

SISTEM PEMANTAUAN KONSUMSI LISTRIK RUMAH TANGGA DENGAN LOGIKA FUZZY BERBASIS INTERNET OF THINGS

Raisha Kintan Kamila, Luh Krisnawati^{*)} dan Ni Putu Devira Ayu Martini

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
Jl. R.S. Fatmawati Raya, Pondok Labu, Cilandak, Kota Jakarta Selatan

^{*)}E-mail: luhkrisnawati@upnvj.ac.id

Abstrak

Energi listrik merupakan kebutuhan esensial dalam kehidupan sehari-hari, terutama dengan semakin kompleksnya penggunaan listrik di rumah tangga. Konsumsi listrik yang tidak terkendali dapat meningkatkan biaya serta berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengelolaan penggunaan listrik menjadi sangat penting. Dengan alasan ini, kami mengembangkan sebuah alat untuk memantau dan mengendalikan konsumsi listrik rumah tangga menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) berbasis *Fuzzy Logic*. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau penggunaan listrik secara *real-time* melalui perangkat *smartphone* dan memberikan rekomendasi terkait efisiensi energi. Penelitian ini menggunakan metode yang melibatkan pengembangan prototipe yang mampu membuat keputusan terkait tingkat konsumsi listrik dengan menggunakan *Fuzzy Logic*, serta modul IoT untuk memantau dan mengendalikan aliran listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat memberikan informasi konsumsi listrik secara akurat dan membantu pengguna dalam mengurangi pemborosan energi. Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan, hasil sensor tegangan dan arus dibandingkan dengan *Clamp meter* masing-masing memiliki akurasi sebesar 99.94% dan 94.37%. Melalui sistem pemantauan tingkat konsumsi listrik dan notifikasi, tingkat keberhasilan yang dicapai oleh algoritma *Fuzzy Logic* sebesar 100%. Dengan demikian, sistem ini berpotensi memberikan solusi efektif untuk pemantauan tingkat konsumsi listrik.

Kata kunci: konsumsi listrik, logika fuzzy, internet of things, pemantauan, kendali

Abstract

Electric energy is an essential need in daily life, especially with the increasing complexity of electricity usage in households. Uncontrolled electricity consumption can lead to higher costs and have negative impacts on the environment. Therefore, managing electricity usage is crucial. For this reason, we developed a tool to monitor and control household electricity consumption using Internet of Things (IoT) technology based on Fuzzy Logic. This system allows users to monitor electricity usage in real-time through a smartphone and provides recommendations related to energy efficiency. This study employed a method involving the development of a prototype capable of making decisions on electricity consumption levels using Fuzzy Logic, along with an IoT module to monitor and control electricity flow. The results of the study show that the developed system can accurately provide electricity consumption information and help users reduce energy waste. From several experiments conducted, the voltage and current sensor results compared to the Clamp meter showed an accuracy of 99.94% and 94.37%, respectively. Through the electricity consumption monitoring and notification system, the success rate achieved by the Fuzzy Logic algorithm was 100%. Thus, this system has the potential to provide an effective solution for monitoring electricity consumption levels.

Keywords: electricity consumption, fuzzy logic, internet of things, monitoring, controlling

1. Pendahuluan

Konsumsi listrik di sektor rumah tangga terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan hidup modern. Menurut laporan statistik PLN tahun 2022, sektor rumah tangga menyumbang persentase terbesar dalam penggunaan listrik di Indonesia yaitu 116.095,41 GWh atau sebesar 42,41% [1]. Penggunaan listrik yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pemborosan energi dan peningkatan biaya tagihan listrik. Oleh karena itu,

diperlukan suatu sistem yang mampu memantau dan mengendalikan konsumsi listrik secara efisien.

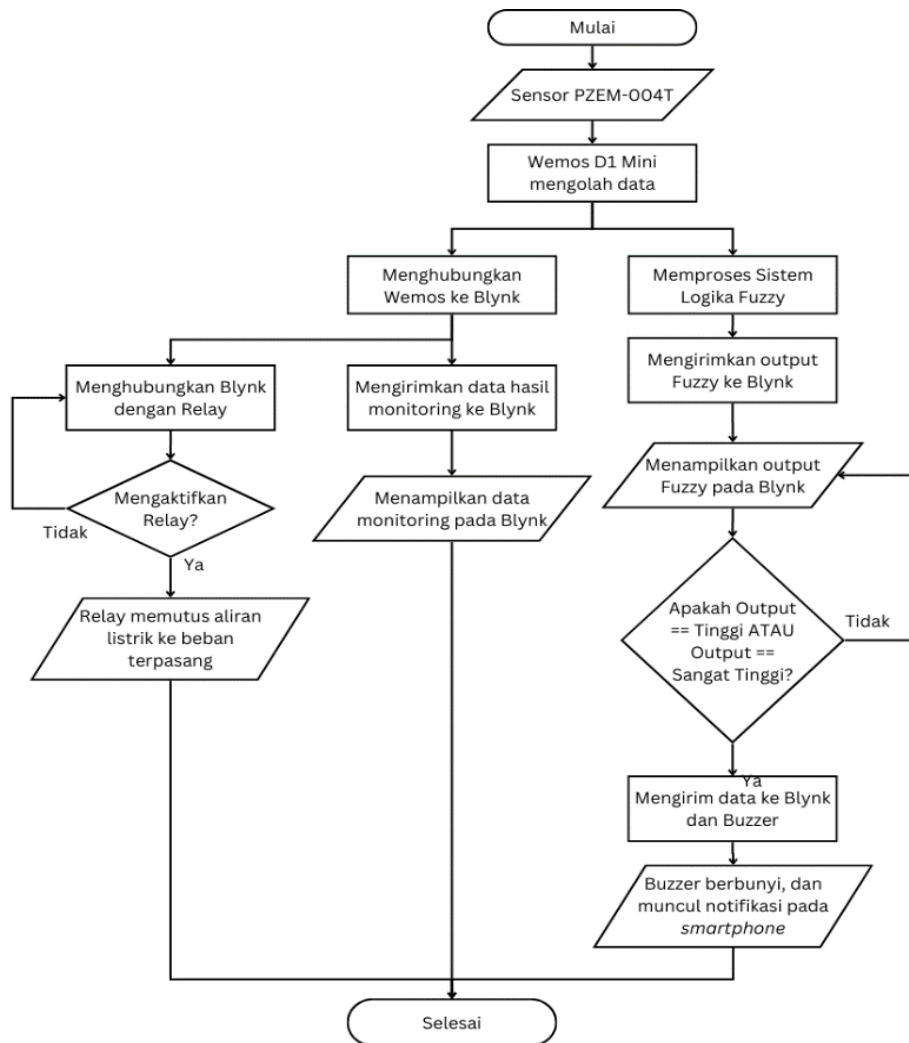
Penelitian sistem pemantauan dan pengendalian penggunaan daya listrik yang telah dilakukan menggunakan PZEM-004T dan Firebase [2], SCT-013-030 dan GSM SIM800L [3] telah menerapkan aplikasi pada *smartphone* pelanggan yang dapat memantau pemakaian daya listriknya. Penelitian terdahulu belum ada yang menerapkan logika fuzzy dalam memprediksi

penggunaan daya listrik. Penelitian ini menggabungkan konsep dari sistem pemantauan [2], [3] dan pengendalian [4], [5], [6] listrik berbasis *Internet of Things* dan prediksi penggunaan listrik rumah tangga dengan Logika Fuzzy [7]. Sistem yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu modul sensor PZEM-004T untuk mengukur konsumsi listrik, Wemos D1 Mini sebagai mikrokontroler yang dapat terhubung ke internet, dan modul relay untuk mengendalikan peralatan listrik.

Internet of Things (IoT) adalah konsep dimana benda-benda fisik (*things*) dapat terhubung ke pengguna melalui teknologi komunikasi [8]. Dalam kehidupan sehari-hari, IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian berbagai aspek seperti makanan, elektronik, koleksi, peralatan, dan bahkan organisme hidup. Dengan implementasi IoT, pengguna dapat mengakses data pemakaian listrik yang dihasilkan oleh sistem secara langsung melalui gawai yang telah terhubung ke Internet.

Untuk mempermudah keputusan dalam meningkatkan efisiensi konsumsi listrik, penerapan Logika Fuzzy dapat membantu pengguna memahami dan memprediksi pemakaian listrik berdasarkan data daya dan total energi rumah tangga [7]. Logika fuzzy merupakan suatu logika yang beroperasi dengan nilai antara benar dan salah, menggunakan bilangan real antara 0 dan 1 untuk menangani ketidakpastian informasi [9]. Dengan implementasi dari Logika Fuzzy, pelanggan dapat akan lebih mudah mengambil keputusan terkait pemakaian listrik mereka.

Diharapkan, dengan adanya pengembangan sistem ini dapat membantu pengguna dalam mengelola penggunaan listrik dengan lebih baik, sehingga dapat mengurangi pemborosan energi.



Gambar 1. Flowchart Sistem

2. Metode

Sistem dibagi menjadi tiga bagian, yaitu pemantauan, kendali, dan pengambil keputusan yakni *Fuzzy Logic* seperti yang ditunjukkan melalui *flowchart* sistem pada Gambar 1. Sistem pemantauan akan menampilkan data pengukuran listrik pada aplikasi Blynk, sementara sistem kendali mengatur arus listrik yang mengalir ke stop kontak perangkat elektronik. Terakhir, Sistem Fuzzy akan mengambil keputusan terkait status tingkat pemakaian listrik rumah tangga dan alarm jika pemakaian tinggi. Pada penelitian ini, dilakukan beberapa tahapan, diantaranya perancangan alat, pengujian, serta pengumpulan dan analisis data. Tahap perancangan alat terbagi menjadi dua, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*).

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Salah satu komponen *hardware* yang digunakan ialah sensor PZEM-004T. PZEM-004T merupakan modul sensor elektronik yang dirancang untuk mengukur berbagai parameter listrik dari beban yang terhubung. Modul ini mencakup sensor tegangan dan arus yang terintegrasi dan non-invasif, serta hanya ditujukan untuk penggunaan di dalam ruangan saja dan tidak boleh digunakan dengan beban yang melebihi batas daya yang ditentukan [5].

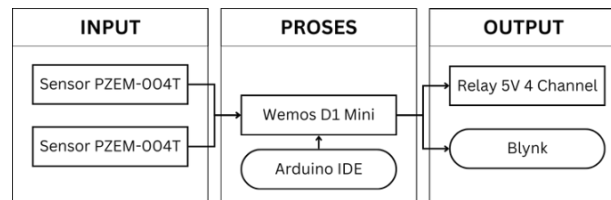
kondisi peralatan listrik dari jarak jauh. Diagram *Hardware* secara keseluruhan dapat dilihat melalui skematik rangkaian pada Gambar 2.

Adapun berikut adalah keterangan dari pin I/O yang digunakan pada rangkaian.

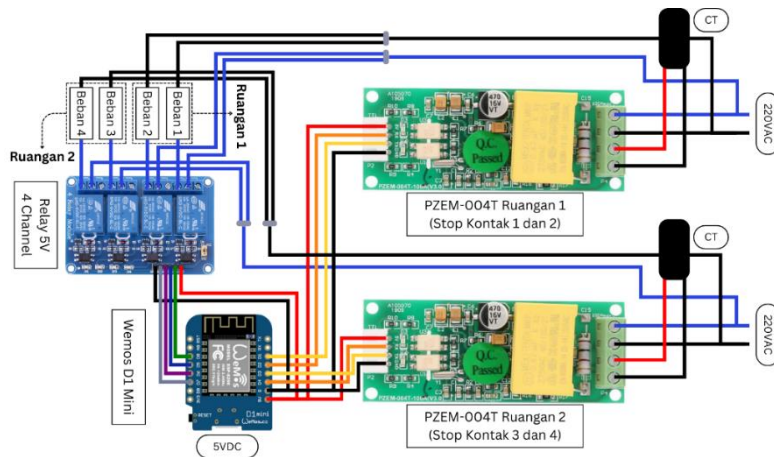
Tabel 1. Data Pin Rangkaian

PZEM-004T ke Wemos D1 Mini	
Pin TX Sensor 1	Pin D1 Wemos
Pin RX Sensor 1	Pin D2 Wemos
Pin TX Sensor 2	Pin D3 Wemos
Pin RX Sensor 2	Pin D4 Wemos
Relay 4 Channel ke Wemos D1 Mini	
Pin IN1 Relay	Pin D0 Wemos
Pin IN2 Relay	Pin D5 Wemos
Pin IN3 Relay	Pin D6 Wemos
Pin IN4 Relay	Pin D7 Wemos

2.2. Perancangan Perangkat Lunak



Gambar 3. Blok Diagram Sistem



Gambar 2. Skema Rangkaian Sistem

Selain itu, Wemos D1 Mini digunakan sebagai perangkat pemroses. Wemos D1 Mini merupakan mikrokontroler yang berbasis ESP8266, sehingga memungkinkan perangkat untuk terhubung ke Internet melalui koneksi WiFi [10].

Untuk fungsi pengendalian peralatan listrik, sistem ini memakai Relay 5V dengan 4 *channel*. Relay adalah komponen elektronik berupa saklar elektronik yang dikendalikan oleh arus listrik [11]. Relay digunakan untuk memutuskan dan menghubungkan arus listrik dari perangkat elektronik, sehingga pengguna dapat mengatur

Perangkat lunak yang digunakan pada sistem ini terdiri dari dua *platform* yang dapat dilihat pada blok diagram Gambar 3, yaitu Arduino IDE dan Blynk. Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis kode program, mengkompilasi (*compile*) menjadi kode biner, dan mengunggahnya (*upload*) ke dalam memori mikrokontroler [12]. Pada Arduino IDE, dilakukan komputasi terhadap Wemos D1 Mini agar dapat membaca data dari sensor PZEM-004T, serta menghubungkan perangkat ke Blynk untuk dapat melakukan sistem pemantauan dan pengendalian. Pada *software* ini juga dilakukan pemrograman logika fuzzy menggunakan bantuan *library* yang telah disediakan.

Software Blynk adalah aplikasi yang dapat diunduh secara gratis untuk iOS dan Android yang dapat digunakan untuk mengontrol perangkat dari jarak jauh, menampilkan data sensor, dan fungsi lainnya melalui koneksi Internet [13]. Blynk berperan sebagai antarmuka (*interface*) untuk menampilkan data hasil pengukuran besaran listrik yang dikirim oleh Arduino IDE. Selain itu, pengguna dapat mengendalikan perangkat listrik yang terhubung melalui sistem kontrol yang disediakan dalam aplikasi ini secara *real-time*.

2.3. Logika Fuzzy

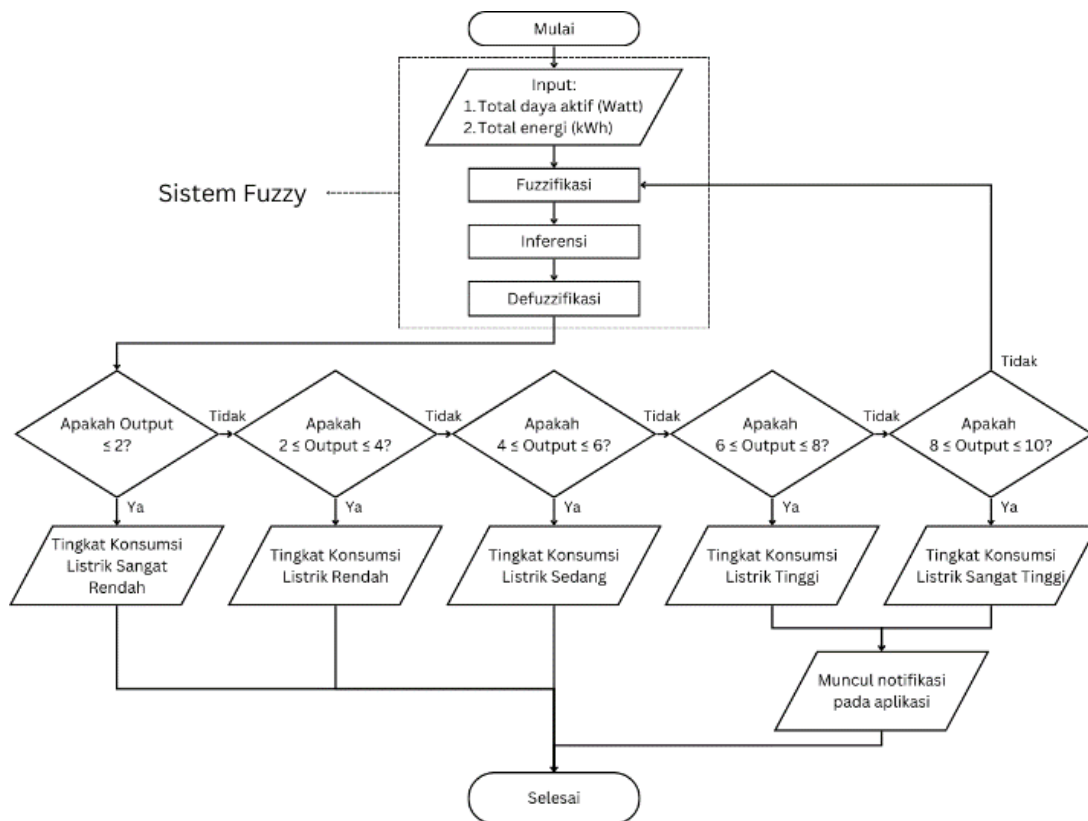
Implementasi Logika Fuzzy digunakan untuk mengetahui bagaimana tingkat konsumsi listrik pada suatu rumah tangga. Adapun metode Fuzzy yang diterapkan dalam sistem ini adalah metode *Mamdani Fuzzy Inference System* (MFIS). Logika Fuzzy terdiri dari tiga tahap, yaitu Fuzzifikasi, Inferensi, dan Defuzzifikasi. Fuzzifikasi adalah proses konversi nilai input crisp menjadi nilai fuzzy berupa variabel linguistik dan derajat keanggotaan berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan. Kemudian, tahap inferensi merupakan penalaran terhadap fakta atau pengetahuan yang ada untuk menghasilkan pengetahuan baru. Pada Fuzzy Mamdani, metode inferensi yang biasa digunakan ialah metode *MIN-MAX*. Sementara itu, tahap defuzzifikasi adalah proses konversi nilai output fuzzy menjadi nilai crisp kembali [14][15][16][17].

Terakhir, Defuzzifikasi mengubah hasil yang disimpulkan kembali menjadi nilai keluaran yang tegas. Berikut diagram alir dari proses Logika Fuzzy yang dibuat.

Seperti yang tertera pada diagram alir, Sistem Logika Fuzzy terdiri 2 variabel input yaitu Total Energi dan Total Daya Aktif, dan 1 variabel output yaitu Tingkat Konsumsi Listrik. Jika Tingkat Konsumsi Listrik Tinggi atau Sangat Tinggi, maka sistem akan memberikan notifikasi pada aplikasi yang telah dipasang di gawai pengguna. Berikut merupakan keterangan data dari sistem logika fuzzy yang telah berhasil dibuat.

Tabel 2. Variabel Himpunan Fuzzy

Variabel	Himpunan	Domain
Total Energi (kWh)	Sangat rendah	[0, 0, 0.5, 1]
	Rendah	[0.5, 1, 2, 2.5]
	Sedang	[2, 2.5, 3.5, 4]
	Tinggi	[3.5, 4, 5, 5.5]
	Sangat tinggi	[5, 5.5, 10, 10]
Total Daya Aktif (W)	Sangat rendah	[0, 0, 100, 150]
	Rendah	[100, 150, 250, 300]
	Sedang	[250, 300, 400, 450]
	Tinggi	[400, 450, 550, 600]
	Sangat tinggi	[550, 600, 900, 900]
Tingkat Konsumsi Listrik	Sangat rendah	[0, 1, 2]
	Rendah	[2, 3, 4]
	Normal	[4, 5, 6]
	Tinggi	[6, 7, 8]
	Sangat tinggi	[8, 9, 10]



Gambar 4. Flowchart Logika Fuzzy

Berdasarkan Tabel 2 diatas, fungsi keanggotaan Logika Fuzzy dapat dipaparkan sebagai berikut.

Total Energi

Variabel Total Energi memiliki range dari 0 sampai 10, dan terbagi menjadi 5 kategori yaitu Sangat rendah, Rendah, Sedang, Tinggi, dan Sangat tinggi.

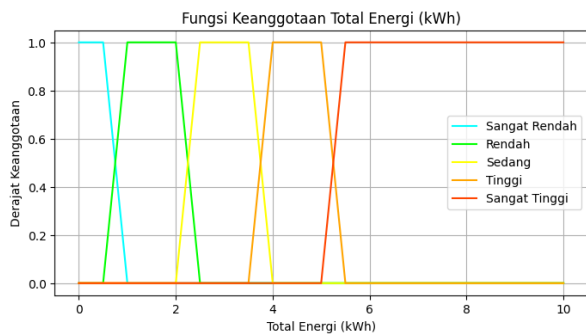
$$\mu_{Sangat\ rendah}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 0.5 \\ \frac{1-x}{1-0.5} & ; 0.5 \leq x \leq 1 \\ 0 & ; x \geq 1 \end{cases}$$

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 0.5 \text{ atau } x \geq 2.5 \\ \frac{x-0.5}{1-0.5} & ; 0.5 \leq x \leq 1 \\ 1 & ; 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{2.5-x}{2.5-2} & ; 2 \leq x \leq 2.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{2.5-2} & ; 2 \leq x \leq 2.5 \\ 1 & ; 2.5 \leq x \leq 3.5 \\ \frac{4-x}{4-3.5} & ; 3.5 \leq x \leq 4 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3.5 \text{ atau } x \geq 5.5 \\ \frac{x-3.5}{4-3.5} & ; 3.5 \leq x \leq 4 \\ 1 & ; 4 \leq x \leq 5 \\ \frac{5.5-x}{5.5-5} & ; 4 \leq x \leq 5.5 \end{cases}$$

$$\mu_{Sangat\ tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 5 \\ \frac{x-5}{5.5-5} & ; 5 \leq x \leq 5.5 \\ 1 & ; 5.5 \leq x \leq 10 \end{cases}$$



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Total kWh Total Daya Aktif

Variabel Total Daya Aktif memiliki range dari 0 sampai 900, dan juga terbagi menjadi 5 kategori yaitu Sangat rendah, Rendah, Sedang, Tinggi, dan Sangat tinggi.

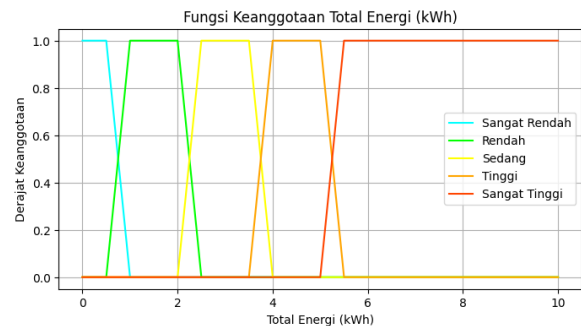
$$\mu_{Sangat\ rendah}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 100 \\ \frac{150-x}{150-100} & ; 100 \leq x \leq 150 \\ 0 & ; x \geq 150 \end{cases}$$

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 100 \text{ atau } x \geq 300 \\ \frac{x-100}{150-100} & ; 100 \leq x \leq 150 \\ 1 & ; 150 \leq x \leq 250 \\ \frac{400-x}{400-300} & ; 250 \leq x \leq 300 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 250 \text{ atau } x \geq 450 \\ \frac{x-250}{300-250} & ; 250 \leq x \leq 300 \\ 1 & ; 300 \leq x \leq 400 \\ \frac{450-x}{450-400} & ; 400 \leq x \leq 450 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 400 \text{ atau } x \geq 600 \\ \frac{x-400}{450-400} & ; 400 \leq x \leq 450 \\ 1 & ; 450 \leq x \leq 550 \\ \frac{600-x}{600-550} & ; 550 \leq x \leq 600 \end{cases}$$

$$\mu_{Sangat\ tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 550 \\ \frac{x-550}{600-550} & ; 550 \leq x \leq 600 \\ 1 & ; 600 \leq x \leq 900 \end{cases}$$

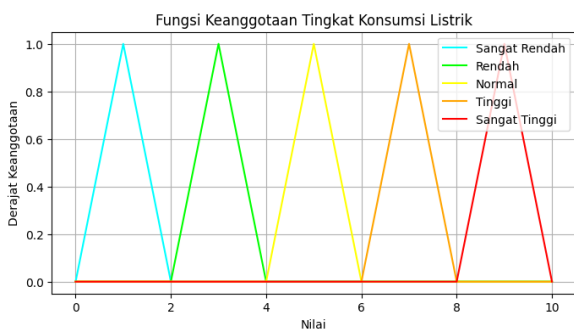


Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Total Daya Aktif Tingkat Konsumsi Listrik

Variabel output Tingkat Konsumsi Listrik memiliki skala dari 0 sampai 10, dan terbagi menjadi 5 kategori yaitu Sangat rendah, Rendah, Normal, Tinggi, dan Sangat tinggi.

$$\mu_{Sangat\ rendah}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 0 \text{ atau } x \geq 2 \\ \frac{x-0}{1-0} & ; 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & ; x = 1 \\ \frac{2-x}{2-1} & ; 1 \leq x \leq 2 \end{cases}$$

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{3-2} & ; 2 \leq x \leq 3 \\ 1 & ; x = 3 \\ \frac{4-x}{4-3} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ 0 & ; x \leq 4 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{x-4}{5-4} & ; 4 \leq x \leq 5 \\ 1 & ; x = 5 \\ \frac{6-x}{6-5} & ; 5 \leq x \leq 6 \\ 0 & ; x \leq 6 \text{ atau } x \geq 8 \\ \frac{x-6}{7-6} & ; 6 \leq x \leq 7 \\ 1 & ; x = 7 \\ \frac{8-x}{8-7} & ; 7 \leq x \leq 8 \\ 0 & ; x \leq 8 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{x-8}{9-8} & ; 8 \leq x \leq 9 \\ 1 & ; x = 9 \\ \frac{10-x}{10-9} & ; 9 \leq x \leq 10 \end{cases}$$



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Tingkat Konsumsi Listrik Aturan (Fuzzy Rules)

Fuzzy Rule untuk output fungsi keanggotaan tingkat konsumsi listrik ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Aturan Fuzzy

Total Daya Aktif (W)	Total Energi (kWh)				
	SR	R	N	T	ST
SR	SR	SR	R	N	T
R	SR	R	N	N	T
N	R	R	N	T	T
T	R	N	T	T	ST
ST	R	N	T	ST	ST

Keterangan:

SR : Sangat Rendah N : Normal
R : Rendah T : Tinggi
N : Normal ST : Sangat Tinggi

Defuzzifikasi

Metode defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *Center of Area (Centroid)*. Hasil defuzzifikasi dapat ditentukan dengan metode *Centroid* menggunakan persamaan berikut:

$$Z^* = \frac{\int z \cdot \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \quad (1)$$

Keterangan:

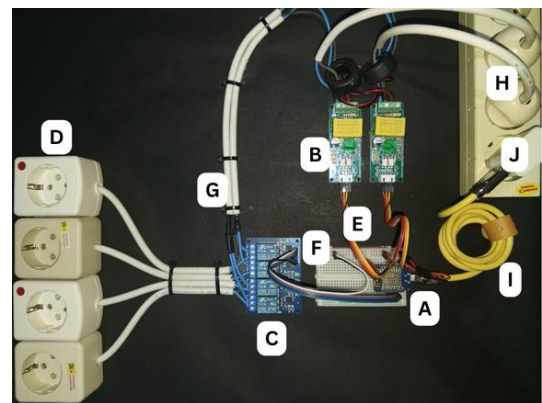
Z* : Output crisp hasil defuzzifikasi

z : Nilai variabel output Fuzzy

$\mu(z)$: Fungsi keanggotaan output Fuzzy

3. Hasil dan Analisa

Pembuatan alat dilakukan dengan merakit semua komponen *hardware* sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Berikut merupakan hasil dari perakitan alat.



Gambar 8. Hasil Perakitan Alat

Tabel 4. Daftar Komponen pada Sistem

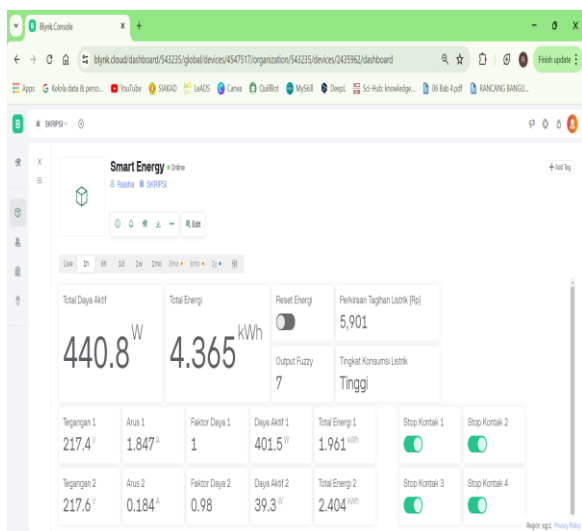
Kode	Komponen	Keterangan
A	Wemos D1 Mini	Tegangan Input: 5V Tegangan Input: 5V
B	PZEM-004T	Tegangan Maksimum: 260V/100A Tegangan Input: 5V/20mA
C	Relay 4 Channel	Tegangan Maksimum: 250V/10A
D	Stop kontak	Kapasitas: 250V Male to Male dan Male to Female
E	Kabel Jumper	Ukuran: 8.5x5.5 cm
F	Breadboard	Ukuran: 2x0,75mm
G	Kabel Listrik	Kapasitas: 250V/16A
H	Steker (Plug)	Panjang kabel 1 Meter
I	Kabel Micro USB	Tegangan Input: 100-240V, 50-60HZ Tegangan Output: 5V/1A
J	Adaptor 5V DC	Panjang kabel 1 Meter

Sementara itu, hasil perancangan *software* dilakukan menggunakan aplikasi Blynk. Berikut merupakan tampilan antarmuka dari *website* dan aplikasi Blynk.

Selanjutnya, pada tahap pengujian, hasil pengukuran dari sensor dibandingkan dengan pengukuran menggunakan Tang Ampere (*Clamp Meter*) yakni alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur arus listrik tanpa perlu memutuskan sirkuit atau membuat kontak langsung dengan konduktor. Pengujian dilakukan menggunakan lima jenis beban berbeda dengan total 20 kali pengujian. Adapun beban yang digunakan yaitu *Charger Handphone*, *Charger Laptop*, Kipas angin, *Rice cooker*, dan Setrika. Hasil pengujian menggunakan alat pembanding dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.



Gambar 9. Tampilan *Dashboard* pada Aplikasi Blynk



Gambar 10. Tampilan *Dashboard Website* Blynk



Gambar 11. Pengujian Akurasi Sensor

Berdasarkan hasil pengujian akurasi sensor, dikumpulkan data hasil pengujian untuk mengetahui seberapa besar akurasi dari alat jika dibandingkan dengan *Clamp Meter*. Data pengujian tegangan menggunakan sensor dibandingkan dengan *clamp meter* dapat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Pengujian Tegangan

Beban	Tegangan (V)		% Error
	Sensor	Clamp Meter	
Charger HP	227.3	227.1	0.09%
	227.4	227.2	0.09%
	227.4	227.3	0.04%
	227.2	227.2	0.00%
	228.8	228.7	0.04%
Charger Laptop	228.8	228.6	0.09%
	229.1	228.9	0.09%
	228.9	228.8	0.04%
	229.0	228.8	0.09%
Kipas Angin (Kecepatan 3)	229.2	228.9	0.13%
	229.4	229.2	0.09%
	229.4	229.3	0.04%
	229.6	229.5	0.04%
Rice Cooker (Warm)	229.7	229.7	0.03%
	229.9	229.9	0.01%
	230.2	230.4	0.09%
	220.1	219.9	0.09%
Setrika	220.2	219.9	0.14%
	220.3	220.3	0.00%
	220.2	220.1	0.05%
	Rata-rata Error		0.06%
Persentase Akurasi		99.94%	

Hasil pengujian tegangan menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki nilai error yang sangat kecil, dengan rata-rata sebesar 0,06%. Akurasi ini menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan sangat baik, dengan tingkat keakuratan mencapai 99,94%. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [2], [5], [6], yang menandakan adanya peningkatan signifikan dalam performa pengukuran tegangan. Dengan tingkat error yang sangat rendah, sensor PZEM-004T dapat diandalkan dalam aplikasi pemantauan konsumsi listrik. Hal ini semakin memperkuat validitas sistem secara keseluruhan, di mana data yang dihasilkan sangat mendekati nilai aktual, sehingga mendukung implementasi yang lebih presisi dan efisien dalam sistem kendali listrik rumah tangga.

Hasil pengujian arus menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki nilai error yang cukup kecil, dengan rata-rata sebesar 5,63%. Meskipun ada sedikit perbedaan dalam pengukuran, akurasi sensor masih tergolong sangat tinggi, mencapai 94,37%. Tingkat akurasi ini lebih besar dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [2], [6], yang mengindikasikan peningkatan performa sensor dalam mengukur arus. Meskipun error yang dihasilkan lebih besar dibandingkan pengujian tegangan, nilai ini tetap berada dalam batas yang dapat diterima untuk penggunaan praktis. Dengan akurasi ini, sensor PZEM-004T dapat diandalkan dalam pemantauan arus listrik, mendukung keandalan sistem kendali secara keseluruhan dalam aplikasi IoT dan pemantauan konsumsi listrik rumah tangga.

Tabel 6. Data Pengujian Arus

Beban	Arus (A)		% Error
	Sensor	Clamp Meter	
Charger HP	0.086	0.084	2.38%
	0.084	0.083	1.20%
	0.083	0.082	1.22%
	0.082	0.080	2.50%
	0.463	0.462	0.22%
Charger Laptop	0.464	0.460	0.87%
	0.482	0.485	0.62%
	0.477	0.474	0.63%
Kipas Angin (Kecepatan 3)	0.192	0.168	14.29%
	0.192	0.168	14.29%
	0.190	0.164	15.85%
	0.191	0.164	16.46%
	0.260	0.289	10.03%
Rice Cooker (Warm)	0.261	0.287	9.06%
	0.259	0.287	9.76%
	0.263	0.291	9.62%
Setrika	1.634	1.619	0.93%
	1.625	1.613	0.74%
	1.625	1.610	0.93%
	1.622	1.607	0.93%
Rata-rata Error		5.63%	
Persentase Akurasi		94.37%	

Selanjutnya yaitu pengujian sistem pemantauan, termasuk Fuzzy dan Notifikasi. Dilakukan pengujian selama 20 jam dengan menggunakan 4 buah beban, yaitu Kipas Angin, Charger HP, Rice Cooker, dan Charger Laptop.

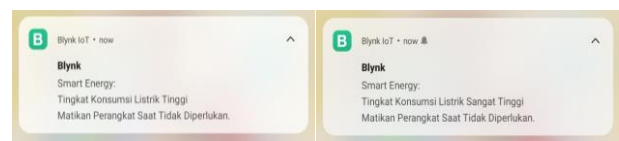
Tabel 7. Data Pengujian Sistem Pemantauan

Jam ke-	Total Daya Aktif (W)	Total Energi (kWh)	Biaya	Tingkat Konsumsi Listrik	Notifikasi	Keterangan
2	452.96	0.331	Rp 447	Normal	Tidak ada	Sesuai
4	442.32	1.11	Rp 1,500	Normal	Tidak ada	Sesuai
6	452.48	1.992	Rp 2,693	Normal	Tidak ada	Sesuai
8	457.94	2.897	Rp 3,915	Tinggi	Ada	Sesuai
10	55.66	3.415	Rp 4,616	Rendah	Tidak ada	Sesuai
12	64.77	3.553	Rp 4,804	Rendah	Tidak ada	Sesuai
14	455.92	4.195	Rp 5,672	Tinggi	Ada	Sesuai
16	42.29	4.688	Rp 6,338	Normal	Tidak ada	Sesuai
18	425.77	5.412	Rp 7,317	Sangat Tinggi	Ada	Sesuai
20	474.22	5.702	Rp 7,708	Sangat Tinggi	Ada	Sesuai

Tabel 7 menunjukkan data pengujian sistem pemantauan. Pengguna dapat memantau tingkat konsumsi listrik rumah tangga secara *real time* pada notifikasi di *smartphone*. Pengambilan keputusan tersebut ditentukan menggunakan algoritma *fuzzy logic*. Dimana terdapat 2 input yaitu menggunakan total daya aktif dan total energi, sehingga dapat menghasilkan besaran biaya yang dapat dikategorikan sebagai Sangat Rendah, Rendah, Normal, Tinggi dan Sangat Tinggi. *Output* klasifikasi tingkat konsumsi listrik menggunakan algoritma fuzzy dibandingkan dengan pemberitahuan yang muncul mencapai 100% sesuai. Data pengujian kesesuaian sistem pemantauan tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 7.

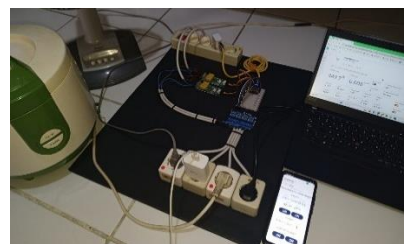
Selanjutnya, dilakukan juga pengujian sistem kendali. Percobaan dilakukan dengan memutus dan menghubungkan aliran listrik pada stop kontak melalui *button* pada aplikasi Blynk. Uji coba dilakukan dengan pola yang berbeda.

Adapun tampilan notifikasi pada Aplikasi Blynk yang menunjukkan tingkat konsumsi listrik dan tindakan yang perlu dilakukan dapat ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tampilan *Push-up Notification*

Selain itu, dilakukan juga penghitungan waktu tunda (*delay*) dari sistem kendali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Dokumentasi Pengujian

Berdasarkan hasil percobaan menggunakan 4 stopkontak, data pengujian waktu tunda menunjukkan bahwa waktu tunda paling kecil adalah 1,35 detik dan waktu tunda paling lama adalah 2,40 detik, dengan rata-rata waktu tunda sebesar 1,84 detik. Jadi periode waktu yang dibutuhkan relai mengaktifkan atau menonaktifkan sirkuitnya setelah menerima sinyal input rata-rata untuk keempat relai tersebut adalah 1,84 detik, baik untuk kondisi waktu tunda on ataupun waktu tunda off. Waktu tunda ini tergolong kecil dan dapat diterima untuk sistem kendali. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kendali pada perangkat ini bekerja dengan efisien, dengan respon yang cepat terhadap perintah. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [6], waktu tunda yang dicapai dalam pengujian ini lebih singkat, menandakan peningkatan kinerja sistem. Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa sistem kendali pada perangkat ini berjalan dengan baik, ditandai dengan berhasilnya semua percobaan dan waktu tunda yang singkat, yang secara signifikan meningkatkan pengalaman pengguna dan efisiensi kontrol perangkat.

kendala di area dengan sinyal yang lemah atau tidak stabil. Ketiga, sistem kendali real-time melalui aplikasi juga perlu diuji lebih lanjut dalam skala penggunaan yang lebih besar untuk memastikan performa tetap optimal.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar dilakukan peningkatan akurasi sensor pada pengukuran arus dengan mengkalibrasi ulang sensor atau menambahkan algoritma koreksi error. Selain itu, integrasi dengan teknologi jaringan yang lebih stabil, seperti menggunakan protokol MQTT atau jaringan lokal (LAN), dapat meningkatkan keandalan sistem saat terjadi gangguan internet. Pengembangan fitur tambahan, seperti analisis historis konsumsi listrik atau integrasi dengan perangkat smart home lainnya, juga dapat memperluas fungsionalitas sistem dan meningkatkan kenyamanan pengguna dalam mengelola konsumsi listrik rumah tangga secara efisien.

Tabel 8. Data Pengujian Waktu Tunda

Relay	Percobaan 1 (s)		Percobaan 2 (s)		Percobaan 3 (s)		Rata-rata (s)
	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	
Relay 1	1,28	0,90	1,60	2,32	1,66	2,35	1,69
Relay 2	0,63	0,97	2,72	2,65	3,61	3,83	2,40
Relay 3	1,01	0,80	1,20	0,70	0,84	3,53	1,35
Relay 4	0,68	1,30	1,36	2,22	2,16	3,93	1,94
Rata-rata waktu tunda (s)							1.84

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai Sistem Pemantauan dan Kendali Konsumsi Listrik Rumah Tangga dengan Logika Fuzzy dan Internet of Things, dapat disimpulkan bahwa sistem ini berhasil dirancang dengan baik. Sistem ini dapat memantau konsumsi listrik menggunakan sensor PZEM-004T, dan mengirimkan data ke Wemos D1 Mini untuk diproses dengan algoritma Logika Fuzzy dan ditampilkan pada aplikasi Blynk, termasuk fitur notifikasi jika konsumsi listrik tinggi. Selain pemantauan, pengguna juga dapat mengendalikan perangkat listrik secara real-time melalui Blynk. Pengujian menunjukkan tingkat akurasi tinggi, dengan sensor PZEM-004T mencapai 99,94% untuk pengukuran tegangan dan 91,84% untuk arus, serta sistem Logika Fuzzy yang berhasil dan kendali yang bekerja secara real-time, menjadikan sistem ini andal untuk pemantauan dan pengendalian konsumsi listrik rumah tangga.

Namun, sistem ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, akurasi pengukuran arus masih menunjukkan nilai error yang cukup signifikan pada beban tertentu, seperti kipas angin dan rice cooker, yang dapat mempengaruhi hasil pemantauan dalam kondisi penggunaan beban yang lebih kompleks. Kedua, ketergantungan sistem pada koneksi internet yang stabil untuk mengirimkan data ke aplikasi Blynk dapat menjadi

Referensi

- [1]. PT PLN (Persero), "Statistik PLN 2022," 2023.
- [2]. J. W. Jokanan, A. Widodo, N. Kholis, dan L. Rakhmawati, "Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase dan Aplikasi," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, hlm. 47–55, 2022, doi: 10.26740/jte.v11n1.p47-55.
- [3]. H. Msimbe, D. Wilson, J. Salim, dan F. Rwegoshora, "Development of IoT-Based System for Monitoring Electrical Energy Consumption of the Smart and Rental Houses in Tanzania International Journal of Advances in Scientific Development of IoT-Based System for Monitoring Electrical Energy Consumption of the Sma," *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (ijasre)*, vol. 8, no. August, 2022, doi: 10.31695/IJASRE.2022.8.8.1.
- [4]. Suhanto, A. S. Prabowo, R. I. Sudjoko, dan W. Suryono, "The Electrical Energy Usage of Monitoring System at Real-Time Using IoT as the Primary Policy of Energy Efficiency," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/909/1/012009.
- [5]. I. Dwisaputra, Y. Yudhi, K. Anggrainy, dan S. Novaldy, "Kontrol dan Monitoring Stop Kontak Berbasis Android," *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, vol. 4, no. 1, hlm. 23, 2021, doi: 10.24853/resistor.4.1.23-28.
- [6]. D. A. Nugraha, "Telegram Application for Monitoring , Controlling and Protecting the Consumption of Household Electrical Appliances," vol. 15, no. 1, hlm. 1–10, 2023.

- [7]. H. Suprpto dan P. Simanjuntak, "Fuzzy Logic Untuk Memprediksi Pemakaian Listrik," *Jurnal Comasie*, vol. 3, no. 2, hlm. 31–39, 2020.
- [8]. A. G. Prawiyogi dan A. S. Anwar, "Perkembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Energi : Sistematis Literatur Review," *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan dan Teknologi Informasi*, vol. 1, no. 2, hlm. 187–197, 2023, doi: 10.34306/mentari.v1i2.254.
- [9]. B. Setia dan A. Ramadhan, "Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Cerdas," *Jurnal Sistem Cerdas*, vol. 2, no. 1, hlm. 61–66, 2019, doi: 10.37396/jsc.v2i1.18.
- [10]. H. H. Abrianto, K. Sari, dan Irmayani, "Sistem Monitoring Dan Pengendalian Data Suhu Ruang Navigasi Jarak Jauh Menggunakan WEMOS D1 Mini," *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, hlm. 38–49, 2021.
- [11]. M. A. Pratama dan C. Bella, "Perencanaan Program Kendali Alat Elektronik Rumah Tangga," *Portaldata.org*, vol. 1, no. 3, hlm. 1–22, 2021.
- [12]. P. Sokibi dkk., "Perancangan Prototype Sistem Peringatan," vol. 10, no. 1, hlm. 11–22, 2020.
- [13]. T. Sulistyorini, N. Sofi, dan E. Sova, "Pemanfaatan Nodemcu Esp8266 Berbasis Android (Blynk) Sebagai Alat Mematikan Dan Menghidupkan Lampu," *Jurnal Ilmiah Teknik*, vol. 1, no. 3, hlm. 40–53, 2022, doi: 10.56127/juit.v1i3.334.
- [14]. Asriyanik dan K. Tarwati, "Metode Fuzzy Logic Untuk Penentuan Kelayakan Penerima Beasiswa Mahasiswa Di Universitas Muhammadiyah Sukabumi," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 1, no. 2, hlm. 56, 2020.
- [15]. P. Dimitroulis and M. Alamaniotis, "A fuzzy logic energy management system of on-grid electrical system for residential prosumers," *Electric Power Systems Research*, vol. 202, p. 107621, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107621>.
- [16]. Z. A. Shah, H. F. Sindi, A. Ul-Haq, and M. A. Ali, "Fuzzy logic-based direct load control scheme for air conditioning load to reduce energy consumption," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 117413–117427, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3005054.
- [17]. B. Wu, T. Cheng, T. L. Yip, and Y. Wang, "Fuzzy logic based dynamic decision-making system for intelligent navigation strategy within inland traffic separation schemes," *Ocean Engineering*, vol. 197, p. 106909, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106909>.