

CESS

(Journal of Computer Engineering, System and Science)

Available online: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>

ISSN: 2502-714x (Print) | ISSN: 2502-7131 (Online)



Implementasi *Internet of Thing (IoT)* untuk Monitoring dan Kontrol Energi Listrik Rumah Tangga Menggunakan Fuzzy Tsukamoto

Implementation of Internet of Thing (IoT) for Monitoring and Controlling Household Electricity Using Fuzzy Tsukamoto

Fadhlun Nazry Luthfy^{1*}, Rakhmat Kurniawan R²

^{1,2}Ilmu Komputer, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia
Jl. Lapangan Golf Tuntungan, Pancur Batu, Deliserdang

Email: ¹fadhlunnazryluthfy1@gmail.com, ²rakhmat.kr@uinsu.ac.id

**Corresponding Author*

ABSTRAK

Peningkatan konsumsi energi listrik rumah tangga dan minimnya informasi konsumsi secara *real-time* menyebabkan penggunaan listrik yang tidak efisien serta berpotensi menimbulkan risiko keselamatan instalasi. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan dan pengendalian energi listrik yang cerdas, adaptif, dan dapat diakses dari jarak jauh. Penelitian ini mengimplementasikan sistem *Internet of Things (IoT)* untuk monitoring dan kontrol energi listrik rumah tangga menggunakan algoritma Fuzzy Tsukamoto. Akuisisi data tegangan, arus, dan daya dilakukan secara *real-time* menggunakan sensor PZEM-004T yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data dianalisis menggunakan logika Fuzzy Tsukamoto untuk menentukan kondisi beban listrik, kemudian sistem secara otomatis mengendalikan *relay* sebagai mekanisme proteksi. Sistem dilengkapi dengan platform Blynk untuk pemantauan dan kontrol jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur parameter listrik dengan tingkat akurasi yang tinggi, ditandai dengan deviasi kesalahan pengukuran tegangan, arus, dan daya di bawah 5% dibandingkan alat ukur referensi. Sistem juga mampu mendeteksi kondisi beban tidak normal dan melakukan pemutusan suplai listrik secara otomatis dan manual. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan algoritma Fuzzy Tsukamoto sebagai sistem pengambilan keputusan adaptif dalam monitoring dan kontrol energi listrik rumah tangga berbasis IoT, yang tidak hanya meningkatkan keamanan instalasi listrik, tetapi juga mendukung efisiensi energi dan pencegahan kerusakan perangkat listrik.

Kata Kunci: *Internet of Things; Monitoring; Beban Listrik; Fuzzy Tsukamoto.*



ABSTRACT

The increasing consumption of household electrical energy, combined with the lack of real-time consumption information, leads to inefficient electricity usage and poses potential risks to electrical installation safety. Therefore, an intelligent, adaptive, and remotely accessible energy monitoring and control system is required. This study implements an *Internet of Things* (IoT)-based system for monitoring and controlling household electrical energy using the Fuzzy Tsukamoto algorithm. Real-time acquisition of voltage, current, and power data is performed using a PZEM-004T sensor integrated with an ESP32 microcontroller. The acquired data are analyzed using Fuzzy Tsukamoto logic to determine electrical load conditions, after which the system automatically controls a relay as a protection mechanism. The system is also integrated with the Blynk platform to support remote monitoring and control. Experimental results demonstrate that the proposed system achieves high measurement accuracy, with voltage, current, and power measurement errors below 5% compared to reference measuring instruments. In addition, the system is capable of detecting abnormal load conditions and performing both automatic and manual power disconnection. The contribution of this research lies in the application of the Fuzzy Tsukamoto algorithm as an adaptive decision-making mechanism in an IoT-based household energy monitoring and control system, which enhances electrical installation safety, improves energy efficiency, and prevents damage to electrical devices.

Keywords: *Internet of Things; Monitoring; Electricity Load; Tsukamoto Fuzzy.*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merepresentasikan kebutuhan fundamental yang sangat substansial dalam kehidupan sehari-hari manusia modern. Hampir seluruh aktivitas manusia bergantung pada pemanfaatan energi listrik, khususnya pada sektor perumahan yang menggunakan listrik untuk pencahayaan hingga pengoperasian berbagai peralatan elektronik seperti kulkas, televisi, dan mesin cuci. Tingginya ketergantungan terhadap energi listrik sering kali mendorong terjadinya konsumsi yang berlebihan dan tidak efisien. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada meningkatnya biaya penggunaan energi, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon serta eksploitasi sumber daya energi yang terbatas. Oleh karena itu, keberadaan sistem yang mampu memantau penggunaan energi listrik secara efektif dan efisien menjadi sangat penting untuk membantu pengguna dalam mengontrol konsumsi energi listrik [1].

Pemerintah Indonesia terus berupaya meningkatkan rasio konsumsi energi listrik per kapita sejak tahun 2017. Pada tahun 2023, konsumsi listrik per kapita mencapai 1.285 kWh, meningkat dibandingkan 1.173 kWh pada tahun sebelumnya. Meskipun demikian, sebagian besar pelanggan masih belum memiliki akses terhadap informasi konsumsi listrik secara *real-time*. Umumnya, pengguna baru mengetahui besaran konsumsi energi pada saat melakukan pembayaran tagihan listrik, sehingga keterbatasan informasi ini sering mengakibatkan pemborosan energi dan peningkatan biaya listrik. Dengan adanya sistem pemantauan konsumsi energi secara langsung, pengguna diharapkan dapat mengelola penggunaan listrik dengan lebih optimal dan efisien [2].

Internet of Things (IoT) merupakan salah satu teknologi yang memiliki potensi besar dalam menyediakan solusi terhadap permasalahan pemantauan dan pengendalian energi listrik. IoT memungkinkan perangkat fisik untuk saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet, sehingga proses monitoring dan kontrol dapat dilakukan secara otomatis dan *real-time*. Selain itu, teknologi IoT memungkinkan pengendalian sistem dari jarak jauh tanpa interaksi langsung, menjadikannya solusi yang efektif untuk implementasi sistem monitoring dan kontrol energi listrik pada instalasi rumah tangga [3].

Beberapa penelitian terkait monitoring energi listrik berbasis IoT telah dilakukan sebelumnya. Ainur Rofiq [4] mengimplementasikan sistem monitoring energi listrik menggunakan logika Fuzzy Mamdani pada perangkat ESP8266 dengan sensor ACS712 dan PZEM-004T, serta menampilkan data melalui LCD dan aplikasi Blynk. Sementara itu, Muzakir [1] mengembangkan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT menggunakan Fuzzy Logic Sugeno, Firebase, dan ESP8266 dengan tampilan data pada platform Android. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi teknologi IoT dan logika fuzzy mampu meningkatkan efektivitas sistem pemantauan energi listrik.

Namun demikian, penelitian terdahulu masih memiliki beberapa keterbatasan. Metode Fuzzy Mamdani umumnya menghasilkan keluaran berbentuk linguistik dan memerlukan proses defuzzifikasi agregatif yang relatif kompleks, sehingga kurang optimal untuk pengambilan keputusan yang cepat pada sistem kontrol *real-time*. Sementara itu, metode Fuzzy Sugeno lebih bergantung pada model matematis linier pada bagian konsekuennya, yang dapat mengurangi fleksibilitas sistem dalam menghadapi variasi kondisi beban listrik rumah tangga. Selain itu, sebagian penelitian belum secara optimal menekankan mekanisme pengambilan keputusan otomatis yang responsif terhadap kondisi beban tidak normal sebagai sistem proteksi instalasi listrik.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian ini mengimplementasikan metode Fuzzy Tsukamoto pada sistem monitoring dan kontrol energi listrik rumah tangga berbasis IoT. Metode Fuzzy Tsukamoto memiliki karakteristik konsekuen berbentuk nilai crisp pada setiap aturan fuzzy, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tegas, adaptif, dan responsif terhadap perubahan kondisi beban listrik secara *real-time*. Penelitian ini merancang sistem menggunakan sensor PZEM-004T sebagai akuisisi data, mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, serta platform Blynk sebagai antarmuka pemantauan dan kontrol jarak jauh. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik sekaligus memperkuat aspek keamanan instalasi listrik rumah tangga melalui mekanisme kontrol otomatis berbasis Fuzzy Tsukamoto.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Kajian ini diinisialisasi melalui tahap pemahaman mendalam dan komprehensif terhadap permasalahan substansial yang ingin diselesaikan, yakni implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk melaksanakan operasi *supervisory monitoring* dan mekanisme pengendalian terhadap parameter konsumsi energi listrik melalui penerapan algoritma fuzzy Tsukamoto sebagai sistem pengambilan keputusan adaptif.

Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi efisiensi penggunaan energi listrik dengan mengintegrasikan Fuzzy Tsukamoto dan memberikan kontrol yang lebih akurat dan adaptif terhadap konsumsi energi. Tahapan-tahapan metodologi penelitian yang dilaksanakan mencakup:

1) Analisis Kebutuhan Sistem

Dilaksanakan proses analisis kebutuhan (*requirement analysis*) untuk mengidentifikasi dan menspesifikasi kebutuhan-kebutuhan sistem yang akan dikonstruksikan, mencakup tipologi data yang diperlukan, level akurasi dan presisi yang diexpektasikan, serta faktor-faktor kendala dan limitasi yang potensial akan dihadapi dalam Implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) guna memfasilitasi pelaksanaan operasi *supervisory monitoring* dan mekanisme pengendalian sistem secara terintegrasi terhadap parameter konsumsi energi listrik melalui penerapan algoritma fuzzy Tsukamoto.

2) Perancang Konsep

Sistem infrastruktur *Internet of Things* (IoT) untuk *supervisory monitoring* dan regulatory control terhadap konsumsi energi elektrik berbasis paradigma logika fuzzy model Tsukamoto memanfaatkan sensor untuk mengukur konsumsi energi secara *real-time*. Data dianalisis melalui algoritma fuzzy, yang memungkinkan pengambilan keputusan cerdas untuk mengoptimalkan penggunaan listrik. Pengguna dapat memantau dan mengontrol penggunaan energi secara jarak jauh melalui antarmuka yang intuitif.

3) Pengembangan Prototipe

Pengembangan prototipe IoT untuk monitoring dan kontrol energi listrik menggunakan Fuzzy Tsukamoto melibatkan pemasangan sensor untuk mengukur konsumsi daya. Data dikirim ke mikrokontroler yang menganalisis informasi dengan algoritma fuzzy. Hasilnya, pengguna dapat memantau dan mengatur penggunaan listrik melalui aplikasi, meningkatkan efisiensi energi secara *real-time*.

4) Evaluasi & Perbaiki

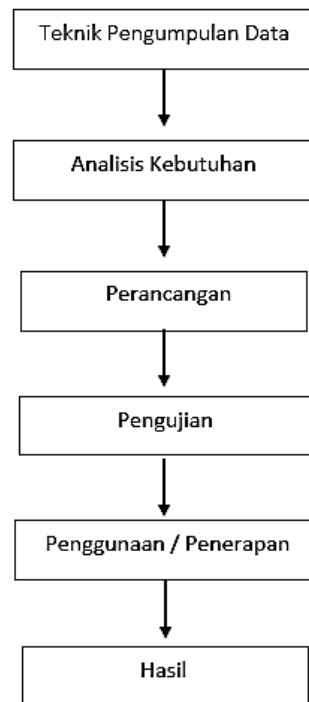
Evaluasi sistem IoT untuk monitoring energi listrik mencakup analisis kinerja, akurasi data, dan pengalaman pengguna. Perbaikan meliputi optimasi algoritma fuzzy, kalibrasi sensor, peningkatan antarmuka, dan solusi cadangan jaringan. Uji coba dan pengumpulan umpan balik pengguna akan membantu meningkatkan fungsi dan efisiensi sistem secara keseluruhan.

5) Validasi

Validasi implementasi IoT untuk monitoring dan kontrol energi listrik melibatkan pengujian akurasi data sensor, kecepatan respons sistem, dan efektivitas algoritma fuzzy Tsukamoto. Pengujian lapangan dilakukan untuk memastikan konsistensi hasil.

6) Implementasi & Diseminasi

Untuk implementasi dan diseminasi IoT dalam monitoring dan kontrol energi listrik, gunakan sistem berbasis fuzzy Tsukamoto. Sensor mengumpulkan data konsumsi listrik, sementara algoritma fuzzy menganalisis data untuk mengoptimalkan penggunaan energi. Hasilnya, pengguna dapat mengontrol dan memantau penggunaan energi secara berkelanjutan dalam mode *real-time* melalui antarmuka aplikasi berbasis teknologi web atau perangkat *mobile* yang *user-friendly*.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.2 Rencana Pembahasan

2.2.1 Teknik Pengumpulan Data

1) Penelitian Perpustakaan

Dalam fase investigasi bibliografis ini, peneliti melakukan akuisisi sistematis terhadap koleksi jurnal ilmiah dan literatur elektronik (*e-book*) untuk memperoleh fondasi teoritis yang komprehensif serta referensi-referensi akademik dari beragam artikel dan publikasi jurnal yang tersedia dalam basis data *online* dan repositori digital.

2) Studi Literatur

Metodologi studi literatur mengkomparasikan beragam prosedur dan aktivitas investigatif, mencakup operasi pengumpulan dan inventarisasi bibliografi, proses membaca kritis dan dokumentasi sistematis terhadap temuan-temuan

3) Pengamatan

Observasi ini membahas implementasi IoT untuk monitoring dan kontrol energi listrik menggunakan Fuzzy Tsukamoto, yang memungkinkan pengumpulan data *real-time* dan pengambilan keputusan efisien untuk optimasi energi.

2.2.2 Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan sistem dilakukan untuk mengidentifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam pengembangan sistem monitoring dan kontrol energi listrik rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT). Kebutuhan sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan secara *real-time*, meliputi tegangan, arus, dan daya listrik pada instalasi rumah tangga.

Data hasil pengukuran sensor ini menjadi masukan utama bagi sistem dalam proses pengambilan keputusan.

2) Mikrokontroler ESP32

ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama sistem yang bertugas memproses data dari sensor PZEM-004T, menjalankan algoritma Fuzzy Tsukamoto, serta mengirimkan data monitoring ke platform IoT melalui koneksi internet.

3) Algoritma Fuzzy Tsukamoto

Algoritma Fuzzy Tsukamoto digunakan sebagai mekanisme pengambilan keputusan adaptif untuk menentukan kondisi beban listrik berdasarkan nilai arus dan daya yang terukur. Hasil keputusan algoritma ini digunakan untuk mengendalikan sistem proteksi secara otomatis.

4) Relay

Relay berfungsi sebagai aktuator yang mengendalikan suplai listrik ke beban. Relay akan memutus atau menyambungkan aliran listrik berdasarkan keputusan yang dihasilkan oleh algoritma Fuzzy Tsukamoto, baik secara otomatis maupun manual.

5) LCD 20x4

LCD 20x4 digunakan sebagai media tampilan lokal untuk menampilkan informasi parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, serta status sistem secara *real-time*.

6) Platform Blynk

Platform Blynk digunakan sebagai antarmuka berbasis aplikasi mobile untuk menampilkan data monitoring energi listrik secara *real-time* serta memungkinkan pengguna melakukan pengendalian sistem dari jarak jauh.

7) Arduino IDE

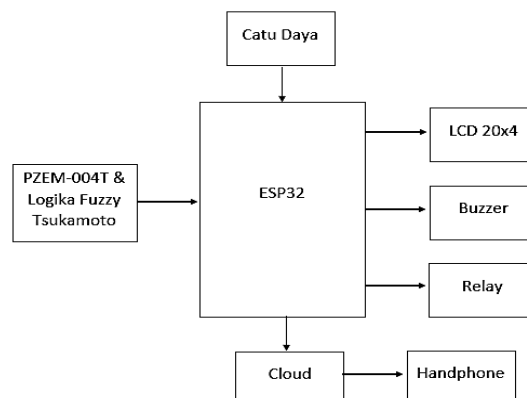
Arduino IDE digunakan sebagai lingkungan pengembangan perangkat lunak untuk menulis, mengunggah, dan mengelola program pada mikrokontroler ESP32, termasuk implementasi algoritma Fuzzy Tsukamoto.

8) Catu Daya (Power Supply)

Catu daya digunakan untuk menyuplai tegangan yang stabil ke seluruh komponen sistem agar perangkat dapat beroperasi secara konsisten dan andal [1].

2.3 Diagram Blok Penelitian

Lebih mudah mempelajari dan memahami cara kerjanya, kerangka rencana dibuat berdasarkan grafik blok.

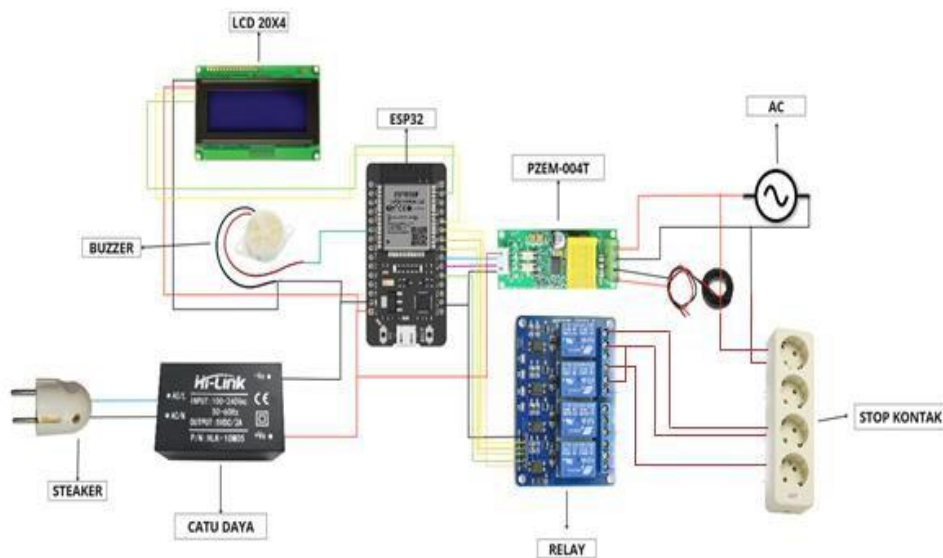


Gambar 2. Diagram Blok Alat

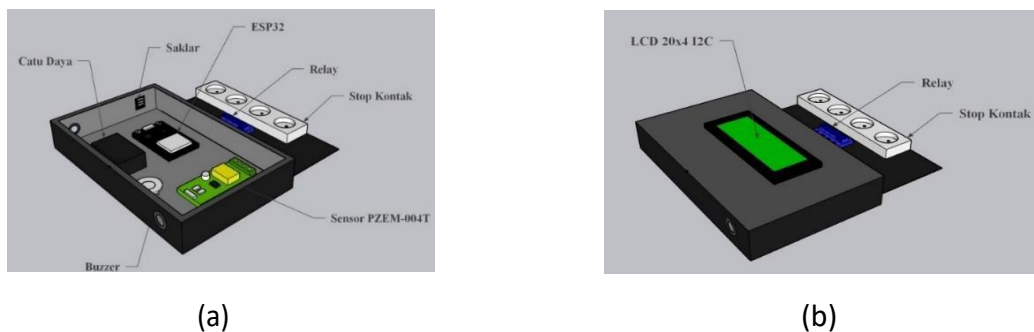
Diagram blok ini menggambarkan sistem yang menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama. Data masukan (*input*) yang diperoleh dari instrumentasi sensor PZEM-004T melakukan pengukuran terhadap parameter-parameter kelistrikan seperti tegangan dan arus. Data ini diproses menggunakan logika fuzzy Tsukamoto untuk menentukan kondisi sistem. Hasilnya dikendalikan melalui *output relay* untuk mengontrol perangkat listrik. Selain itu, modul *display* LCD 20x4 memfasilitasi visualisasi informasi sistem secara berkelanjutan dalam mode *real-time*, sementara komponen buzzer berfungsi untuk memberikan sinyal notifikasi akustik apabila terdeteksi kondisi operasional yang bersifat kritis atau anomali. Sistem ini terhubung ke cloud, memungkinkan pemantauan dan kontrol melalui aplikasi di handphone. Semua komponen ini diberdayakan oleh catu daya yang stabil untuk memastikan operasional yang konsisten.

2.4 Rangkaian Alat Secara Keseluruhan

Integrasi komprehensif dari keseluruhan komponen-komponen dan subsistem perangkat yang tersusun secara sistematis direpresentasikan dalam diagram dan ilustrasi grafis yang ditampilkan pada bagian inferior dokumentasi ini.



Gambar 3. Rangkaian Alat Secara Keseluruhan



Gambar 4. Gambar 3D (a) Bagian Dalam Alat dan (b) Tampilan Luar Alat Secara Keseluruhan

2.5 Fuzzy Tsukamoto

Metode fuzzy Tsukamoto merepresentasikan pengembangan dan ekstensi dari konsep penalaran monoton klasik. Dalam konteks pendekatan metodologi Tsukamoto, setiap komponen konsekuen yang terdapat dalam formulasi struktur aturan IF-THEN imperatif harus direpresentasikan melalui arsitektur himpunan fuzzy yang memiliki karakteristik fungsi keanggotaan berperilaku monoton. Magnitude nilai output yang dihasilkan pada bagian konsekuen setiap aturan fuzzy berbentuk nilai crisp (nilai tegas/non-fuzzy) yang diperoleh melalui mekanisme defuzzifikasi. Output dari sistem diperoleh melalui konsep rata-rata tertimbang dari keluaran setiap aturan fuzzy [4].

Perhitungan Defuzzifikasi dari Fuzzy Tsukamoto:

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Representasi Data

1) Fuzzifikasi

Dalam paradigma sistem *fuzzy logic* didefinisikan sebagai interval nilai numerik parameter masukan dan keluaran yang akan disubjekkan pada proses konversi dan transformasi menjadi variabel fuzzy linguistik. Nilai-nilai numerik yang terkandung dalam domain tersebut selanjutnya disubjekkan pada prosedur klasifikasi melalui mekanisme fungsi keanggotaan (*membership function*) yang berfungsi untuk menentukan dan mengukur derajat keanggotaan (*degree of membership*) suatu nilai numerik terhadap kategori semantik himpunan fuzzy yang telah didefinisikan sebelumnya.

Tabel 1. Spesifikasi Domain Himpunan Fuzzy untuk Parameter Arus Elektrik dan Daya pada Instalasi Kelistrikan Rumah Tangga

No.	Variabel Input	Kategori Himpunan Fuzzy	Universe of Discourse	Rentang Domain
1	Arus Elektrik	Rendah	[0 500 mA]	[0 0 200 mA]
		Sedang		[100 250 400 mA]
		Tinggi		[300 500 500 mA]
2	Daya Listrik	Rendah	[0 90 W]	[0 0 40 W]
		Sedang		[25 45 65 W]
		Tinggi		[55 90 90 W]

a. Fuzzy Arus Listrik

Representasi grafis di bawah ini merepresentasikan dan mengilustrasikan fungsi keanggotaan yang dikonfigurasi untuk parameter masukan dari sensor transducer PZEM-004T dengan variabel linguistik arus elektrik dalam konteks sistem kelistrikan rumah tangga residensial.

- Rendah

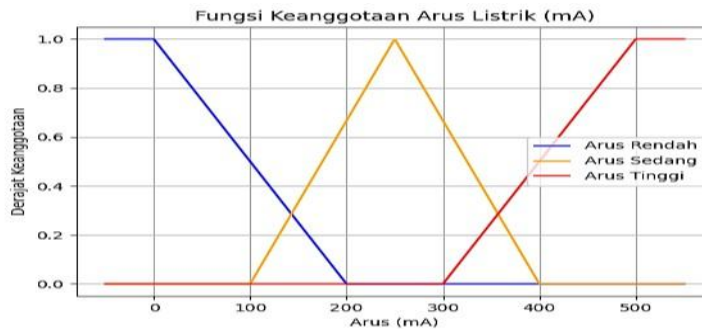
$$\mu_{\text{rendah}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{200-x}{200}, & 0 < x < 200 \\ 0, & x \geq 200 \end{cases}$$

- Sedang

$$\mu_{\text{sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 100 \\ \frac{x-100}{150}, & 100 < x \leq 250 \\ \frac{400-x}{150}, & 250 < x < 400 \\ 0, & x \geq 400 \end{cases}$$

- Tinggi

$$\mu_{\text{tinggi}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 300 \\ \frac{x-300}{200}, & 300 < x < 500 \\ 1, & x \geq 500 \end{cases}$$



Gambar 5. Fuzzy Arus Listrik

b. Fuzzy Daya Listrik

Pada konfigurasi fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk data masukan yang berasal dari sensor, diaplikasikan bentuk-bentuk kurva dengan karakteristik geometris berupa kurva naik (*rising curve*), kurva turun (*falling curve*), dan kurva segitiga (*triangular curve*).

- Rendah

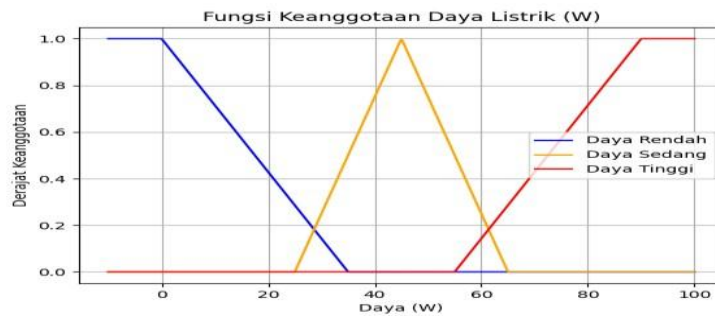
$$\mu_{\text{rendah}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{35-x}{35}, & 0 < x < 35 \\ 0, & x \geq 35 \end{cases}$$

- Sedang

$$\mu_{\text{sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 25 \\ \frac{x-25}{20}, & 25 < x \leq 45 \\ \frac{65-x}{20}, & 45 < x < 65 \\ 0, & x \geq 65 \end{cases}$$

- Tinggi

$$\mu_{\text{tinggi}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 55 \\ \frac{x-55}{35}, & 55 < x < 90 \\ 1, & x \geq 90 \end{cases}$$



Gambar 6. Fuzzy Daya Listrik

2) Penentuan Basis Aturan Fuzzy

Dalam penerapan IoT untuk pemantauan dan keamanan kelistrikan rumah tangga menggunakan fuzzy Tsukamoto, ditetapkan sembilan aturan fuzzy. Relay OFF pada kombinasi beban rendah (Rendah–Rendah, Rendah–Sedang, Sedang–Rendah, dan Tinggi–Rendah), sedangkan relay ON ketika beban meningkat (Rendah–Tinggi, Sedang–Sedang, Sedang–Tinggi, Tinggi–Sedang, dan Tinggi–Tinggi).

3) Komposisi Aturan

Nilai arus sebesar 180 mA dan daya sebesar 40 W yang digunakan dalam proses inferensi fuzzy pada aturan ini merupakan data aktual hasil pengukuran sensor PZEM-004T pada kondisi beban listrik tertentu di instalasi rumah tangga. Nilai tersebut dipilih sebagai contoh perhitungan untuk menunjukkan mekanisme kerja sistem fuzzy Tsukamoto. Berdasarkan domain dan fungsi keanggotaan yang telah ditetapkan, nilai arus dan daya tersebut kemudian dipetakan ke dalam himpunan fuzzy rendah, sedang, atau tinggi melalui proses fuzzifikasi. Derajat keanggotaan yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai α -predikat pada setiap aturan fuzzy menggunakan operator minimum (MIN), maka diperoleh komposisi aturan fuzzy sebagai berikut:

a. IF arus = rendah AND daya = rendah THEN relay = Matikan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_1 &= \mu_{\text{Rendah}} \cap \mu_{\text{Rendah}} \\ &= \min (\mu_{\text{Rendah}} [180], \mu_{\text{Rendah}} [40]) \\ &= \min (0,1;0) \\ &= 0\end{aligned}$$

b. IF arus = rendah AND daya = sedang THEN relay = Matikan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_2 &= \mu_{\text{Rendah}} \cap \mu_{\text{Sedang}} \\ &= \min (\mu_{\text{Rendah}} [180], \mu_{\text{Sedang}} [40]) \\ &= \min (0,1;0,75) \\ &= 0,1\end{aligned}$$

c. IF arus = rendah AND daya = tinggi THEN relay = Nyalakan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_3 &= \mu_{\text{Rendah}} \cap \mu_{\text{Tinggi}} \\ &= \min (\mu_{\text{Rendah}} [180], \mu_{\text{Tinggi}} [40]) \\ &= \min (0,1;0) \\ &= 0\end{aligned}$$

d. IF arus = sedang AND daya = rendah THEN relay = Matikan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_4 &= \mu_{\text{Sedang}} \cap \mu_{\text{Rendah}} \\ &= \min(\mu_{\text{Sedang}}[180], \mu_{\text{Rendah}}[40]) \\ &= \min(0,533;0) \\ &= 0\end{aligned}$$

e. IF arus = sedang AND daya = sedang THEN relay = Nyalakan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_5 &= \mu_{\text{Sedang}} \cap \mu_{\text{Sedang}} \\ &= \min(\mu_{\text{Sedang}}[180], \mu_{\text{Sedang}}[40]) \\ &= \min(0,533;0,75) \\ &= 0,53\end{aligned}$$

f. IF arus = sedang AND daya = tinggi THEN relay = Nyalakan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_6 &= \mu_{\text{Sedang}} \cap \mu_{\text{Tinggi}} \\ &= \min(\mu_{\text{Sedang}}[180], \mu_{\text{Tinggi}}[40]) \\ &= \min(0,533;0) \\ &= 0\end{aligned}$$

g. IF arus = tinggi AND daya = rendah THEN relay = Matikan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_7 &= \mu_{\text{Tinggi}} \cap \mu_{\text{Rendah}} \\ &= \min(\mu_{\text{Tinggi}}[180], \mu_{\text{Rendah}}[40]) \\ &= \min(0;0) \\ &= 0\end{aligned}$$

h. IF arus = tinggi AND daya = sedang THEN relay = Nyalakan

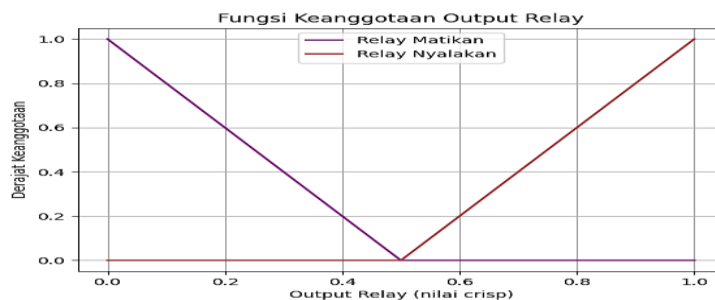
$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_8 &= \mu_{\text{Tinggi}} \cap \mu_{\text{Sedang}} \\ &= \min(\mu_{\text{Tinggi}}[180], \mu_{\text{Sedang}}[40]) \\ &= \min(0;0,75) \\ &= 0\end{aligned}$$

i. IF arus = tinggi AND daya = tinggi THEN relay = Nyalakan

$$\begin{aligned}\alpha\text{-predikat}_9 &= \mu_{\text{Tinggi}} \cap \mu_{\text{Tinggi}} \\ &= \min(\mu_{\text{Tinggi}}[180], \mu_{\text{Tinggi}}[40]) \\ &= \min(0;0) \\ &= 0\end{aligned}$$

4) Defuzzifikasi

Gambar di bawah ini menunjukkan fungsi keanggotaan dari hasil keluaran fuzzy.



Gambar 7. Output Fuzzy

Pada tahap proses defuzzifikasi dengan metode Fuzzy Tsukamoto, dimanfaatkan teknik perhitungan rata-rata berbobot (*weighted average*) untuk mengkonversi nilai fuzzy menjadi nilai *output* crisp. Berdasarkan Persamaan 1, untuk nilai pengukuran arus sebesar 180 mA dan daya 40 W, diperoleh nilai defuzzifikasi sebesar $z=0,842$.

3.2 Hasil Pengujian

1) Pengukuran Tegangan Elektrik

Pada periode pengujian yang dilakukan, dilaksanakan prosedur Analisis tegangan listrik infrastruktur jaringan kelistrikan rumah tangga guna memastikan akurasi dan presisi kinerja perangkat yang telah dikonstruksikan sesuai parameter yang ditetapkan. Pengukuran tegangan difokuskan pada kabel fase dan netral guna memverifikasi kestabilan suplai daya. Sistem pengaman dan pemantauan dirancang mampu mendeteksi fluktuasi tegangan yang signifikan, seperti lonjakan atau penurunan tegangan, yang dapat mempengaruhi keandalan instalasi listrik.

Tabel 2. Pengujian Tegangan Listrik rumah Tangga

No.	Tegangan Sensor PZEM-004T (V)	Tegangan Multimeter (V)	Persentase Kesalahan (%)
1	220,40	220,4	0
2	220,50	220,4	0,04
3	220,40	220,4	0
4	220,50	220,4	0,04
5	220,30	220,4	0,05

Hasil perhitungan persentase kesalahan antara sensor PZEM-004T dan multimeter menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Pada pengukuran pertama dan ketiga, tidak ditemukan kesalahan (0%) karena nilai tegangan yang ditunjukkan oleh sensor dan multimeter sama persis, yaitu 220,40 V. Namun, pada pengukuran kedua dan keempat, terdapat selisih kecil sebesar 0,04%, di mana sensor mencatat 220,50 V sedangkan multimeter tetap menunjukkan 220,4 V. Sementara itu, pada pengukuran kelima, kesalahan sedikit meningkat menjadi 0,05% karena sensor membaca 220,30 V, sementara multimeter tetap konsisten pada 220,4 V. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa komponen sensor instrumentasi menunjukkan keandalan yang tinggi dalam melaksanakan pengukuran parameter tegangan elektrik, dengan magnitude deviasi maksimal sebesar 0,05%.

2) Pengujian Arus dan Daya

Pengujian arus dan daya pada peralatan rumah tangga merupakan suatu prosedur penting yang dilakukan untuk memverifikasi dan memastikan bahwa sistem kelistrikan yang terpasang pada instalasi rumah tangga memiliki kapabilitas untuk beroperasi secara optimal, stabil, dan aman ketika menerima beban listrik sesuai dengan spesifikasi kapasitas maksimal yang telah ditetapkan. yang telah dirancang pada perangkat tersebut.

Pengujian ini melibatkan serangkaian pengukuran parameter kelistrikan, termasuk tegangan input, besaran arus yang mengalir, serta daya aktif yang dikonsumsi, dengan menggunakan metode pengukuran pada jaringan listrik satu fasa untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil pengujian.

Tabel 3. Pengujian Arus dan Daya *Charger Handphone*, Solder, dan Kipas Angin

No.	Sensor PZEM-004T		Tang Ampere		Persentase Kesalahan (%)	
	Arus (mA)	Daya (W)	Arus (mA)	Daya (W)	Arus	Daya
1	484	112	500	111	3,30	0,89
2	489	112,90	500	111	2,25	1,68
3	489	112,90	500	111	2,25	1,68

Hasil dari perhitungan persentase kesalahan antara instrumentasi sensor PZEM-004T dan perangkat tang ampere digital dalam konteks pengujian sistem pada kondisi pembebanan listrik *charger handphone*, solder, dan kipas angin menunjukkan adanya selisih pembacaan arus dan daya listrik. Pada tiga kali pengujian arus, didapatkan hasil berturut-turut sebesar 3,30%, 2,25%, dan 2,25%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kecil antara pembacaan arus oleh sensor PZEM-004T dan Tang Ampere, namun masih dalam batas toleransi pengukuran. Untuk pengukuran daya, hasil persentase kesalahan diperoleh sebesar 0,89%, 1,68%, dan 1,68%. Nilai-nilai ini membuktikan bahwa sensor mampu menyediakan pembacaan yang mendekati nilai sebenarnya.

3) Evaluasi Platform IoT

Pengujian platform *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan aplikasi Blynk bertujuan untuk melaksanakan operasi *supervisory monitoring* dan mekanisme kontrol terhadap berbagai parameter kelistrikan substantif seperti tegangan, arus elektrik, daya aktif, Besaran energi, faktor daya, dan frekuensi di pola penggunaan kelistrikan instalasi rumah tangga. Pada penelitian ini, sensor PZEM-004T dimanfaatkan untuk mengumpulkan data pengukuran secara *real-time*.



Gambar 8. Pengujian Alat dan *Internet of Things*

4. KESIMPULAN

Hasil analisis pengujian menunjukkan bahwa Implementasi Platform IoT untuk Operasi *Supervisory* pantauan dan Mekanisme Kontrol Energi Listrik pada Instalasi Rumah Tangga Berbasis Logika Fuzzy Tsukamoto telah berhasil diwujudkan.

- 1) Sistem IoT berbasis Fuzzy Tsukamoto berhasil diimplementasikan untuk melaksanakan operasi *supervisory monitoring* dan mekanisme kontrol kelistrikan rumah tangga secara *real-time* melalui platform aplikasi Blynk dengan memanfaatkan paradigma logika fuzzy, sistem ini mengoptimalkan konsumsi energi dan mencegah beban berlebih, meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kenyamanan.
- 2) Sistem IoT berbasis Fuzzy Tsukamoto telah berhasil diaplikasikan untuk monitoring dan kontrol listrik rumah dengan akurasi tinggi. Pembacaan sensor (tegangan, arus, daya) dan proses IoT bekerja presisi, didukung logika fuzzy yang akurat dalam pengambilan keputusan otomatis. Implementasi ini terbukti efektif untuk manajemen energi rumah tangga yang *real-time* dan cerdas.
- 3) Sistem IoT ini mengintegrasikan PZEM-004T untuk pengukuran parameter listrik, ESP32 sebagai pengendali utama, dan Fuzzy Tsukamoto untuk pengambilan keputusan kontrol *Relay*. Seluruh komponen terhubung membentuk sistem monitoring dan kontrol listrik otomatis yang akurat dan *real-time*, menghasilkan manajemen energi yang efisien dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad Muzakir, "Sistem Monitoring Daya Listrik *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic Sugeno dan Firebase Berbasis Android," Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, 2023.
- [2] A. C. Adi, "Konsumsi Listrik Masyarakat Meningkat, Tahun 2023 Capai 1.285 kWh/Kapita," kementerian ESDM. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita>
- [3] Andrianto bala, Cindy P.C Munaiseche, Kristofel Santa, "Sistem Kontrol Alat Pengukur Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Tsukamoto Dipertenakan Ayam Broiler Desa Tonsea Lama," *JOINTER J. Informatics Eng.*, vol. 3, no. 02, pp. 24–35, 2022, doi: 10.53682/jointer.v3i02.71.
- [4] M. A. Rofiq *et al.*, "Implementasi Logika Fuzzy Terhadap Kontrol dan Monitoring Pada Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga," *J. Teknol. Elektro*, vol. 15, no. 1, p. 47, 2024, doi: 10.22441/jte.2024.v15i1.008.
- [5] I. Syukhron, "Penggunaan Aplikasi Blynk untuk Sistem Monitoring dan Kontrol Jarak Jauh pada Sistem Kompos Pintar berbasis IoT," *Electrician*, vol. 15, no. 1, pp. 1–11, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n1.2158.
- [6] M. Ma, C. Xu, and J. Han, "Application of an intelligent electrical fire monitoring system based on the EC-IOT framework in high-rise residential buildings," *Syst. Soft Comput.*, vol. 7, no. April, p. 200257, 2025, doi: 10.1016/j.sasc.2025.200257.

- [7] Y. Prasetyo, S. Triwijaya, A. Khakim, D. N. Prakoso, and R. J. K. H, "Integrated IoT System for Real-Time Electrical Load Monitoring," vol. 4, no. 1, pp. 17–23, 2025, doi: 10.52626/joge.v.
- [8] A. Yohandrik, B. Dawe, P. Dani, and P. Adi, "Electricity Monitoring System based on Fuzzy Logic and Internet of things," vol. 01, 2021, doi: 10.31763/iota.v1i2.459.
- [9] M. Komary, S. Komarizadehasl, N. Tošić, and J. Turmo, "Gra đevinski materijali i konstrukcije Building Materials and Structures Development and validation of a novel IoT- enabled electrical resistance system for non-destructive monitoring of atmospheric corrosion in steel structures," vol. 68, pp. 107–122, 2025.
- [10] L. Review, "Model Fuzzy Logic pada Air Asam Tambang untuk Prediksi Pencemaran Sungai– Literature Review," vol. 2, no. 1, pp. 50–57, 2023.
- [11] Z. A. Alfian *et al.*, "Monitoring Listrik Server dengan Fuzzy Logic," vol. 04, no. 04, pp. 775– 783, 2023.
- [12] P. Akhir and P. P. Surabaya, "Prototype Monitoring dan Kontrol Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis IoT Prototype Monitoring dan Kontrol Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu)," 2024.
- [13] I. A. Current and E. Parameters, "Monitoring System," 2022.
- [14] M. Zaninelli *et al.*, "On-line monitoring of milk electrical conductivity by fuzzy logic technology to characterise health status in dairy goats," vol. 13, 2014, doi: 10.4081/ijas.2014.3170.
- [15] D. A. Atmanto, R. W. Nanditama, W. Suteddy, and A. Adiwilaga, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani IoT-Based Electrical Energy Consumption Monitoring System Using Fuzzy Logic Mamdani," vol. 11, no. 2, pp. 151–166.
- [16] M. Mehta, "ESP8266 : A Breakthrough in Wireless Sensor Networks and Internet of Things," *Int. J. Electron. Commun. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 8, pp. 7–11, 2015, [Online]. Available: www.iaeme.com/IJECET/index.asp
- [17] S. Nirwan and M. S. Hafidz, "Rancang Bangun Aplikasi untuk Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik pada Peralatan Elektronik Berbasis PZEM-004T," *J. Tek. Inform.*, vol. 12, no. 2, pp. 79–84, 2020, [Online]. Available: <https://ejurnal.ulbi.ac.id/index.php/informatika/article/view/871%0Ahttps://ejurnal.ulbi.ac.id/index.php/informatika/article/view/871/657>
- [18] Soni, M. Jannah, and Y. Fatma, "Sistem Notifikasi Token Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto Dengan Sms Gateway Berbasis Arduino," *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 226–234, 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i1.4839.
- [19] S. U. Filla and S. Suhardi, "Prototype Alat Pengatur Temperatur Ruang Kerja Pada Rumah Menggunakan Logika Fuzzy Tsukamoto Berbasis Iot," *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 68– 77, 2024.