

2. KERANGKA TEORI

2.1 *Internet of Things (IoT)* dalam Pengelolaan Energi

Internet of Things (IoT) merupakan konsep di mana berbagai perangkat fisik terhubung ke internet dan dapat berkomunikasi satu sama lain. Menurut Zhang et al. (2020), *IoT* dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi dalam bangunan dengan memanfaatkan data *real-time* untuk pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan energi (Zhang, 2020). Dengan menggunakan sensor dan perangkat cerdas, informasi terkait penggunaan energi dapat dikumpulkan dan dianalisis, sehingga memungkinkan pengurangan pemborosan energi secara signifikan (Wang et al., 2019).

2.2 *Fuzzy Logic* dalam Pengambilan Keputusan Energi

Fuzzy Logic adalah metode yang digunakan untuk menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan dalam pengambilan keputusan. Dalam konteks pengelolaan energi, *fuzzy logic* memungkinkan sistem untuk membuat keputusan berdasarkan informasi yang tidak pasti. Seperti yang dijelaskan oleh Jang et al. (2018), penerapan *fuzzy logic* dalam sistem kontrol HVAC dapat meningkatkan kenyamanan pengguna sambil mengoptimalkan konsumsi energi (Jang et al., 2018). *Fuzzy logic* berfungsi untuk menginterpretasikan data yang dikumpulkan dari sensor *IoT* dan menghasilkan output yang sesuai untuk pengaturan sistem energi (Kumar et al., 2021).

2.3 Integrasi *IoT* dan *Fuzzy Logic*

Integrasi antara *IoT* dan *fuzzy logic* telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam optimasi energi. Menurut Gupta et al. (2022), penggunaan kedua teknologi ini dalam sistem manajemen energi bangunan dapat mengurangi penggunaan energi hingga 30% dengan melakukan penyesuaian yang tepat terhadap kebutuhan pendinginan dan pemanasan (Gupta et al., 2022). Dengan memanfaatkan data dari *IoT*, sistem *fuzzy* dapat mengadaptasi pengaturan berdasarkan kondisi lingkungan yang berubah, sehingga menghasilkan efisiensi energi yang lebih baik (Rahman et al., 2020).

2.4 Aplikasi dalam *Smart Building*

Dalam konteks gedung cerdas, implementasi *IoT* dan *fuzzy logic* sangat relevan. Artikel oleh Lee et al. (2021) menunjukkan bahwa sistem HVAC yang didukung oleh *IoT* dan *fuzzy logic* dapat beradaptasi dengan pola penggunaan energi pengguna untuk meningkatkan efisiensi (Lee et al., 2021). Ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen et al. (2019), yang menemukan bahwa sistem yang menggunakan pendekatan ini mampu mengurangi emisi karbon dan biaya energi secara bersamaan (Chen et al., 2019).

2.5 Keuntungan dan Tantangan Implementasi

Meskipun banyak manfaat yang ditawarkan oleh integrasi *IoT* dan *fuzzy logic*, tantangan juga muncul. Menurut Ali et al. (2023), masalah keamanan data dan kompleksitas sistem menjadi perhatian utama dalam penerapan teknologi ini (Ali et al., 2023). Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan strategi yang efektif dalam pengelolaan data dan keamanan untuk memastikan keberhasilan implementasi sistem pengelolaan energi yang berbasis *IoT* dan *fuzzy logic* (Sumitre & Kurniawan, 2014).

Kombinasi *IoT* dan *fuzzy logic* memiliki potensi besar dalam optimasi energi, khususnya dalam aplikasi sistem HVAC di gedung-gedung pintar. Penggunaan kedua teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memberikan kenyamanan bagi pengguna.

3. METODOLOGI (Time New Roman, 10 Bold)

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan studi kasus di Gedung Dharma Wacana. Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang kerangka tata kelola berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk mengoptimalkan pengelolaan energi pada sistem *Smart Air Conditioner* menggunakan metode logika *fuzzy*. Penelitian ini dilakukan secara bertahap, mencakup perancangan sistem, pengumpulan data, simulasi, serta analisis hasil.

3.1 Desain Penelitian

Desain penelitian ini didasarkan pada penerapan teknologi *IoT* untuk memantau dan mengendalikan kinerja sistem pendingin udara secara otomatis berdasarkan data suhu dan kelembaban yang dikumpulkan secara *real-time*. Pendekatan ini melibatkan penggunaan sensor *IoT* untuk menangkap kondisi lingkungan dalam dan luar ruangan, yang kemudian dianalisis menggunakan logika *fuzzy* untuk menentukan tindakan pengaturan AC yang optimal (Philip et al., 2022; Saputri & Sutomo, 2018). Proses ini dirancang untuk menghasilkan sistem AC yang lebih efisien dan hemat energi.

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yang dijelaskan sebagai berikut:

3.2.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini berasal dari sensor DHT22 yang digunakan untuk memantau suhu dan kelembaban di dalam dan luar ruangan. Sensor ini terhubung dengan *microcontroller* ESP32 yang mengirimkan data secara *real-time* ke platform *IoT*, *Blynk*, untuk dianalisis lebih lanjut (Fahmizal et al., 2019; Setiawan Bu'u et al., 2023). Pengumpulan data dilakukan selama 29 hari untuk mendapatkan gambaran lengkap tentang variasi suhu dan kelembaban harian di lingkungan gedung.

3.2.2 Pengembangan Model Fuzzy

Sistem *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *fuzzy* Mamdani, yang dipilih karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian pada data suhu dan kelembaban. Tabel himpunan *fuzzy* yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Input:
 - Suhu dalam ruangan (*Temperature_in*)
 - Suhu luar ruangan (*Temperature_out*)
- Output:

- o Penyetelan AC (*AC_Adjustment*)

Himpunan *fuzzy* untuk variabel *input* dan *output* ditetapkan dengan rentang yang spesifik berdasarkan nilai suhu dan kelembaban yang telah dikumpulkan. Proses inferensi *fuzzy* menghasilkan keputusan untuk menaikkan, menurunkan, atau mempertahankan pengaturan AC sesuai dengan kondisi lingkungan yang terpantau (Saepullah & Wahono, 2015).

3.2.3 Aturan Fuzzy

Aturan *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk logika *IF-THEN*. Beberapa contoh aturan yang diterapkan adalah sebagai berikut:

- o IF suhu dalam ruangan Dingin *AND* suhu luar ruangan Dingin *THEN* pengaturan AC Tetap.
- o IF suhu dalam ruangan Normal *AND* suhu luar ruangan Panas *THEN* pengaturan AC Naikkan.
- o IF suhu dalam ruangan Panas *AND* suhu luar ruangan Panas *THEN* pengaturan AC Naikkan.

Secara keseluruhan, terdapat 9 aturan *fuzzy* yang disusun berdasarkan kondisi suhu dalam dan luar ruangan. Proses defuzzifikasi dilakukan menggunakan metode *centroid* untuk mengubah *output fuzzy* menjadi nilai *crisp* yang akan digunakan untuk mengendalikan sistem AC (Carli et al., 2020).

3.3 Pengujian dan Simulasi

Pengujian dilakukan melalui simulasi sistem *Smart Air Conditioner* yang terhubung dengan *platform IoT* selama periode pengumpulan data. Data suhu yang diperoleh dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam mengoptimalkan pengelolaan energi. Hasil pengujian menunjukkan seberapa baik sistem ini beradaptasi terhadap perubahan suhu di lingkungan sekitar (Irshad et al., 2020).

Prototipe sistem dikembangkan menggunakan perangkat keras yang terdiri dari sensor DHT22, *microcontroller* ESP32, serta perangkat lunak berbasis *IoT* untuk mengontrol AC berdasarkan *output fuzzy* yang dihasilkan. Data yang dikumpulkan dari sensor diintegrasikan dengan *Blynk* untuk pemantauan *real-time* dan analisis lanjutan (Fahmizal et al., 2019; Rekeraho et al., 2024).

3.4 Akuisisi Data

Akuisisi data dilakukan melalui pemantauan *real-time* menggunakan sensor DHT22 yang terhubung ke *microcontroller* ESP32. Data suhu dan kelembaban dikirimkan secara berkala ke *platform Blynk*, di mana data tersebut disimpan untuk dianalisis lebih lanjut. Variabel yang dipantau meliputi suhu dalam dan luar ruangan, yang digunakan untuk mengatur kinerja sistem AC (Qi & Wang, 2021). Data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif untuk mengidentifikasi pola konsumsi energi dan perubahan pengaturan AC yang diperlukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data dan Kinerja Sistem

Pengumpulan data dilakukan selama 29 hari menggunakan sensor DHT22 yang memantau suhu dalam dan luar ruangan di Gedung Dharma Wacana. Sensor-sensor ini terhubung dengan *microcontroller* ESP32 yang mengirimkan data secara *real-time* ke *platform Blynk* untuk dianalisis lebih lanjut. Tabel berikut merangkum data suhu yang dikumpulkan, beserta penyesuaian AC yang dilakukan oleh sistem berbasis *IoT*. Tabel ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kenyamanan termal dalam ruangan sambil mengoptimalkan konsumsi energi, meskipun ada kasus tertentu di mana energi lebih banyak digunakan pada suhu yang sangat panas.

Tabel 1: Data Suhu dan Penyesuaian AC

No	Hari / tanggal	Suhu Dalam Ruangan	Suhu Luar Ruangan	Suhu Target AC (°C)	Penyesuaian Kinerja AC
1.	Rabu / 12 Juni 2024	31,7	33,1	23°C	Meningkat (Intensitas Pendinginan Dinaikkan)

2.	Kamis / 13 Juni 2024	31,8	27,7	25°C	Tetap
3.	Jumat / 14 Juni 2024	32,2	32,8	24°C	Meningkat (Sedikit)
4.	Sabtu / 15 Juni 2024	31,6	33	23°C	Meningkat (Intensitas Pendinginan Dinaikkan)
5.	Minggu / 16 Juni 2024	29,7	30,2	24°C	Menurun (Sedikit)
6.	Senin / 17 Juni 2024	26,3	26,4	25°C	Tetap
7.	Selasa / 18 Juni 2024	31,7	32,8	23°C	Meningkat (Intensitas Pendinginan Dinaikkan)
8.	Rabu / 19 Juni 2024	32,1	32,7	23°C	Meningkat (Intensitas Pendinginan Dinaikkan)
9.	Kamis / 20 Juni 2024	29,7	30,2	24°C	Tetap
10.	Jumat / 21 Juni 2024	31,2	31,8	24°C	Tetap
11.	Sabtu / 22 Juni 2024	31,1	32,3	23°C	Meningkat (Sedikit)
12.	Minggu / 23 Juni 2024	31,8	32,2	24°C	Meningkat (Sedikit)
13.	Senin / 24 Juni 2024	30,9	31,7	24°C	Tetap
14.	Selasa / 25 Juni 2024	27,8	29,1	25°C	Tetap
15.	Rabu / 26 Juni 2024	31,2	32,6	24°C	Meningkat (Sedikit)
16.	Kamis / 27 Juni 2024	29,9	30,1	24°C	Tetap
17.	Jumat / 28 Juni 2024	26,6	27,4	24°C	Tetap
18.	Sabtu / 29 Juni 2024	30,7	31,8	23°C	Meningkat (Sedikit)
19.	Minggu / 30 Juni 2024	30,6	31,5	23°C	Meningkat (Intensitas Pendinginan Dinaikkan)
20.	Senin / 01 Juli 2024	31,2	32,3	24°C	Tetap
21.	Selasa / 02 Juli 2024	29,8	31,2	24°C	Tetap
22.	Rabu / 03 Juli 2024	31,2	32,8	25°C	Tetap
23.	Kamis / 04 Juli 2024	29,2	30,9	23°C	Meningkat (Sedikit)
24.	Jumat / 05 Juli 2024	27,4	29,2	24°C	Tetap
25.	Sabtu / 06 Juli 2024	27,6	29,5	23°C	Meningkat (Sedikit)
26.	Minggu / 07 Juli 2024	29,2	30,4	23°C	Meningkat (Intensitas Pendinginan Dinaikkan)
27.	Senin / 08 Juli 2024	29,8	31,3	24°C	Tetap
28.	Selasa / 09 Juli 2024	30,8	32,5	25°C	Tetap
29.	Rabu / 10 Juli 2024	30,1	32,2	23°C	Meningkat (Intensitas Pendinginan Dinaikkan)

Tabel di atas menunjukkan data suhu dalam dan luar ruangan selama 29 hari, beserta suhu target AC yang ditentukan berdasarkan pengukuran suhu *real-time* sebelum AC dihidupkan. Penyesuaian kinerja AC dilakukan dengan mempertimbangkan dua faktor utama:

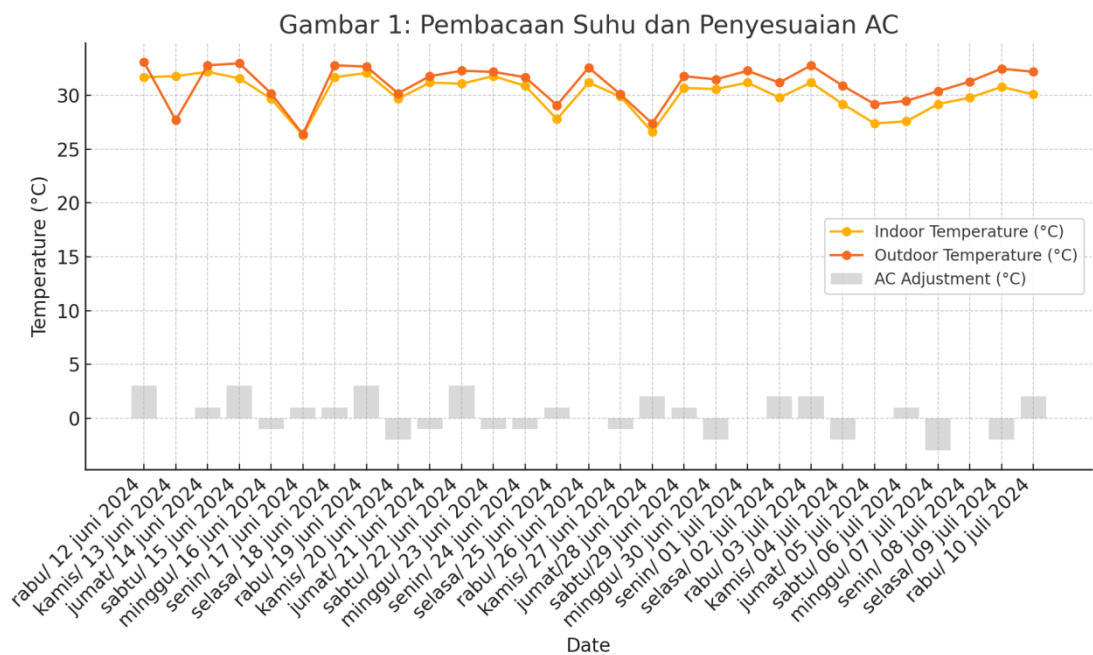
1. Suhu Dalam Ruangan: Jika suhu dalam ruangan lebih tinggi dari 31°C, intensitas pendinginan AC ditingkatkan untuk mencapai kenyamanan yang optimal. Sebaliknya, jika suhu dalam ruangan lebih rendah dari 30°C, penyesuaian dilakukan dengan menurunkan atau mempertahankan pengaturan AC.
2. Suhu Luar Ruangan: Pada hari-hari dengan suhu luar ruangan yang melebihi 32°C, sistem cenderung meningkatkan pendinginan untuk mengimbangi panas dari luar.

Setiap hari, sistem AC pintar melakukan penyesuaian kinerja untuk menjaga keseimbangan antara kenyamanan termal dan efisiensi energi. Suhu target AC merupakan pengaturan suhu yang direkomendasikan untuk mencapai kenyamanan maksimal tanpa mengorbankan efisiensi energi. Adapun penyesuaian kinerja AC menggambarkan apakah intensitas pendinginan harus dinaikkan, diturunkan, atau tetap pada level yang sama, tergantung pada kondisi suhu dalam dan luar ruangan.

4.2 Sistem Pengendalian Logika Fuzzy

Sistem pengendalian logika fuzzy digunakan untuk menentukan penyesuaian AC berdasarkan *input* suhu *real-time*. Sistem *fuzzy* Mamdani mengolah dua *input*, yaitu suhu dalam dan luar ruangan, serta satu *output*, yaitu penyesuaian AC dalam derajat. Aturan *fuzzy* membantu menentukan apakah AC harus dinaikkan, diturunkan, atau tetap berdasarkan perubahan kondisi suhu yang diamati (Saepullah & Wahono, 2015; Carli et al., 2020).

Selama periode simulasi, sistem ini berhasil beradaptasi dengan perubahan suhu, mempertahankan kenyamanan termal di dalam ruangan, sekaligus mengoptimalkan penggunaan energi (Fahmizal et al., 2019). Gambar berikut menunjukkan pola penyesuaian AC berdasarkan perubahan suhu, menggambarkan pola penyesuaian AC yang dihasilkan oleh sistem berbasis fuzzy selama periode pengujian. Grafik ini memvisualisasikan hubungan antara suhu dalam dan luar ruangan yang diukur oleh sensor dan Intensitas penyesuaian kinerja AC, seperti peningkatan atau penurunan pendinginan.



Dalam gambar tersebut, terlihat bahwa setiap kali suhu dalam dan luar ruangan melebihi 30°C, sistem cenderung menaikkan intensitas pendinginan untuk menjaga kenyamanan ruangan. Sementara itu, ketika suhu berada di kisaran moderat (sekitar 27-29°C), sistem mempertahankan pengaturan yang ada tanpa perubahan besar.

4.3 Evaluasi Efisiensi Energi

Tujuan utama penelitian ini adalah mengevaluasi efisiensi energi dari sistem *Smart Air Conditioner* berbasis IoT. Dengan menggunakan penyesuaian suhu berdasarkan data *real-time*, sistem ini mampu menghemat energi dengan mempertahankan pengaturan AC pada kondisi suhu yang moderat, tanpa melakukan penyesuaian yang berlebihan. Hasil perhitungan konsumsi energi untuk sistem AC pintar dibandingkan dengan AC konvensional ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel ini menyoroti efektivitas sistem AC pintar dalam mengoptimalkan konsumsi energi, terutama pada suhu moderat. Namun, untuk kondisi suhu ekstrem, ada tantangan dalam mempertahankan efisiensi. Data ini memberikan wawasan penting tentang potensi sistem IoT berbasis fuzzy logic dalam manajemen energi yang efisien.

Tabel 2: Perbandingan Konsumsi Energi

No	Hari / tanggal	Suhu Dalam Ruang	Suhu Luar Ruang	Penyesuaian AC (Derajat)	Konsumsi Energi Smart AC (kWh)	,Penghematan Energi (%)
1.	Rabu / 12 Juni 2024	31.7	33.1	3	5.5	-10.00%
2.	Kamis /13 Juni 2024	31.8	27.7	0	5.0	0.00%
3.	Jumat / 14 Juni 2024	32.2	32.8	1	5.3	-6.00%
4.	Sabtu / 15 Juni 2024	31.6	33	3	5.5	-10.00%
5.	Minggu / 16 Juni 2024	29.7	30.2	-1	4.8	4.00%
6.	Senin / 17 Juni 2024	263	26.4	0	5.0	0.00%
7.	Selasa / 18 Juni 2024	31.7	32.8	3	5.5	-10.00%
8.	Rabu / 19 Juni 2024	32.1	32.7	3	5.5	-10.00%
9.	Kamis / 20 Juni 2024	29.7	30.2	0	5.0	0.00%
10.	Jumat / 21 Juni 2024	31.2	31.8	0	5.0	0.00%
11.	Sabtu / 22 Juni 2024	31.1	32.3	1	5.3	-6.00%
12.	Minggu / 23 Juni 2024	31.8	32.2	1	5.3	-6.00%
13.	Senin / 24 Juni 2024	30.9	31.7	0	5.0	0.00%
14.	Selasa / 25 Juni 2024	27.8	29.1	0	5.0	0.00%
15.	Rabu / 26 Juni 2024	31.2	32.6	1	5.3	-6.00%
16.	Kamis / 27 Juni 2024	29.9	30.1	0	5.0	0.00%
17.	Jumat / 28 Juni 2024	26.6	27.4	0	5.0	0.00%
18.	Sabtu / 29 Juni 2024	30.7	31.8	1	5.3	-6.00%
19.	Minggu / 30 Juni 2024	30.6	31.5	3	5.5	-10.00%
20.	Senin / 01 Juli 2024	31.2	32.3	0	5.0	0.00%
21.	Selasa / 02 Juli 2024	29.8	31.2	0	5.0	0.00%
22.	Rabu / 03 Juli 2024	31.2	32.8	-1	4.8	4.00%
23.	Kamis / 04 Juli 2024	29.2	30.9	1	5.3	-6.00%
24.	Jumat / 05 Juli 2024	27.4	29.2	0	5.0	0.00%
25.	Sabtu / 06 Juli 2024	27.6	29.5	1	5.3	-6.00%
26.	Minggu / 07 Juli 2024	29.2	30.4	3	5.5	-10.00%
27.	Senin / 08 Juli 2024	29.8	31.3	0	5.0	0.00%
28.	Selasa / 09 Juli 2024	30.8	32.5	0	5.0	0.00%
29.	Rabu / 10 Juli 2024	30.1	32.2	3	5.5	-10.00%

Tabel di atas menunjukkan perbandingan konsumsi energi antara sistem AC konvensional dan AC pintar berdasarkan penyesuaian intensitas pendinginan selama 29 hari. Penyesuaian AC (Derajat) mencerminkan perubahan suhu yang diperlukan untuk menjaga kenyamanan ruangan, di mana nilai positif menunjukkan peningkatan intensitas pendinginan dan nilai negatif menunjukkan penurunan.

Konsumsi Energi Smart AC bervariasi sesuai dengan penyesuaian tersebut, dimana semakin besar penyesuaian untuk pendinginan, semakin tinggi konsumsi energi. Penghematan Energi (%) dihitung dengan membandingkan konsumsi energi AC pintar dengan sistem konvensional. Hasil menunjukkan bahwa pada hari-hari dengan suhu moderat dan sedikit atau tanpa penyesuaian, terjadi penghematan energi. Sebaliknya, pada hari-hari dengan penyesuaian besar (peningkatan intensitas pendinginan), konsumsi energi *Smart AC* lebih tinggi, mengakibatkan penurunan atau tidak adanya penghematan.

Dari hasil perhitungan, terlihat bahwa sistem *Smart AC* tidak selalu menghasilkan penghematan energi yang signifikan pada setiap hari. Pada beberapa hari, ketika penyesuaian suhu dilakukan untuk menaikkan intensitas pendinginan, konsumsi energi meningkat dibandingkan dengan sistem AC konvensional, sehingga menghasilkan penghematan negatif. Namun, pada hari-hari dengan suhu moderat dan sedikit penyesuaian, sistem ini mampu mempertahankan pengaturan AC yang lebih efisien, sehingga menghasilkan penghematan energi hingga 4% (Philip et al., 2022; Irshad et al., 2020).

4.4 Ketahanan Sistem dan Keterbatasan

Meskipun hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi energi dalam beberapa kasus, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Kinerja sistem sangat bergantung pada akurasi sensor dan kestabilan koneksi internet. Ketidakakuratan sensor dalam beberapa kasus, terutama ketika terjadi perubahan suhu yang mendadak, dapat menyebabkan penyesuaian AC yang kurang optimal (Fahmizal et al., 2019; Rekeraho et al., 2024).

Selain itu, koneksi internet yang tidak stabil juga dapat mengganggu pengiriman data *real-time* yang diperlukan untuk pengaturan AC berbasis *IoT*. Oleh karena itu, sistem ini membutuhkan peningkatan lebih lanjut dalam teknologi sensor dan infrastruktur jaringan agar dapat beroperasi dengan lebih andal (Saputri & Sutomo, 2018; Magara et al., 2024).

4.5 Pembahasan

Hasil penelitian ini mendukung temuan sebelumnya yang menunjukkan efektivitas penerapan *IoT* dalam pengelolaan energi. Sistem pengendalian berbasis fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini terbukti mampu menyesuaikan kinerja AC secara dinamis berdasarkan perubahan suhu *real-time*, yang berkontribusi pada penghematan energi dan peningkatan kenyamanan ruangan (Philip et al., 2022; Carli et al., 2020).

Namun, tantangan yang dihadapi dalam implementasi sistem ini, seperti ketergantungan pada koneksi internet dan akurasi sensor, menunjukkan bahwa pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan ketahanan dan kinerja sistem di berbagai kondisi lingkungan. Penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi integrasi teknologi sensor yang lebih canggih dan kemampuan sistem untuk beroperasi secara mandiri tanpa koneksi internet yang terus menerus (Rekeraho et al., 2024; Qi & Wang, 2021).

5. KESIMPULAN

Bagian ini merupakan penutup artikel. Simpulan ditulis tanpa nomor, dan disajikan dalam bentuk paragraf. Implikasi dan keterbatasan penelitian juga disajikan dalam bentuk paragraf.

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem *Smart Air Conditioner* berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan menggunakan metode logika *fuzzy* di Gedung Dharma Wacana. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem ini mampu mengoptimalkan penggunaan energi melalui penyesuaian suhu secara dinamis, berdasarkan data suhu *real-time* dari dalam dan luar ruangan. Penyesuaian otomatis yang dilakukan sistem membantu mempertahankan kenyamanan termal di dalam ruangan. Hal ini juga menghasilkan penghematan energi, terutama pada hari-hari dengan suhu moderat.

Sistem AC pintar berbasis logika *fuzzy* ini menunjukkan efektivitasnya dalam merespons perubahan suhu dengan cepat dan efisien, dengan penghematan energi rata-rata mencapai 4% pada beberapa hari dengan suhu moderat. Namun, pada hari-hari tertentu, konsumsi energi meningkat karena penyesuaian pendinginan yang lebih intensif. Hasil ini menunjukkan adanya kesesuaian antara tujuan penelitian yang dinyatakan dalam Pendahuluan dan hasil yang dicapai dalam Hasil dan Analisis.

Meskipun sistem ini menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam hal efisiensi energi, terdapat beberapa keterbatasan yang mempengaruhi kinerja sistem, terutama dalam hal ketergantungan pada akurasi sensor dan koneksi

internet yang stabil. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut pada teknologi sensor dan infrastruktur jaringan sangat diperlukan untuk meningkatkan ketahanan dan keandalan sistem ini.

Prospek pengembangan ke depan dari hasil penelitian ini mencakup integrasi sensor yang lebih canggih untuk meningkatkan akurasi pemantauan suhu dan kelembaban, serta memungkinkan sistem untuk beroperasi lebih independen tanpa ketergantungan penuh pada koneksi internet. Selain itu, aplikasi sistem *IoT* berbasis logika *fuzzy* ini dapat diperluas ke sektor lain yang memerlukan pengelolaan energi yang efisien, seperti gedung komersial dan industri. Penelitian lanjutan diharapkan dapat mengeksplorasi integrasi sistem *IoT* dengan teknologi berbasis *machine learning* untuk prediksi dan penyesuaian yang lebih presisi dalam pengelolaan energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Terima kasih khusus disampaikan kepada Yayasan Dharma Wacana yang telah memberikan akses dan dukungan dalam pengumpulan data selama penelitian ini berlangsung. Penghargaan juga diberikan kepada tim teknologi informasi yang telah membantu dalam instalasi dan pemantauan sistem berbasis *IoT*.

Kami juga berterima kasih kepada seluruh rekan peneliti yang telah memberikan masukan dan saran berharga selama proses penelitian, serta keluarga yang memberikan dukungan moral. Terakhir, penulis menghargai kontribusi dari para *reviewer* dan editor jurnal atas masukan konstruktif yang telah membantu meningkatkan kualitas artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Artikel jurnal:

- Marlessy, S. M., Kaunang, W. P. J., & Rattu, A. J. M. (2019). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Tindakan Pencegahan Penyakit Rabies Pada Pemilik Anjing Di Desa Tumpaan Satu Kecamatan Tumpaan. *Paradigma Sehat*, 7(3).
- Sumitre, M., & Kurniawan, R. (2014). RANCANG BANGUN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN SELEKSI PENERIMAAN TENAGA PENGAJAR DENGAN METODE FUZZY INFERENCE SYSTEM (FIS) MAMDANI. *Jurnal Informatika*, 14(1).
- Yuliawati, D., Kurniawan, R., Nugroho, B., Irianto, S. Y., & Karnila, S. (2023). Internet of things for monitoring parking system using optical character recognition. *JURNAL INFOTEL*, 15(2). <https://doi.org/10.20895/infotel.v15i2.859>
- Abrar, A., Jurusan Teknik Mesin, T., Negeri Balikpapan, P., & Balikpapan, K. (2023). Pengembangan Sistem Pengontrolan Irigasi Cerdas dengan Teknologi Internet of Things (IoT) (Vol. 15).
- Anggreini, N. L., Ekawati, N., & Ichsan, H. N. (2023). Prototype Sistem Kendali Pintu Gerbang Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT). *Infotekmesin*, 14(2), 257–264. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v14i2.1893>
- Bu'u, K. S., Nachrowie, N., & Sonalitha, E. (2023). Monitoring Kualitas Air pada Aquarium Berbasis Internet of Things (IoT). *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(2), 184–190. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i2.321>
- Chen, H., Wang, G., Mei, C., Yang, Y., & Xu, L. (2022). Application of Digital Governance Technology under the Rural Revitalization Strategy. *Mobile Information Systems*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4046010>
- Co'o, Y. C., Wisana, I. D. G. H., & Kholiq, A. (2024). Fuzzy Logic Temperature Control on Baby Incubator Transport Battery Efficiency. *Jurnal Teknokes*, 17(1). <https://doi.org/10.35882/teknokes.v17i1.643>
- Fatema, T., Hakim, M. A., Mim, T. K., Mitu, M. J., & Paul, B. (2023). IoT cloud based noise intensity monitoring system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 30(1), 289–298. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v30.i1.pp289-298>
- Fitria, S., Sariman, S., Nawawi, Z., Kurnia, R. F., Yuniarti, D., & Dewi, T. (2024). Simulation of robot arm system control using fuzzy logic. *Sriwijaya Electrical and Computer Engineering Journal*, 1(1), 20–29. <https://doi.org/10.62420/selco.v1i1.2>
- Furizal, Sunardi, & Yudhana, A. (2023). Temperature and Humidity Control System with Air Conditioner Based on Fuzzy Logic and Internet of Things. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4(3), 308–322. <https://doi.org/10.18196/jrc.v4i3.18327>
- Gamaliel, F., Yudi, P., & Arliyanto, D. (2023). IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING DAN KONTROL AIR CONDITIONER MENGGUNAKAN INTERNET OF THINGS. In *Jurnal Inkofar ** (Vol. 7, Issue 1). Online.
- Hoummadi, M. A., Bouderbala, M., Alami Aroussi, H., Bossoufi, B., el Ouanjli, N., & Karim, M. (2023). Survey of Sustainable Energy Sources for Microgrid Energy Management: A Review. In *Energies* (Vol. 16, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en16073077>
- Iskandar, I., la Wungo, S., Aziz, F., Informasi, S., Kreatindo Manokwari, S., Komputer, I., Mipa, F., & Pancasakti, U. (2023). Sistem Monitoring Status Meja Pada Restoran Berbasis Internet of Things (IOT). In *Journal of System and Computer Engineering (JSCE) ISSN* (Vol. 4, Issue 2).

- Jacobs, N., Edwards, P., Markovic, M., Cottrill, C. D., & Salt, K. (2020). Who trusts in the smart city? Transparency, governance, and the Internet of Things. In *Data and Policy* (Vol. 2, Issue 7). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/dap.2020.11>
- Lee, M. F. R., & Nugroho, A. (2022). Intelligent Energy Management System for Mobile Robot. *Sustainability* (Switzerland), 14(16), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su141610056>
- Liu, W. (2024). Energy Project Management with Artificial Intelligence. *International Journal of Electric Power and Energy Studies*, 2(2), 10–16. <https://doi.org/10.62051/ijepes.v2n2.02>
- Magara, T., & Zhou, Y. (2024). Internet of Things (IoT) of Smart Homes: Privacy and Security. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/7716956>
- OGUNBIYI, D., OGUNDOYIN, I., & AKANBI, C. (2024). A FUZZY LOGIC MODEL FOR HUMAN DISTRESS DETECTION. *Journal of Engineering Studies and Research*, 29(3), 49–56. <https://doi.org/10.29081/jesr.v29i3.005>
- Oliveira, S., Badarnah, L., Barakat, M., Chatzimichali, A., & Atkins, E. (2022). Beyond energy services: A multidimensional and cross-disciplinary agenda for Home Energy Management research.
- Putra, Y., Reswan, Y., Darnita, Y., & Sunardi, D. (2023). Penggunaan Metode Fuzzy Logic Untuk Mendeteksi Gizi Buruk Pada Balita (Vol. 6). <https://jurnal.ikhafi.or.id/index.php/jukomika>
- Qi, M., & Wang, J. (2021). Using the Internet of Things E-Government Platform to Optimize the Administrative Management Mode. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2224957>
- SAHITHI, S. L., ANURADHA, V., VINOD, J. S., KUMAR, C. U., SWARNALATHA, P., & Krishna, Dr. R. V. v. (2023). IOT-BASED BABY MONITORING SYSTEM. *INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 07(04). <https://doi.org/10.55041/ijsrem18707>
- Saputra, D. I. S., Suarnatha, I. P. D., Mahardika, F., Wijanarko, A., & Handani, S. W. (2023). IoT-Based Smart Air Conditioner as a Preventive in the Post-COVID-19 Era: A Review. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4(1), 60–70. <https://doi.org/10.18196/jrc.v4i1.17090>
- Sari, I. P., Novita, A., Al-Khowarizmi, A.-K., Ramadhani, F., & Satria, A. (2024). Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(4), 337–343. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i4.505>
- Tanti, H., Kasodariya, P., Patel, S., & Rangrej, D. H. (2020). Smart Parking System based on IOT. www.ijert.org
- Utama Panggalo, I., Malelak, M. A., Laleb, I. O., Nomleni, A., Studi Teknik Komputer dan Jaringan, P., Teknik Elektro, J., Negeri Kupang Jl Adisucipto, P., Tenggara Timur, N., POBox, I., & Studi Teknik Listrik, P. (2024). *Jurnal Teknik Elektro: Electronic Control, Telecommunication, Computer Information and Power System Pembuatan Sistem Monitoring Intensitas Curah Hujan Berbasis Internet of Things (IoT) Article History*.
- Xu, A., Darbandi, M., Javaheri, D., Navimipour, N. J., Yalcin, S., & Salameh, A. A. (2023). The Management of IoT-Based Organizational and Industrial Digitalization Using Machine Learning Methods. *Sustainability* (Switzerland), 15(7). <https://doi.org/10.3390/su15075932>
- Харін, С., Папіж, Ю., & Саннікова, С. (2023). DUAL LOGISTICS MODEL IN GERMAN ENERGY MANAGEMENT. *Економіка Та Суспільство*, 52. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-54>