Pengembangan Sistem Kontrol AC Berbasis Logika Fuzzy untuk Pengendalian Suhu Ruangan

1st Dicky Pratama
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
dicky@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Muhammad Ary Murti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
arymurti@telkomuniversity.ac.id

3nd Azam Zamhuri Fuadi *Fakultas Teknik Elektro*
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
azamzamhurifuadi@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Penelitian ini membahas pengembangan sebuah subsistem kontrol untuk mengatur suhu ruangan menggunakan logika fuzzy dan mengintegrasikannya dengan platform Antares. Subsistem ini bertujuan meningkatkan efisiensi dan kenyamanan pengendalian suhu ruangan melalui AC. Komponen utama subsistem ini melibatkan sensor suhu dan kelembaban, modul IR remote, dan mikrokontroler ESP8266. Logika fuzzy digunakan untuk pengendalian adaptif berdasarkan kondisi ruangan. Implementasinya memanfaatkan library Fuzzy untuk menghubungkan input suhu dan kelembaban dengan pengaturan suhu AC. Himpunan fuzzy mengubah nilai numerik menjadi variabel linguistik, dan aturan fuzzy menghubungkannya. Metode defuzzifikasi menghasilkan pengaturan suhu AC konkret. Selain itu, subsistem ini terhubung ke platform Antares melalui Wi-Fi dan library AntaresESP8266HTTP, mengirim data suhu, kelembaban, dan pengaturan suhu AC ke Antares untuk pemantauan jarak jauh. Ini memungkinkan pemantauan real-time dan analisis data untuk meningkatkan efisiensi energi. Pengujian subsistem ini dilakukan di lingkungan simulasi dan lapangan, menunjukkan pengendalian suhu ruangan yang baik. Integrasi dengan Antares memungkinkan penggunaan dalam aplikasi IoT untuk pengendalian suhu ruangan yang efisien dan nyaman.**

***Kata kunci* — Logika fuzzy, Integrasi Antares, Pengendalian suhu ruangan, Efisiensi energi, Kenyamanan ruangan.**

I. PENDAHULUAN

Dalam era modern yang serba terhubung, sistem otomatisasi dan pengendalian suhu ruangan menjadi sangat penting dalam menciptakan lingkungan yang nyaman dan efisien energi. Salah satu aspek kunci dalam pengendalian suhu ruangan adalah penggunaan AC (Air Conditioner) sebagai perangkat utama untuk mengatur suhu dalam ruangan. Namun, pengendalian suhu ruangan yang efektif dan adaptif memerlukan pendekatan yang lebih canggih dan terintegrasi. Logika fuzzy merupakan salah satu metode yang populer dalam pengendalian suhu ruangan yang mengadopsi pemikiran manusia dalam mengambil keputusan. Dengan menggunakan logika fuzzy, pengaturan suhu AC dapat disesuaikan secara adaptif berdasarkan suhu dan kelembaban ruangan, sehingga menciptakan lingkungan yang nyaman dan optimal. Selain itu, integrasi dengan platform Antares memungkinkan komunikasi data yang efisien antara sistem pengendalian suhu ruangan dan perangkat lainnya. Dengan menggunakan Antares, data suhu, kelembaban, dan pengaturan suhu AC dapat dikirimkan secara real-time, memungkinkan pemantauan dan pengambilan keputusan yang akurat untuk meningkatkan efisiensi energi. Pada penelitian ini, kami bertujuan untuk mengembangkan sebuah subsistem kontrol yang mengintegrasikan logika fuzzy dengan platform Antares untuk pengendalian suhu ruangan menggunakan AC.

Subsistem kontrol ini terdiri dari sensor suhu dan kelembaban untuk mengukur kondisi lingkungan, modul IR remote untuk mengirimkan sinyal kontrol ke AC, dan mikrokontroler ESP8266 sebagai otak sistem yang mengolah data dan mengambil keputusan. Penggunaan logika fuzzy dalam subsistem kontrol memungkinkan adaptabilitas yang tinggi dalam mengatur suhu AC berdasarkan kondisi lingkungan. Himpunan fuzzy digunakan untuk mengubah nilai numerik menjadi variabel linguistik, sedangkan aturan fuzzy menghubungkan himpunan-himpunan tersebut. Metode defuzzifikasi digunakan untuk menghasilkan pengaturan suhu AC yang konkret. Selain itu, integrasi dengan Antares memungkinkan akses data secara real-time dan pemantauan jarak jauh, sehingga memungkinkan pengoptimalan pengaturan suhu dan peningkatan efisiensi energi. Dalam penelitian ini, kami melakukan pengujian subsistem kontrol baik dalam lingkungan simulasi maupun di lapangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa subsistem kontrol ini mampu mengendalikan suhu ruangan secara efektif berdasarkan kondisi lingkungan yang diberikan. Penggunaan logika fuzzy dan integrasi dengan Antares memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan ruangan. Dalam keseluruhan penelitian ini, kami berharap bahwa pengembangan subsistem kontrol ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem pengendalian suhu ruangan yang lebih adaptif, efisien, dan terhubung secara digital.

II. KAJIAN TEORI

A. Pengendalian Suhu Ruangan

Pada bagian ini, akan dijelaskan tentang pentingnya pengendalian suhu ruangan dalam menciptakan lingkungan yang nyaman bagi penghuni. Konsep dasar pengendalian suhu ruangan menggunakan AC akan diulas, termasuk peran AC sebagai perangkat utama dalam mengatur suhu dalam ruangan.

B. Logika Fuzzy

Dalam Pengendalian Suhu Ruangan Kajian literatur ini juga akan memfokuskan pada penggunaan logika fuzzy dalam pengendalian suhu ruangan. Penjelasan tentang prinsip dasar logika fuzzy dan bagaimana logika ini dapat diterapkan dalam sistem pengendalian suhu akan diuraikan. Selain itu, akan dibahas pula tentang keunggulan dan kelemahan penggunaan logika fuzzy dalam pengendalian suhu ruangan.

C. Integrasi Antares dalam Sistem

Pengendalian Integrasi dengan platform Antares menjadi aspek penting dalam penelitian ini. Pada bagian ini, akan dijelaskan tentang Antares sebagai platform yang digunakan untuk komunikasi data antara sistem pengendalian suhu ruangan dengan perangkat lainnya. Penjelasan tentang fitur-fitur Antares, protokol komunikasi yang digunakan, dan manfaat integrasi ini akan dibahas secara mendetail.

D. Komponen-komponen Sistem

Pengendalian Sistem pengendalian suhu ruangan melibatkan beberapa komponen utama. Dalam kajian literatur ini, akan dibahas tentang sensor suhu dan kelembaban yang digunakan untuk mengukur kondisi lingkungan, modul IR remote yang berperan dalam mengirimkan sinyal kontrol ke AC, dan mikrokontroler ESP8266 yang berfungsi sebagai otak sistem. Penjelasan tentang fungsi, karakteristik, dan kelebihan dari masing-masing komponen ini akan diuraikan. Melalui kajian literatur ini, diharapkan dapat memperoleh pemahaman yang mendalam tentang pengendalian suhu ruangan, logika fuzzy, integrasi Antares, dan komponen-komponen yang terlibat dalam sistem pengendalian tersebut. Poin-poin tersebut akan menjadi dasar yang kuat dalam pengembangan subsistem kontrol yang terintegrasi dan efisien untuk pengendalian suhu ruangan menggunakan AC.

III. METODE

Dalam penelitian ini. Pada bagian ini, akan dijelaskan tentang Antares sebagai platform yang digunakan untuk komunikasi data antara sistem pengendalian suhu ruangan dengan perangkat lainnya. Penjelasan tentang fitur-fitur Antares, protokol komunikasi yang digunakan, dan manfaat integrasi ini akan dibahas secara mendetail.

Komponen-komponen Sistem Pengendalian Sistem pengendalian suhu ruangan melibatkan beberapa komponen utama. Dalam kajian literatur ini, akan dibahas tentang sensor suhu dan kelembaban yang digunakan untuk mengukur kondisi lingkungan, modul IR remote yang berperan dalam mengirimkan sinyal kontrol ke AC, dan mikrokontroler ESP8266 yang berfungsi sebagai otak sistem. Penjelasan tentang fungsi, karakteristik, dan kelebihan dari masing-masing komponen ini akan diuraikan.

Melalui kajian literatur ini, diharapkan dapat memperoleh pemahaman yang mendalam tentang pengendalian suhu ruangan, logika fuzzy, integrasi Antares, dan komponenkomponen yang terlibat dalam sistem pengendalian tersebut. Poin-poin tersebut akan menjadi dasar yang kuat dalam pengembangan subsistem kontrol yang terintegrasi dan efisien untuk pengendalian suhu ruangan menggunakan AC.

A. Desain Sistem

Pada tahap desain sistem, perhatian diberikan kepada keseluruhan struktur sistem yang mencakup pemilihan komponen-komponen yang akan digunakan, hubungan antar komponen, serta alur kerja sistem secara keseluruhan. Fokus utama dalam bahasan ini adalah pemilihan komponen, konfigurasi perangkat keras, dan perancangan logika fuzzy yang akan menjadi dasar dalam pengembangan subsistem kontrol.

Pertama-tama, dalam pemilihan komponen, aspek penting yang dipertimbangkan adalah kebutuhan sistem untuk mengendalikan suhu ruangan menggunakan AC. Komponen utama yang digunakan adalah AC (Air Conditioner) sebagai perangkat pengendali suhu. Selain itu, sensor suhu dan kelembaban juga digunakan untuk mengukur kondisi lingkungan ruangan. Sensor ini akan memberikan data suhu dan kelembaban yang menjadi input untuk proses pengendalian suhu menggunakan logika fuzzy.

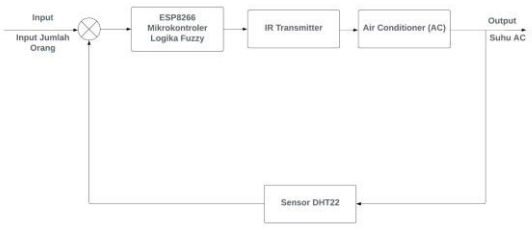
Konfigurasi perangkat kerasmmelibatkan penggunaan mikrokontroler ESP8266 sebagai otak sistem. Mikrokontroler ini memiliki kemampuan komputasi yang cukup untuk mengolah data dan mengambil keputusan berdasarkan logika fuzzy. Modul IR remote digunakan untuk mengirimkan sinyal kontrol ke AC, sehingga suhu dapat diatur secara otomatis.

Perancangan logika fuzzy menjadi salah satu fokus penting dalam desain sistem. Logika fuzzy digunakan sebagai metode pengendalian yang adaptif berdasarkan suhu dan kelembaban ruangan. Dalam bahasan ini, akan dijelaskan tentang pembentukan variabel linguistik, pembentukan aturan fuzzy, dan metode defuzzifikasi yang digunakan. Hal ini memungkinkan sistem untuk menyesuaikan suhu AC secara adaptif sesuai dengan kondisi lingkungan.

Selain itu, hubungan antara komponen-komponen juga akan dijelaskan dalam desain sistem. Misalnya, sensor suhu dan kelembaban terhubung dengan mikrokontroler ESP8266 untuk mendapatkan data lingkungan. Mikrokontroler mengolah data dan mengambil keputusan berdasarkan logika fuzzy, kemudian mengirimkan sinyal kontrol ke AC melalui modul IR remote.

Alur kerja sistem secara keseluruhan akan dijelaskan, mulai dari pengambilan data suhu dan kelembaban oleh sensor, pemrosesan data dan pengambilan keputusan oleh mikrokontroler, hingga pengiriman sinyal kontrol ke AC untuk mengatur suhu ruangan. Penjelasan ini akan memberikan gambaran tentang bagaimana setiap komponen bekerja bersama-sama dalam mencapai tujuan pengendalian suhu yang efisien dan nyaman.

Dengan demikian, tahap desain sistem ini memberikan landasan yang kuat dalam pengembangan subsistem kontrol. Pemilihan komponen yang tepat, konfigurasi perangkat keras yang optimal, dan perancangan logika fuzzy yang efektif akan memastikan kinerja sistem yang baik dan sesuai dengan tujuan pengendalian suhu ruangan.



Grafik 1.
Diagram Blok

Diagram blok ini menggambarkan hubungan antar komponen utama dalam sistem pengendalian suhu ruangan. Sensor suhu dan kelembaban digunakan untuk mengukur kondisi lingkungan, kemudian data tersebut dikirim ke mikrokontroler ESP8266. Mikrokontroler mengolah data menggunakan logika fuzzy untuk mengambil keputusan pengendalian suhu. Selanjutnya, mikrokontroler mengirimkan sinyal kontrol melalui modul IR remote ke Air Conditioner untuk mengatur suhu ruangan.

Diagram blok ini memberikan gambaran visual tentang alur kerja sistem dan hubungan antar komponen yang terlibat dalam pengendalian suhu ruangan menggunakan logika fuzzy.

B. Implementasi Logika Fuzzy

Pada tahap implementasi logika fuzzy dalam subsistem kontrol, terdapat beberapa langkah yang perlu dijelaskan dengan detail. Berikut adalah penjelasan mengenai setiap langkah tersebut:

1. Himpunan Fuzzy dan Variabel Input:

a. Himpunan Fuzzy "rendah": Mewakili rentang suhu rendah.
b. Himpunan Fuzzy "sedikit_rendah": Mewakili rentang suhu sedikit rendah.
c. Himpunan Fuzzy "normal": Mewakili rentang suhu normal.
d. Himpunan Fuzzy "tinggi": Mewakili rentang suhu tinggi. Himpunan Fuzzy "sedikit": Mewakili jumlah orang sedikit di dalam ruangan.
e. Himpunan Fuzzy "sedang": Mewakili jumlah orang sedang di dalam ruangan.
f. Himpunan Fuzzy "banyak": Mewakili jumlah orang banyak di dalam ruangan.

2. Variabel Output Fuzzy:

a. Himpunan Fuzzy "sejuk": Mewakili pengaturan AC yang sejuk.
b. Himpunan Fuzzy "nyaman": Mewakili pengaturan AC yang nyaman.
c. Himpunan Fuzzy "hangat": Mewakili pengaturan AC yang hangat.

3. Aturan Fuzzy:

Aturan-aturan fuzzy yang mendefinisikan hubungan antara variabel input dan variabel output tidak secara eksplisit disebutkan dalam potongan kode yang diberikan. Untuk mengetahui aturan fuzzy yang digunakan secara tepat, Anda perlu merujuk ke implementasi kode dari fungsi "sett_fuzzy()", yang tidak ditunjukkan dalam potongan kode yang diberikan. implementasi dari aturan-aturan fuzzy yang digunakan dalam sistem kontrol. Berikut adalah penjelasan aturan fuzzy yang diterapkan dalam program tersebut:

a. Fuzzy Rule 1:
Jika suhu rendah dan jumlah orang sedikit, maka pengaturan AC adalah hangat.
b. Fuzzy Rule 2:
Jika suhu rendah dan jumlah orang sedang, maka pengaturan AC adalah hangat.
c. Fuzzy Rule 3:
Jika suhu rendah dan jumlah orang banyak, maka pengaturan AC adalah hangat.
d. Fuzzy Rule 4:
Jika suhu sedikit rendah dan jumlah orang sedikit, maka pengaturan AC adalah hangat.
e. Fuzzy Rule 5:
Jika suhu sedikit rendah dan jumlah orang sedang, maka pengaturan AC adalah hangat.
f. Fuzzy Rule 6:
Jika suhu sedikit rendah dan jumlah orang banyak, maka pengaturan AC adalah sejuk.
g. Fuzzy Rule 7:
Jika suhu normal dan jumlah orang sedikit, maka pengaturan AC adalah hangat.
h. Fuzzy Rule 8:
Jika suhu normal dan jumlah orang sedang, maka pengaturan AC adalah sejuk.
i. Fuzzy Rule 9:
Jika suhu normal dan jumlah orang banyak, maka pengaturan AC adalah sejuk.
j. Fuzzy Rule 10:
Jika suhu tinggi dan jumlah orang sedikit, maka pengaturan AC adalah sejuk.
k. Fuzzy Rule 11:
Jika suhu tinggi dan jumlah orang sedang, maka pengaturan AC adalah sejuk.
l. Fuzzy Rule 12:
Jika suhu tinggi dan jumlah orang banyak, maka pengaturan AC adalah sejuk.

Setiap aturan fuzzy memiliki kondisi (antecedent) yang terdiri dari kombinasi himpunan fuzzy pada variabel input, dan konsekuensi (consequent) yang menentukan himpunan fuzzy pada variabel output yang akan diaktifkan. Implementasi ini memungkinkan sistem untuk menentukan pengaturan suhu AC berdasarkan kondisi suhu dan jumlah orang di dalam ruangan. Berikut adalah rentang suhu dalam satuan Celsius untuk setiap himpunan fuzzy yang terdefinisi dalam program:

- Himpunan "sejuk":
- Rentang: 16°C hingga 23°C
- Himpunan "nyaman":
- Rentang: 21°C hingga 27°C
- Himpunan "hangat":
- Rentang: 25°C hingga 32°C

4. Fuzzifikasi dan Defuzzifikasi:

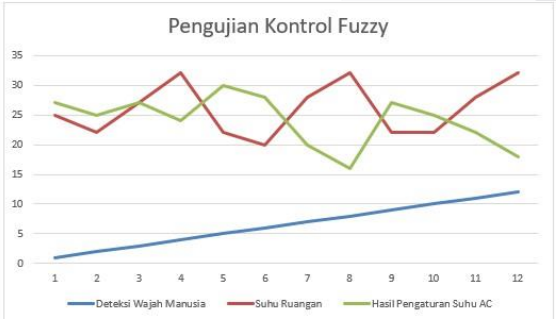
a. Fuzzifikasi: Variabel input, seperti suhu dan count (jumlah orang di dalam ruangan), difuzzifikasi menggunakan fungsi "fuzzy->setInput()" untuk menentukan derajat keanggotaan dalam himpunan fuzzy.
b. Defuzzifikasi: Proses defuzzifikasi dilakukan menggunakan fungsi "fuzzy->defuzzify()" untuk mendapatkan nilai output konkret berdasarkan perhitungan logika fuzzy.

Harap diperhatikan bahwa aturan fuzzy spesifik yang digunakan dalam kode tidak terlihat dalam potongan kode yang diberikan, dan Anda perlu merujuk ke implementasi kode lengkap, termasuk fungsi "sett_fuzzy()", untuk mengetahui aturan fuzzy yang digunakan secara tepat.

Dengan implementasi logika fuzzy dalam subsistem kontrol, sistem mampu mengubah data suhu dan kelembaban ruangan menjadi pengaturan suhu AC yang adaptif dan sesuai dengan kondisi lingkungan. Hal ini meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan ruangan dalam pengendalian suhu menggunakan AC.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi performa sistem kontrol suhu ruangan yang menggunakan logika fuzzy dan integrasi dengan Antares.
Berikut adalah poin-poin yang akan dibahas dalam bagian ini: Pengujian di Lingkungan Simulasi: Pertama-tama, sistem kontrol suhu ruangan yang telah dirancang akan diuji dalam lingkungan simulasi. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik dan merespons secara tepat terhadap kondisi lingkungan yang diberikan. Hasil pengujian, termasuk data suhu ruangan, kelembaban, dan pengaturan suhu AC, akan dianalisis dan dibahas. Pengujian di Lapangan: Selanjutnya, sistem kontrol suhu ruangan akan diujicobakan dalam kondisi lapangan. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sistem ke ruangan nyata dan mengamati performanya dalam mengendalikan suhu ruangan secara efektif. Data yang dikumpulkan selama pengujian akan dianalisis untuk mengevaluasi keberhasilan sistem dalam menjaga suhu ruangan sesuai dengan keinginan. Evaluasi Performa Sistem: Setelah pengujian dilakukan, performa sistem akan dievaluasi secara komprehensif. Evaluasi ini mencakup analisis efisiensi energi yang dihasilkan oleh sistem kontrol, kenyamanan yang dirasakan oleh pengguna ruangan, serta keakuratan pengaturan suhu AC berdasarkan kondisi lingkungan. Hasil evaluasi akan digunakan untuk memperbaiki dan meningkatkan sistem yang ada. Analisis Data dan Temuan: Data yang dikumpulkan selama pengujian akan dianalisis secara mendalam. Analisis ini melibatkan pengolahan data menggunakan metode statistik dan teknik lainnya untuk mengidentifikasi tren, pola, dan hubungan antar variabel. Temuan-temuan yang dihasilkan dari analisis data akan dipresentasikan dan dibahas secara terperinci dalam bagian ini. Perbandingan dengan Metode Lain: Dalam pembahasan hasil, akan dilakukan perbandingan performa sistem kontrol suhu ruangan yang menggunakan logika fuzzy dan integrasi Antares dengan metode kontrol suhu ruangan lain yang sudah ada. Perbandingan ini bertujuan untuk menunjukkan keunggulan dan keunggulan sistem yang diusulkan dalam hal efisiensi energi, kenyamanan ruangan, dan pengendalian suhu yang adaptif.



Grafik .4. Pengujian Kontrol Fuzzy

Melalui hasil dan pembahasan yang komprehensif, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang mendalam tentang performa sistem kontrol suhu ruangan yang menggunakan logika fuzzy dan integrasi dengan Antares. Hasil-hasil ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan dan peningkatan sistem kontrol suhu ruangan yang lebih efisien dan nyaman di masa depan. R.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi wajah dan penghitungan jumlahnya menggunakan Raspberry Pi 4 dan kamera Raspberry NoIR memberikan hasil yang memuaskan. Sistem mampu mendeteksi wajah manusia dengan akurasi yang tinggi dalam berbagai kondisi uji, termasuk pencahayaan rendah, pencahayaan normal, posisi wajah ekstrem, dan ekspresi wajah berbeda. Penghitungan jumlah wajah juga dilakukan dengan tepat. Sistem ini memiliki potensi aplikasi yang luas dalam berbagai bidang, seperti pengawasan keamanan, analisis data, pengenalan wajah, dan lain sebagainya. Dengan menggunakan Raspberry Pi 4 dan kamera Raspberry NoIR, sistem dapat diimplementasikan dengan mudah dan efisien. Meskipun sistem telah memberikan hasil yang baik, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, dapat dilakukan peningkatan pada algoritma deteksi wajah untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan deteksi. Selain itu, penggunaan teknik pengolahan citra yang lebih canggih dapat membantu meningkatkan kualitas deteksi wajah.

Selanjutnya, dapat dipertimbangkan untuk mengintegrasikan fitur pengenalan wajah sehingga sistem dapat mengidentifikasi individu yang terdeteksi. Hal ini dapat membuka potensi pengembangan aplikasi yang lebih kompleks, seperti pengendalian akses atau pemantauan kehadiran. Terakhir, perlu dipertimbangkan juga faktor keamanan dalam penggunaan sistem ini, seperti melindungi data wajah yang dikumpulkan dan memastikan perlindungan privasi pengguna. Dengan melakukan pengembangan dan peningkatan yang tepat, sistem deteksi wajah dan penghitungan jumlahnya menggunakan Raspberry Pi 4 dan kamera Raspberry NoIR dapat terus ditingkatkan dan digunakan dalam berbagai aplikasi yang lebih luas di masa depan.

REFERENSI

1. Amin, M. B., & Dey, S. K. (2019). Development of a fuzzy logic-based temperature control system using Arduino. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 9(2), 1190-1198.

2. Dey, S. K., & Amin, M. B. (2018). Development of an IoT-based home automation system using fuzzy logic.
International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology (IJSRCSEIT), 3(5), 1677-1684.

3. Sarker, S., Mahmud, S. M., Hossain, M. S., & Jahan, N. (2020). Design and implementation of a smart home automation system using fuzzy logic control. In 2020 11th nternational Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) (pp. 1-5). IEEE.

4. Kumar, V., Yadav, S., Sharma, S. K., & Tiwari, V. (2021). Fuzzy logic-based temperature control system using IoT. In 2021 2nd International Conference on Advances in Electrical, Computer and Communication Engineering (ICAECCE) (pp. 1-5). IEEE.

5. Ghosh, A., & Kavitha, S. (2018). Fuzzy logic-based temperature control system using Arduino. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 6(6), 6567-6573.

6. Anand, P., & Akash, G. (2020). Design and implementation of fuzzy logic-based temperature control system using IoT. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, 9(6), 237-242.

7. Roshan, N. S., & Jayakumar, N. (2021). Intelligent temperature control system using fuzzy logic and IoT. International Journal of Engineering Research & Technology, 10(4), 566-572.

8. Sarkar, S., Chakraborty, P., Ghosh, A., & Das, A. (2019). Design and implementation of a fuzzy logic-based temperature control system using Arduino. In 2019 2nd International Conference on Power, Energy and Environment: Towards Smart Technology (ICEPE), (pp. 16). IEEE.

9. Priyanka, P., Goyal, S., & Verma, A. (2020). Fuzzy logicbased temperature control system using Arduino. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 9(6), 18282-18289.

10. Rahman, M. S., Arafat, M. Y., & Nahid, M. A. (2022). Fuzzy logic-based temperature control system using IoT. In 2022 5th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (iCEEiCT) (pp. 1-6). IEEE.