

Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani

IoT-Based Electrical Energy Consumption Monitoring System Using Fuzzy Logic Mamdani

Dastin Aryo Atmanto^{1*}, Rastra Wardana Nanditama², Wirmanto Suteddy³, Anugrah Adiwilaga⁴

^{1,2,3,4}Teknik Komputer, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Raya Cileunyi-Cibiru KM 15 Bandung, 0227801840

dastinaryo5@upi.edu^{1*}, rastra@upi.edu², wirmanto.suteddy@upi.edu³, anugrah.adiwilaga@upi.edu⁴

Abstrak – Penelitian ini bertujuan mengatasi permasalahan penggunaan energi listrik yang kurang efisien, hal ini disebabkan oleh keterbatasan alat kWh Meter konvensional yang tidak memungkinkan pengguna untuk memantau secara langsung konsumsi energi listrik yang sedang digunakan. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu adanya pemantauan konsumsi energi listrik. Sistem yang dibangun dapat memberikan informasi detail terkait energi harian yang digunakan serta menampilkan grafik visual terkait pemakaian listrik pengguna. Sistem ini memanfaatkan ESP32 dan sensor PZEM004T-100A untuk mengukur data-data listrik yang disajikan menggunakan aplikasi berbasis website secara realtime. Metode fuzzy logic diadopsi untuk memprediksi pemakaian listrik ke dalam kategori hemat, normal, atau boros. Sementara, Real-Time Operating System (RTOS) diterapkan untuk proses monitoring dan komunikasi data yang lebih efisien. Selain itu, sistem ini dibangun dengan adanya robotic arm yang berfungsi untuk meningkatkan aksesibilitas pengguna dalam pengisian token listrik secara otomatis. Berdasarkan pengujian pada seluruh sistem berjalan dengan cukup baik, namun masih terdapat rata-rata nilai kesalahan pada pengukuran tegangan dan arus sensor PZEM004T-100A sebesar 0,27% dan 1,58%, serta nilai kesalahan pada perhitungan algoritma fuzzy sebesar 0,71%. Meskipun demikian, sistem ini berpotensi meningkatkan kesadaran pengguna terhadap konsumsi energi listrik harian, serta efektif dalam mengurangi penggunaan listrik yang tidak efisien, melalui pemanfaatan teknologi terkini dalam pemantauan dan pengelolaan energi listrik.

Kata Kunci: energi listrik, fuzzy logic, IoT.

Abstract – This research aims to overcome the problem of inefficient use of electrical energy, this is caused by the limitations of conventional kWh Meter tools that do not allow users to directly monitor the consumption of electrical energy that is being used. Based on these problems, it is necessary to monitor the consumption of electrical energy. The system built can provide detailed information related to daily energy used and display visual graphs related to user electricity usage. This system utilises ESP32 and PZEM004T-100A sensors to measure electricity data which is presented using a website-based application in real time. Fuzzy logic method is adopted to predict electricity usage into saving, normal, or wasteful categories. Meanwhile, Real-Time Operating System (RTOS) is applied for a more efficient monitoring and data communication process. In addition, this system is built with a robotic arm that serves to increase user accessibility in charging electricity tokens automatically. Based on testing the entire system runs quite well, but there is still an average error value in measuring the voltage and current of the PZEM004T-100A sensor of 0.27% and 1.58%, as well as an error value in the calculation of the fuzzy algorithm of 0.58%. Nonetheless, this system has the potential to increase user awareness of daily electrical energy consumption, and is effective in reducing inefficient electricity use, through the utilisation of the latest technology in monitoring and managing electrical energy.

TELKA, Vol.11, No.2, Juli 2025, pp. 151~166

ISSN (e): 2540-9123

ISSN (p): 2502-1982

Keywords: *electrical energy, fuzzy logic, IoT.*

1. Pendahuluan

Ketergantungan masyarakat terhadap energi listrik dalam lingkup industri maupun penggunaan domestik terus meningkat berdasarkan kemajuan teknologi yang semakin berkembang. Industri dan rumah tangga modern memerlukan sumber daya listrik yang stabil dan efisien. Namun saat ini, informasi terkait penggunaan daya listrik masih terbatas pada data yang diberikan oleh alat kWh Meter konvensional [1], [2]. Alat tersebut hanya memberikan informasi umum tentang total konsumsi energi tanpa memberikan informasi detail yang memadai. Seringkali, pemakaian energi listrik yang tidak efisien timbul akibat kurangnya efektivitas waktu pemakaian dan kurangnya kesadaran masyarakat terhadap penghematan energi listrik [3], [4]. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan alat kWh Meter konvensional yang tidak memungkinkan pengguna untuk memantau secara langsung konsumsi energi listrik yang sedang digunakan [5].

Penelitian terkait sistem monitoring penggunaan daya listrik sudah banyak dilakukan, seperti penelitian [6] yang membuat rancang bangun sistem pemantauan penggunaan daya listrik pada rumah tangga secara *real time*. Prototipe yang dibangun menggunakan sensor ACS712 untuk mengukur arus berbasis *Hall effect* dan sensor ZMPT101b untuk mengukur tegangan, hasil pengukuran daya memiliki presentase rata-rata *error* sebesar 1,62%. Hal yang sama dilakukan oleh [7] yang membangun sebuah sistem pemantauan konsumsi daya dan biaya listrik melalui platform website. Namun, sensor yang digunakan berbasis Arduino Mega2560 sebagai mikrokontroler dan SDM230 Modbus sebagai sensor pengukuran daya listrik. Hasil pengukuran data listrik memiliki persentase *error* sebesar 1% yang meliputi pengukuran arus, tegangan, daya, daya semu, daya reaktif, frekuensi listrik, dan faktor daya. Kemudian, pengujian terkait perbandingan selisih biaya tagihan listrik memiliki nilai persentase *error* sebesar 0,1%. Beberapa peneliti lainnya yang dilakukan oleh [5] menerapkan platform IoT yaitu ThingSpeak yang digunakan untuk mengambil data dari sensor dengan protokol HTTP. Kemudian, pemantauan daya listrik juga dilakukan [1] menggunakan platform IoT berupa Blynk dengan tingkat akurasi pembacaan data listrik berkisar 96% sampai 98%. Selain itu, penelitian [8] menggunakan aplikasi android sebagai platform pemantauannya, sistem yang dibangun cukup efisien karena mudah untuk digunakan bagi pengguna. Hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan sensor PZEM-004T menunjukkan persentase *error* sebesar 1,4% dan 3,7%. Pada penelitian [9] menggunakan sensor yang sama yaitu PZEM-004T memiliki hasil pengukuran tegangan dan arus yaitu 0,4% dan 6,8%.

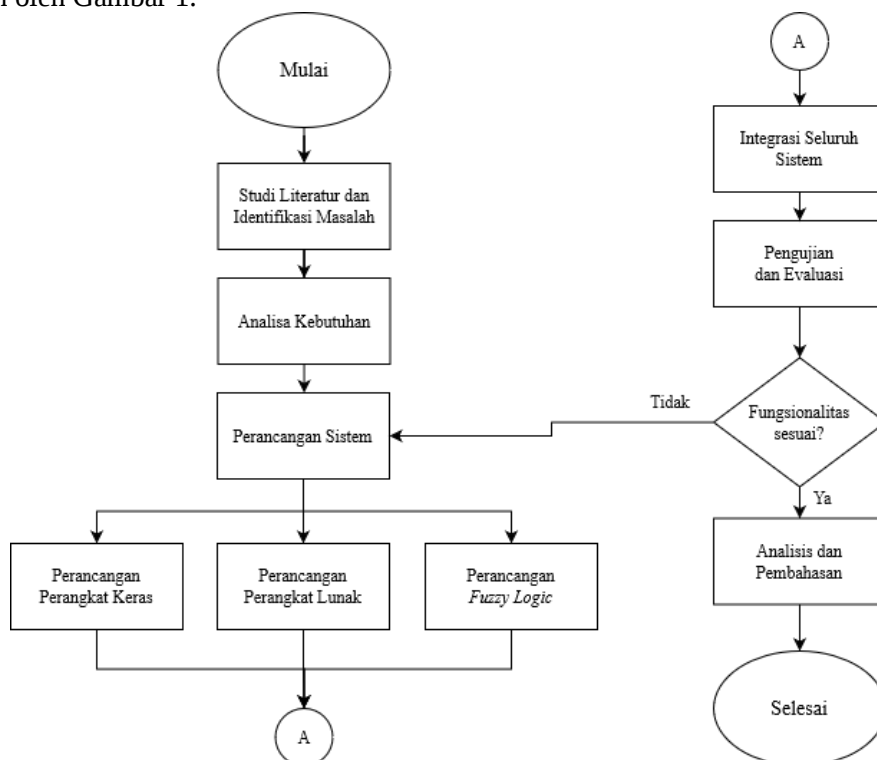
Berdasarkan beberapa peneliti sebelumnya menunjukkan belum adanya pengolahan data listrik secara lebih lanjut. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang alat *monitoring* untuk memantau daya listrik berbasis *fuzzy logic*. Sehingga pengguna memiliki indikator bahwa penggunaan listrik harian yang dikonsumsi dapat tergolong kategori hemat, normal, atau boros. Sistem ini dikembangkan dengan menggunakan ESP32 DEVKIT V1 sebagai platform utamanya. ESP32 DEVKIT V1 memungkinkan integrasi yang efektif dengan berbagai sensor, termasuk sensor PZEM004T-100A. Sensor PZEM004T-100A berperan penting dalam memberikan informasi akurat terkait arus dan tegangan listrik, memastikan bahwa data yang diperoleh merupakan benar-benar menggambarkan data sebenarnya [10].

Sistem yang dibangun menggunakan metode *fuzzy logic* yang lebih efisien serta dapat memberikan informasi penggunaan energi listrik yang lebih mendekati dengan hasil sebenarnya dibanding dengan menggunakan metode peramalan atau *forecasting* [11]. Selain itu, salah satu keunggulan lain dari rancangan ini adalah dengan penerapannya *Real-Time Operating System* (RTOS) sehingga dapat mendukung proses *multitasking* dan *scheduler* secara *real time* [12]. Penggunaan RTOS pada sistem ini memungkinkan sistem untuk melakukan *monitoring* dengan akurat terhadap perubahan dalam penggunaan energi listrik. Kemudian, pembaruan sistem juga terdapat pada fitur pengisian token listrik Prabayar secara otomatis dengan menggunakan *robotic arm* yang terhubung oleh *motor servo* sebagai penggerakannya. Penggunaan *robotic arm* dalam pengisian token listrik Prabayar memberikan kemudahan yang lebih baik untuk pengguna. Sistem

yang dibangun memanfaatkan platform web dan *Firebase* digunakan untuk menyimpan data-data dari sensor PZEM-004T dan hasil *fuzzy logic* [7], [13]. Dengan mengintegrasikan ini, diharapkan sistem dapat memberikan solusi yang lebih terjangkau bagi pengguna, menjadikan *monitoring* dan pengelolaan energi listrik lebih efisien dan mudah diakses.

2. Metode Penelitian

Tahapan awal penelitian pada perancangan sistem ini dilakukan studi literatur dan identifikasi masalah berdasarkan penelitian terdahulu untuk mendapatkan permasalahan yang relevan sehingga dapat dilakukan analisis kebutuhan. Permasalahan yang didapat adalah sebagai berikut: 1) keterbatasan informasi dari alat kWh Meter konvensional; 2) kurangnya kesadaran masyarakat dalam menghemat energi listrik; dan 3) pemakaian energi listrik yang boros diakibatkan waktu pemakaian yang tidak efektif. Berdasarkan analisis kebutuhan, perancangan sistem alat *monitoring* listrik berbasis IoT terbagi menjadi tiga bagian yang meliputi perancangan alat *monitoring*, perangkat lunak, dan *fuzzy logic*. Tahap selanjutnya adalah melakukan integrasi pada seluruh sistem yang telah dirancang, hal ini bertujuan untuk pengujian serta evaluasi fungsionalitas sistem. Berikut adalah diagram alir dari alur penelitian secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 1.

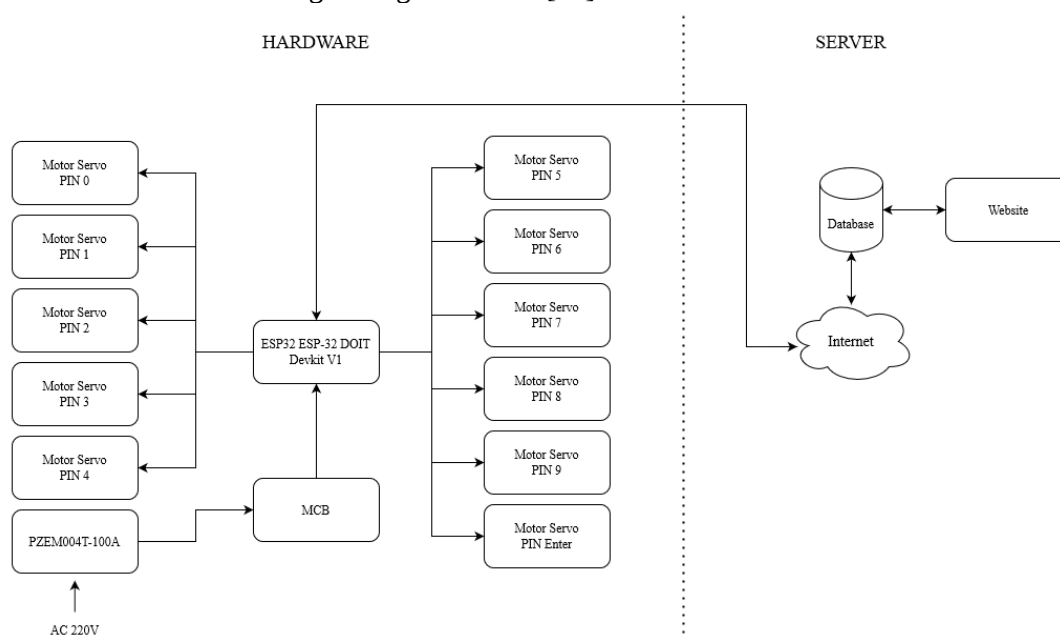


Gambar 1. Alur penelitian perancangan alat *monitoring*.

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Adapun beberapa komponen yang diperlukan berdasarkan blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada perancangan sistem perangkat keras diperlukan *microcontroller* DOIT ESP32 DEVKIT V1 berfungsi untuk mengontrol seluruh komponen yang terhubung, PZEM004T-100A sebagai sensor utama yang digunakan untuk memantau konsumsi energi listrik pada sistem rumah tangga, motor servo sebagai penggerak *robotic arm* untuk menekan tombol pada kWh Meter guna mengisi token listrik secara otomatis, dan *Miniature Circuit Breaker* (MCB) sebagai pembatas arus listrik jika terdapat beban berlebih. Pada proses transmisi data ke server digunakan protokol *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) yang bertujuan untuk membantu proses pertukaran data. Protokol HTTP merupakan protokol yang bekerja di dalam *layer* TCP, dengan bekerja di *layer* TCP, HTTP dapat melakukan pengiriman berupa gambar, video, dan data

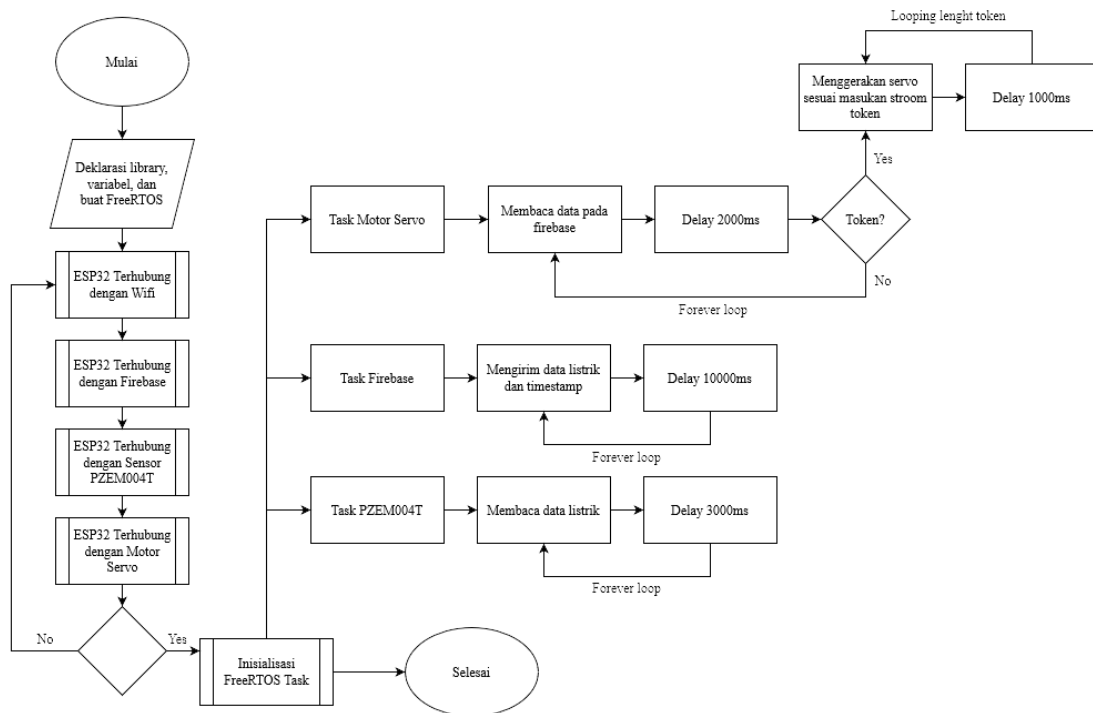
lainnya sehingga membuat HTTP menjadi salah satu protokol untuk melakukan pertukaran data yang paling banyak digunakan dalam internet [14]. Meskipun, pada hasil penelitian [15] menyatakan bahwa dalam pengiriman data lebih optimal menggunakan protokol *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT). Namun, permasalahan pada penelitian ini tidak perlu ada responsif secara cepat pada permasalahan penelitian [15]. Selain itu, MQTT adalah suatu protokol yang beroperasi di lapisan *stack* TCP/IP dan dikonseptualisasikan secara spesifik untuk mendukung komunikasi *end-to-end* tanpa memerlukan alamat yang dedikatif [16]. Oleh karena itu, implementasi MQTT pada layanan berbasis website mungkin kurang optimal karena karakteristiknya yang tidak bergantung pada alamat khusus. Komunikasi pertukaran data yang dilakukan antara sistem dan aplikasi web adalah dengan menggunakan metode *half duplex*. Metode ini merupakan sebuah metode pengiriman dan penerimaan data yang dilakukan tidak secara bersamaan untuk saling berbagi informasi [17].



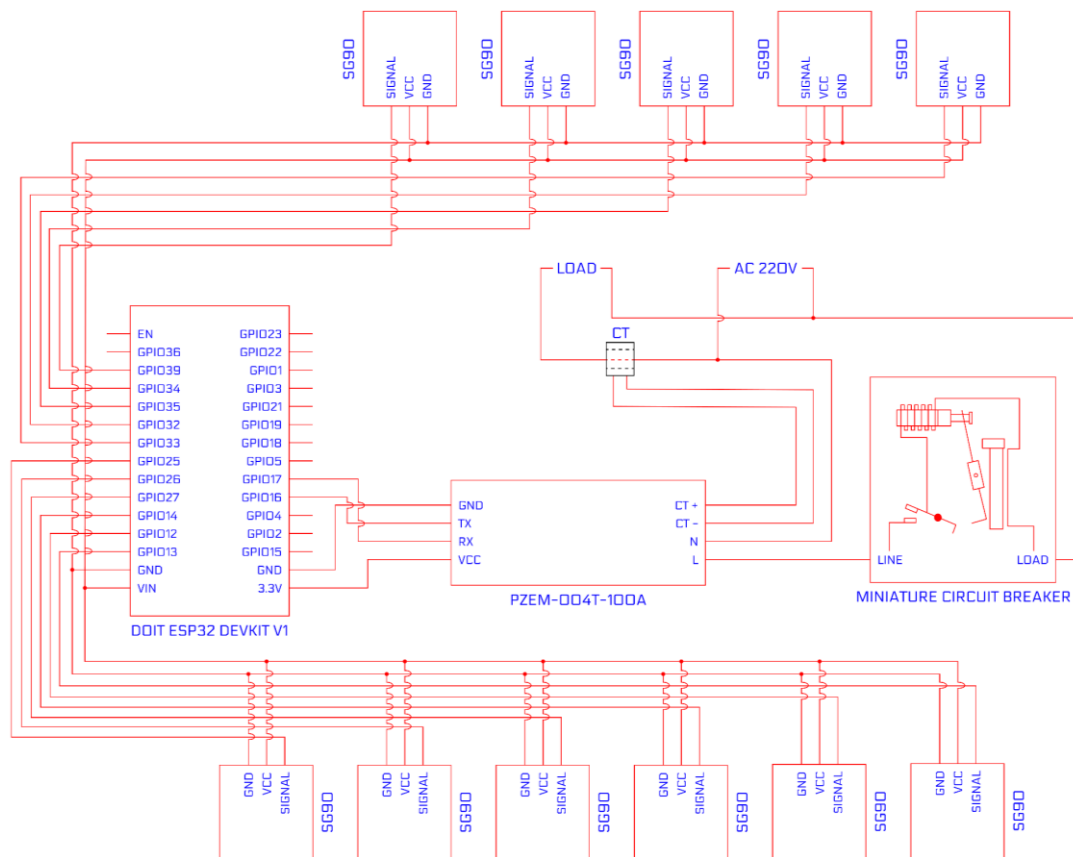
Gambar 2. Blok diagram sistem perangkat keras.

Penggunaan *FreeRTOS* bertujuan agar proses pada sistem tertanam dapat dijalankan secara bersamaan dan terjadwal karena nilai deviasi yang dihasilkan lebih kecil dari pada non-RTOS [18]. Sehingga perangkat dapat mengeksekusi semua tugas pada sistem tertanam dan tidak ada tugas melebihi *delay* yang telah ditentukan. Berdasarkan diagram alir sistem perangkat keras yang disajikan pada Gambar 3 terdapat tiga tugas yang dibangun ke dalam sistem operasi ini.

Tugas dengan prioritas pertama adalah pembacaan sensor PZEM004T-100A dengan mengukur data listrik berupa energi, daya, tegangan, arus, dan *power factor*. Data listrik yang telah diukur akan dikirim ke platform *Firebase* untuk disimpan dan diolah. Pengiriman data tersebut merupakan tugas yang telah dibangun dengan prioritas kedua pada sistem operasi. Selain pengiriman data listrik, perangkat melakukan pembaruan dan pengiriman variabel waktu menggunakan *NTP Client*. Pada tugas dengan prioritas ketiga memiliki fungsi untuk membaca data token listrik dari *Firebase* dan pengendalian *motor servo* untuk menggerakkan *robotic arm*. Adapun skema desain sistem alat *monitoring* yang dirancang disajikan pada Gambar 4.

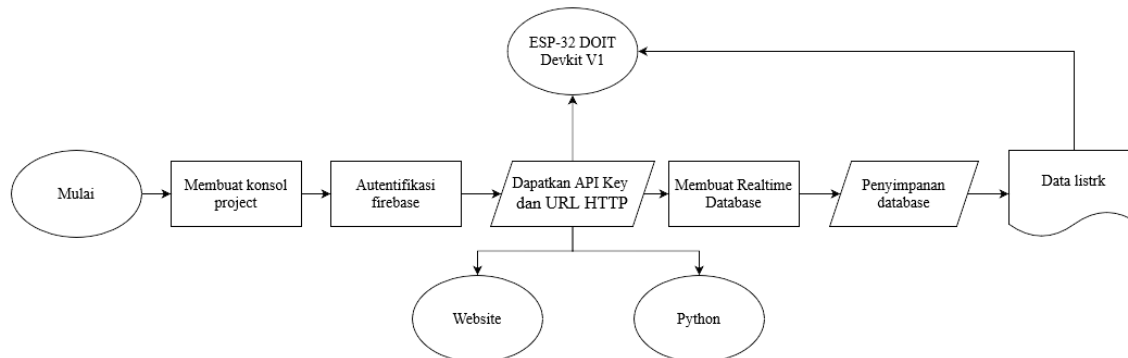


Gambar 3. Diagram alir sistem perangkat keras.

Gambar 4. Skema desain dari alat *monitoring* yang dirancang.

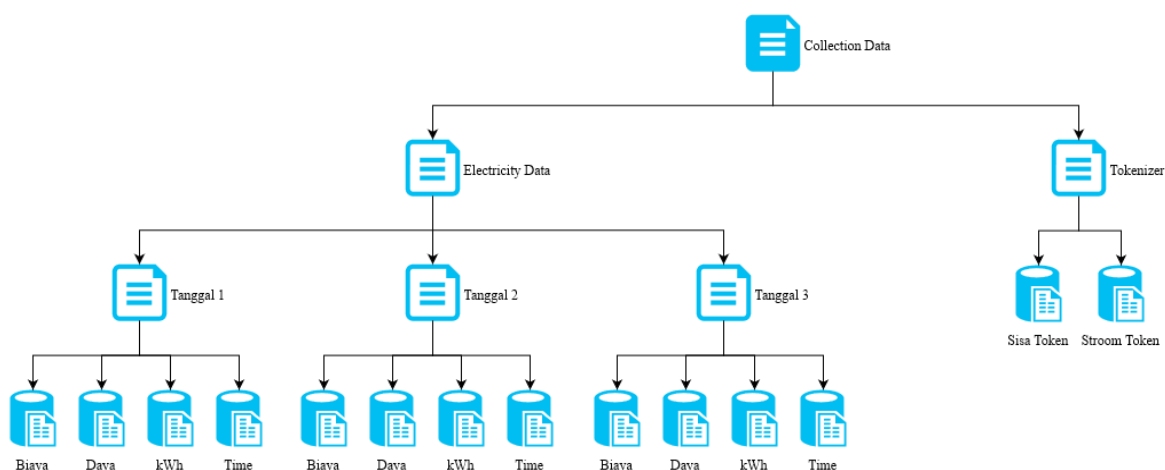
2.2. Perancangan Perangkat Lunak

Tahapan ini merupakan perancangan perangkat lunak yang dikembangkan berupa aplikasi berbasis *website* yang diintegrasikan dengan platform *Firebase*. Platform ini merupakan sebuah layanan penyimpanan data menggunakan teknologi *cloud* yang disediakan oleh Google Firebase [8]. Penyimpanan data dengan teknologi *cloud* memungkinkan aplikasi mengakses data secara *realtime*. Aplikasi ini dirancang menggunakan bahasa pemrograman *Python* untuk menyediakan *backend services* secara efisien. Adapun berikut diagram alir dari perancangan perangkat lunak berbasis *website* yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir perangkat lunak dari sistem *monitoring* yang dirancang.

Pada kerangka penelitian ini, aplikasi yang dirancang memiliki serangkaian fitur untuk memenuhi kebutuhan analisis yaitu *monitoring* penggunaan listrik yang dilengkapi dengan grafik analisis sehingga dapat menggambarkan pola konsumsi listrik pada waktu tertentu. Penggunaan metode grafik analisis bertujuan untuk memberikan visualisasi yang lebih baik terhadap tren penggunaan listrik sehingga dapat memperkuat analisis terhadap konsumsi energi listrik [19]. Kemudian, aplikasi ini juga terdapat halaman analisis konsumsi listrik menggunakan *fuzzy logic* untuk memprediksi konsumsi listrik setiap hari ke dalam tiga kategori yaitu hemat, normal, atau boros. Implementasi *fuzzy logic* pada aplikasi bertujuan untuk meningkatkan kesadaran pengguna dalam pengendalian energi listrik. Pada fitur lainnya terdapat kolom pengisian token listrik sehingga dapat memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan dan pembelian energi listrik. Adapun struktur data yang disimpan pada platform *Firebase* ditunjukkan pada Gambar 6.

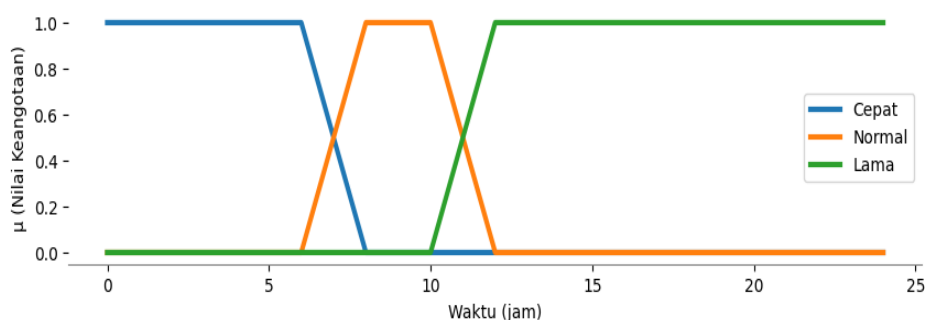


Gambar 6. Struktur data pada platform *Firebase*.

2.3. Perancangan *Fuzzy logic*

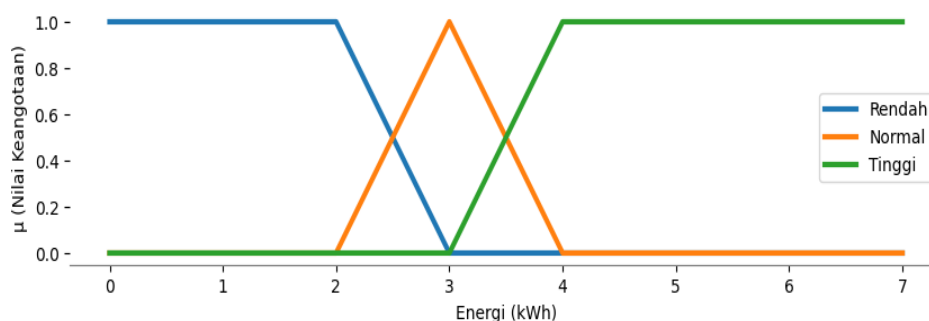
Perhitungan *fuzzy logic* digunakan untuk memprediksi kategori konsumsi energi listrik per hari. Tahapan pertama perlu dilakukan fuzzifikasi untuk merubah nilai *input* yang berbentuk pasti

menjadi bentuk *fuzzy* yang linguistik dan berbentuk himpunan *fuzzy* dan memiliki keanggotaan pada setiap masukannya [20]. Pada variabel *input* yang digunakan mencakup variabel waktu, variabel energi, variabel daya, dan variabel selisih biaya. Variabel waktu memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* berupa cepat, normal, dan lama. Kemudian, pada variabel energi dan variabel daya terdapat tiga nilai keanggotaan *fuzzy* yang meliputi rendah, normal, dan tinggi. Sedangkan, pada variabel selisih biaya memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* berupa murah, normal dan mahal. Pada penelitian ini, variabel waktu memiliki nilai keanggotaan mulai dari 0 - 24. Rentang nilai keanggotaan tersebut merupakan lama waktu selama satu hari dalam satuan jam dan memiliki fungsi keanggotaan cepat, normal, dan lama. Himpunan *fuzzy* keanggotaan cepat mempunyai domain 0, 6, dan 8. Kemudian, pada himpunan *fuzzy* dengan keanggotaan normal yaitu 6, 8, 10, dan 12. Sedangkan, pada himpunan *fuzzy* keanggotaan lama memiliki domain 10, 12, dan 24. Adapun berikut grafik fungsi keanggotaan pada variabel waktu disajikan pada Gambar 7.

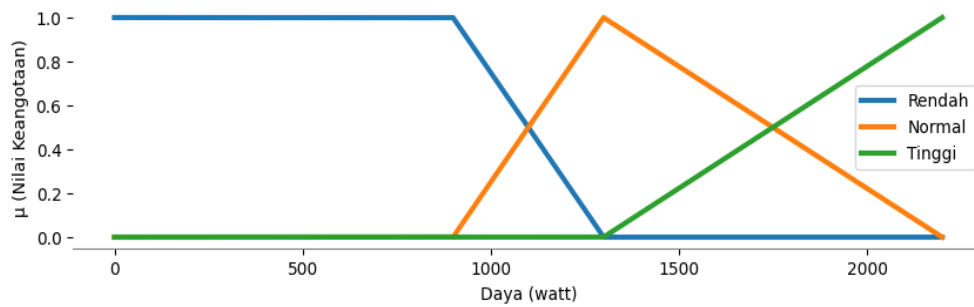


Gambar 7. Nilai keanggotaan variabel waktu.

Analisis variabel energi yang ditunjukkan oleh grafik fungsi keanggotaan pada Gambar 8, menunjukkan rentang nilai yang didefinisikan mulai dari 0 - 7. Rentang nilai variabel tersebut merupakan besaran penggunaan energi (kWh) selama periode satu hari. Pada variabel energi memiliki tiga fungsi keanggotaan yang meliputi rendah, normal, dan tinggi. Himpunan *fuzzy* keanggotaan rendah mempunyai domain 0, 2, dan 3. Kemudian, pada himpunan *fuzzy* dengan keanggotaan normal yaitu 2, 3, dan 4. Sedangkan, pada himpunan *fuzzy* keanggotaan tinggi memiliki domain 3, 4, dan 7. Variabel daya dalam konteks penggunaan harian memiliki rentang nilai keanggotaan mulai dari 0 - 2200 dalam satuan watt. Variabel ini juga memiliki fungsi keanggotaan rendah, normal, dan tinggi. Himpunan *fuzzy* keanggotaan rendah mempunyai domain 0, 900, dan 1300. Selanjutnya, pada himpunan *fuzzy* dengan keanggotaan normal yaitu 900, 1300, dan 2200. Sedangkan, pada himpunan *fuzzy* keanggotaan tinggi memiliki domain 1300 dan 2200. Grafik nilai keanggotaan dari variabel daya disajikan pada Gambar 9.



Gambar 8. Nilai keanggotaan variabel energi.



Gambar 9. Nilai keanggotaan variabel daya.

Variabel selisih biaya dihasilkan melalui estimasi dengan menghitung perbedaan rata-rata biaya pada tanggal tertentu (X_{bulan}) dengan rata-rata biaya pada tanggal yang sama pada bulan sebelumnya ($X_{\text{bulan-1}}$). Proses perhitungan ini mewakili prosedur perbandingan antar periode untuk menganalisis fluktuasi biaya pada interval waktu tertentu. Sebagai contoh, selisih biaya pada tanggal 5 Desember 2023 diperoleh melalui operasi pengurangan antara rata-rata biaya pada X_{bulan} dan rata-rata biaya pada tanggal 5 November 2023 ($X_{\text{bulan-1}}$). Adapun estimasi selisih biaya dapat dihitung menggunakan rumus berikut

$$SB = \frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{n}{k}\right) x_{\text{bulan}}}{n} - \frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{n}{k}\right) x_{\text{bulan-1}}}{n}. \quad (1)$$

Dimana:

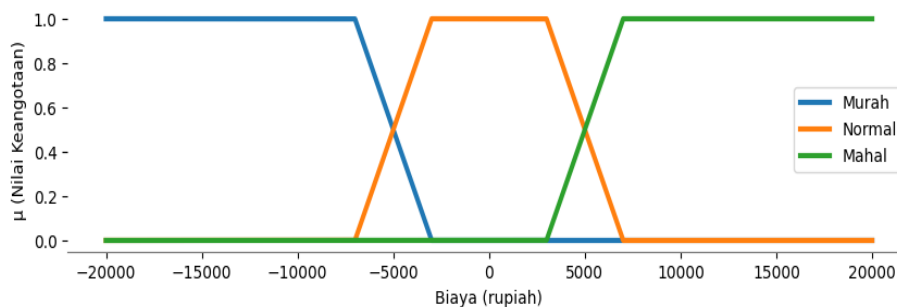
SB = Selisih biaya (Rp)

x_{bulan} = Biaya dari konsumsi listrik pada tanggal tertentu (Rp)

$x_{\text{bulan-1}}$ = Biaya dari konsumsi listrik pada tanggal yang sama pada bulan lalu (Rp)

n = Tanggal

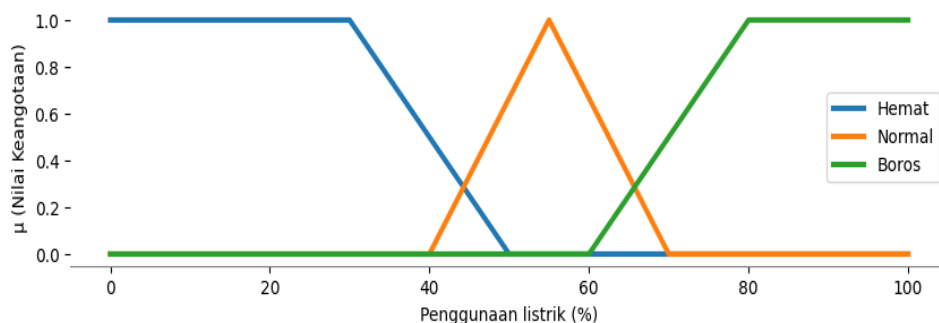
Berdasarkan grafik nilai keanggotaan variabel selisih biaya yang ditunjukkan pada Gambar 10, menunjukkan variabel selisih biaya rentang nilai keanggotaan mulai dari -20000 sampai 20000. Rentang nilai yang digunakan merupakan besaran selisih biaya selama satu hari dan memiliki fungsi keanggotaan normal dan boros. Himpunan *fuzzy* pada keanggotaan murah mempunyai domain -20000, -7000, dan -3000. Pada keanggotaan normal memiliki domain -7000, -3000, 3000, dan 7000. Sedangkan, pada keanggotaan mahal memiliki domain 3000, 7000, dan 20000.



Gambar 10. Nilai keanggotaan variabel selisih biaya.

Variabel *output* berfungsi untuk memprediksi penggunaan listrik berdasarkan konsumsi selama satu hari. Keluaran dari variabel ini memiliki rentang 0 - 100 dan memiliki fungsi keanggotaan hemat, normal, dan boros. Himpunan *fuzzy* pada keanggotaan hemat mempunyai domain 0, 30, dan 50. Pada himpunan *fuzzy* dengan keanggotaan normal yaitu 40, 55, dan 70.

Sedangkan, pada keanggotaan boros memiliki domain 60, 80, dan 100. Adapun grafik nilai keanggotaan dari variabel *output* penggunaan listrik disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Nilai keanggotaan variabel *output* penggunaan listrik.

Pemodelan *fuzzy* pada penelitian ini menggunakan model mamdani yang bertujuan untuk menangani kurva secara presisi ketika menghadapi nilai keanggotaan yang kompleks. Pada rancangan aturan *fuzzy logic* dibentuk berdasarkan pemetaan dari variabel *input* dan *output* sehingga memungkinkan sistem yang dibangun dapat berfungsi sesuai perintah tanpa harus melewati komposisi dan dekomposisi [21]. Variabel Waktu (W), Energi (E), Daya (D), dan Selisih Biaya (SB) diidentifikasi sebagai variabel *input* pada model *fuzzy logic* yang dikonstruksi. Sementara itu, variabel *output* untuk penggunaan listrik dalam *fuzzy logic* tersebut disebut sebagai (PL). Berikut merupakan aturan-aturan *fuzzy logic* dari sistem yang dirancang yang ditunjukkan pada Tabel 1.

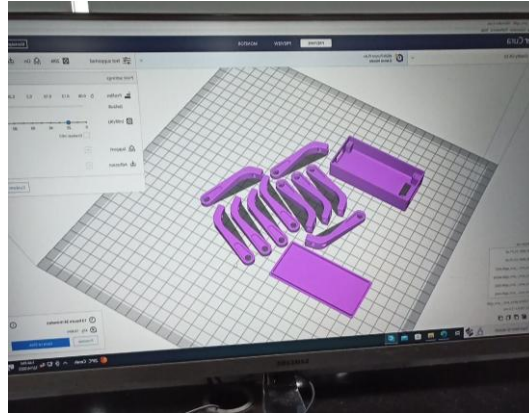
Tabel 1. Aturan-aturan *fuzzy logic* sistem pemantauan yang dirancang.

No.	Aturan Fuzzy
1	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
2	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
3	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Hemat"])
4	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
5	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
6	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
7	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
8	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Normal"])
9	IF (W["Cepat"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
10	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
11	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
12	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
13	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
14	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Normal"])
15	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
16	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
17	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Normal"])
18	IF (W["Cepat"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
19	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
20	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Boros"])
21	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Boros"])
22	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Boros"])
23	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Boros"])
24	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Boros"])
25	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Boros"])
26	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Boros"])
27	IF (W["Cepat"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Boros"])
28	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])

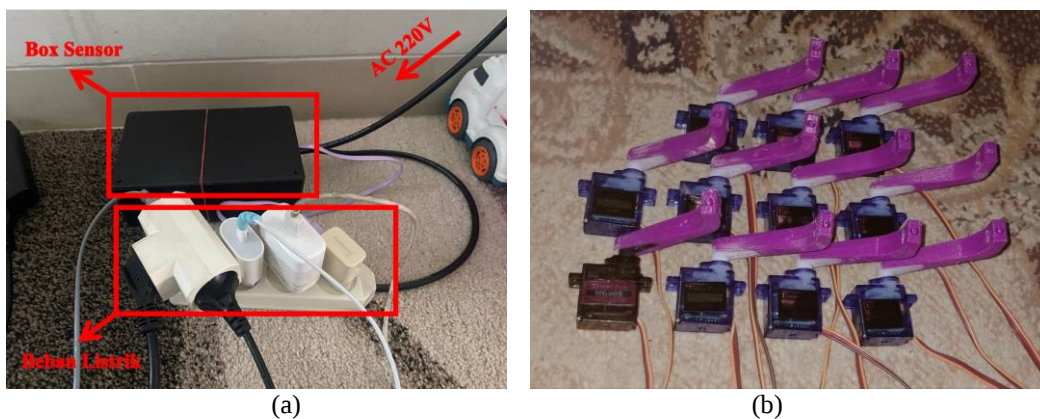
No.	Aturan Fuzzy
29	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
30	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Hemat"])
31	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
32	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
33	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Hemat"])
34	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
35	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Normal"])
36	IF (W["Normal"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
37	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
38	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Normal"])
39	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
40	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
41	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Normal"])
42	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
43	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
44	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Normal"])
45	IF (W["Normal"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
46	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
47	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Boros"])
48	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Boros"])
49	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Boros"])
50	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Boros"])
51	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Boros"])
52	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Boros"])
53	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Boros"])
54	IF (W["Normal"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Boros"])
55	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
56	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
57	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Hemat"])
58	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
59	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
60	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Hemat"])
61	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
62	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
63	IF (W["Lama"] & E["Rendah"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Hemat"])
64	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
65	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
66	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Hemat"])
67	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Hemat"])
68	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
69	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Hemat"])
70	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
71	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Normal"])
72	IF (W["Lama"] & E["Normal"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
73	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
74	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Hemat"])
75	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Rendah"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Normal"])
76	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Normal"])
77	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Boros"])
78	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Normal"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Boros"])
79	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Murah"]) THEN (PL["Boros"])
80	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Normal"]) THEN (PL["Boros"])
81	IF (W["Lama"] & E["Tinggi"] & D["Tinggi"] & SB["Mahal"]) THEN (PL["Boros"])

3. Hasil dan Pembahasan

Penyusunan perangkat keras dilakukan melalui tahapan perancangan yang menggunakan perangkat lunak SketchUp dan UltiMaker Cura. Pada perangkat keras terdapat *box sensor* yang terhubung dengan sumber listrik *Alternating Current (AC)* 220V serta beban listrik rumah tangga. Selain itu terdapat juga *arm robotic*, seperti yang disajikan dalam ilustrasi pada Gambar 12. Adapun perancangan dan gambaran rinci mengenai rancangan perangkat keras tersebut disajikan pada Gambar 13.



Gambar 12. Hasil rancangan 3D desain *case* perangkat keras.



Gambar 13. Tampilan hasil rancangan (a). Alat secara keseluruhan (b). *Arm robotic*.

Pengujian pada sistem meliputi pengujian seluruh komponen yang telah diintegrasikan, pada perangkat keras dilakukan pengujian dengan mengukur rata-rata kesalahan yang diukur menggunakan PZEM004T-100A. Sistem diuji dengan melakukan perbandingan hasil pengukuran tegangan dan arus dari sensor PZEM004T-100A dengan hasil pengukuran dari multimeter sebanyak 15 kali pada setiap beban listrik. Pengukuran arus pada sensor PZEM004T-100A menggunakan *current transformator (CT)* yang dilewatkan terhadap kabel fasa. Berdasarkan [9] perhitungan rata-rata kesalahan pengukuran akan dihitung menggunakan persamaan seperti berikut

$$Error (\%) = \left| \frac{(Output\ sistem - Output\ Pembandingan)}{Output\ Pembandingan} \right| \cdot 100\%. \quad (2)$$

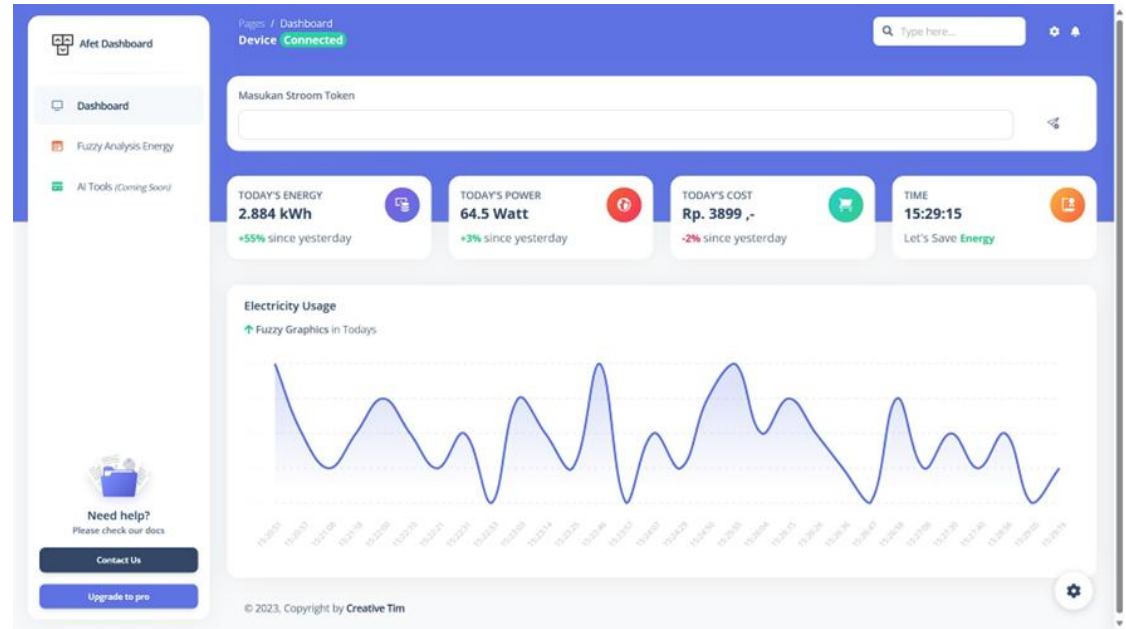
Kemudian, hasil pengukuran terhadap variabel tegangan dan arus pada setiap beban listrik sebanyak 15 kali akan diambil nilai rata-rata agar hasil pengukuran mendapatkan nilai kesalahan yang cukup baik. Hasil rata-rata kesalahan pengukuran sensor yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pengukuran antara sensor dengan multimeter pada variabel tegangan memiliki nilai rata-rata kesalahan sebesar 0,27% dan pengukuran pada variabel arus memiliki nilai rata-rata kesalahan sebesar 1,58%.

Tabel 2. Rata-rata kesalahan pengukuran sensor PZEM004T-100A.

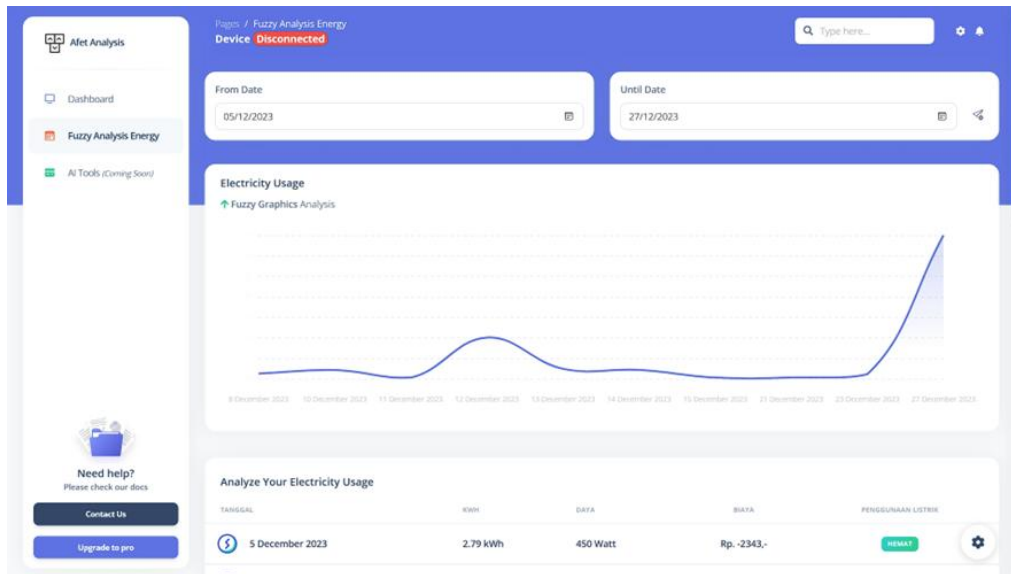
Pengujian	Nilai rata-rata tegangan (Volt)			Nilai rata-rata arus (Ampere)		
	Sistem	Multimeter	Error (%)	Sistem	Multimeter	Error (%)
Beban 1	210,7	211,5	0,37	2,18	2,125	2,58
Beban 2	217,3	218,1	0,36	4,19	4,13	1,45
Beban 3	219,1	219,6	0,22	5,96	5,89	1,18
Beban 4	216,4	216,7	0,13	3,05	3,017	1,09
Beban 5	220,3	220,9	0,27	7,27	7,21	0.83
	Rata-rata		0,27	Rata-rata		1,58

Tampilan pada perangkat lunak dari sistem *monitoring* yang dirancang secara keseluruhan disajikan pada Gambar 14, halaman *dashboard* menampilkan informasi konsumsi listrik pada waktu tertentu dan juga terdapat kolom *input stroom token*. Data listrik yang ditampilkan secara *realtime* pada halaman tersebut meliputi konsumsi energi, daya, biaya, dan waktu. Selain itu, terdapat juga grafik *fuzzy* penggunaan listrik dalam waktu ke waktu guna memantau energi yang digunakan. Fitur lainnya terdapat pada halaman *fuzzy analysis energi* untuk melakukan analisa yang dihasilkan oleh *fuzzy logic* pada sistem sehingga pengguna dapat mengetahui kategori hemat, normal, atau boros berdasarkan penggunaan listrik hariannya.

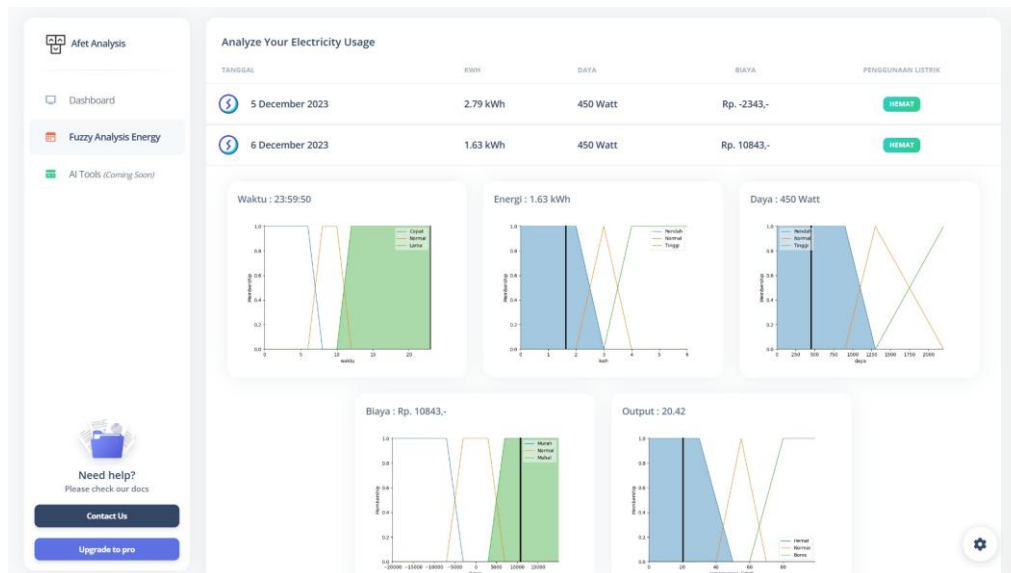
Hasil rancangan desain dari sistem *fuzzy logic* yang diuji melalui simulasi Matlab. Proses pengambilan data dilakukan dengan menguji *server* selama periode 15 hari. Data yang diperoleh dari pengujian ini akan digunakan untuk membandingkan perhitungan yang dilakukan oleh sistem dengan hasil perhitungan yang dihasilkan oleh Matlab. Beberapa sampel dari hasil uji perhitungan sistem yang dibangun dibandingkan dengan simulasi Matlab disajikan pada Gambar 15. Hasil ini menunjukkan kinerja dan akurasi sistem *fuzzy logic* yang dirancang.



(a)

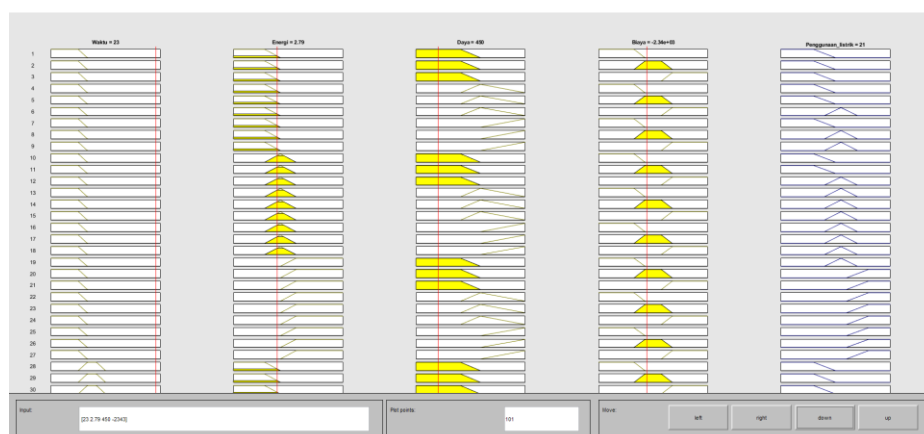


(b)



(c)

Gambar 14. Tampilan aplikasi *website* sistem *monitoring* (a). Halaman *dashboard* (b). Halaman *fuzzy analysis* (c). Tampilan grafik *fuzzy logic*



Gambar 15. Sampel hasil perhitungan *fuzzy* dari sistem dan Matlab.

Selanjutnya, hasil perhitungan dari kedua metode akan dibandingkan dengan menghitung selisihnya menggunakan persamaan (2) untuk menentukan nilai kesalahan yang dihasilkan oleh sistem. Berdasarkan Tabel 3, dapat diamati bahwa nilai rata-rata kesalahan yang diperoleh dari algoritma *fuzzy* yang dibangun dibandingkan dengan perhitungan menggunakan Matlab adalah sebesar 0,71%. Tabel 3 menyajikan secara rinci hasil perhitungan rata-rata nilai kesalahan yang diperoleh dari implementasi *fuzzy logic*.

Tabel 3. Nilai rata-rata kesalahan perhitungan *fuzzy logic*.

Tanggal Pengujian	Output		
	Sistem	Matlab	Error (%)
05-12-2023	21,2	21	0,94
06-12-2023	20,4	20,2	0,98
07-12-2023	20,5	20,3	0,97
08-12-2023	21,3	21,1	0,93
10-12-2023	22,2	22	0,9
11-12-2023	20,4	20,2	0,98
12-12-2023	30,1	29,9	0,66
13-12-2023	22,5	22,4	0,44
14-12-2023	22,2	22,1	0,45
15-12-2023	20,4	20,2	0,98
21-12-2023	20,4	20,2	0,98
23-12-2023	21,2	21,1	0,47
27-12-2023	55	55	0
30-12-2023	21,4	21,3	0,46
31-12-2023	20,9	20,8	0,47
Rata-rata			0,71

Sistem monitoring berbasis IoT yang dipadukan dengan *fuzzy logic* telah terbukti efektif dalam mengendalikan dan memantau konsumsi energi listrik secara *real-time* dan penggunaan *arm robotic* dalam pengisian token listrik otomatis dapat meningkatkan aksesibilitas masyarakat terhadap informasi penggunaan energi yang sedang digunakan. Menurut penelitian oleh [22], penggunaan teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data konsumsi listrik yang akurat dan berkesinambungan yang kemudian dianalisis menggunakan algoritma *fuzzy logic* untuk mengkategorikan penggunaan listrik ke dalam kategori hemat, normal, dan boros. Analisis tersebut membantu pengguna memahami pola konsumsi mereka dan memberikan rekomendasi praktis untuk mengurangi pemborosan energi.

4. Kesimpulan

Perancangan sistem *monitoring* listrik berbasis IoT dan *fuzzy logic* bertujuan untuk menyediakan informasi rinci mengenai konsumsi listrik harian serta meningkatkan aksesibilitas melalui penggunaan *arm robotic* yang memungkinkan pengguna untuk mengisi token listrik secara otomatis. Penyajian visualisasi hasil analisis perhitungan *fuzzy* pada *website* yang dibangun memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis lebih mendalam, sehingga diharapkan dapat mengelola energi listrik dengan efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan dengan cukup baik, meskipun terdapat ketidakakuratan pada pengukuran variabel tegangan dan arus sensor PZEM004T-100A, masing-masing sebesar 0,27% dan 1,58%. Selain itu, tercatat ketidakakuratan pada perhitungan algoritma *fuzzy* sebesar 0,71%. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun ada beberapa ketidakakuratan, kinerja sistem masih dapat berjalan secara efektif. Pengembangan selanjutnya dalam penelitian ini melibatkan integrasi teknologi *artificial intelligence* untuk melakukan prediksi biaya konsumsi listrik di masa depan berdasarkan riwayat penggunaan listrik sebelumnya. Pendekatan pemodelan yang digunakan adalah model deret waktu (*time series*), memungkinkan pengguna untuk memperoleh perkiraan kisaran biaya yang akan dibayarkan pada periode mendatang. Dengan demikian, peningkatan ini diharapkan

dapat meningkatkan tingkat keefisienan dan keberlanjutan penggunaan energi listrik dalam konteks sistem yang dikembangkan.

Referensi

- [1] A. D. Pangestu, F. Ardianto, dan B. Alfaresi, "Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino NodeMCU ESP8266," *Jurnal Ampere*, vol. 4, no. 1, hlm. 187–197, 2019, doi: <https://doi.org/10.31851/ampere.v4i1.2745>.
- [2] I. S. Hudan dan T. Rijianto, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Pada Kamar Kos Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 1, hlm. 91–99, 2019.
- [3] A. R. Mawali dan W. Aribowo, "Rancang Bangun Pemantauan Pembayaran dan Konsumsi Listrik Jarak Jauh Berbasis Arduino UNO R3 dan Modul Bluetooth," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, hlm. 285–291, 2020.
- [4] D. A. Putra dan R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Realtime," *Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika*, vol. 8, no. 2, hlm. 26–34, Jun 2020, doi: <https://doi.org/10.24036/voteteknika.v8i2.109138>.
- [5] B. Prayitno, P. Palupiningsih, dan H. B. Agtriadi, "Prototipe Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Perlatan Elektronik Rumah Tangga Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Petir*, vol. 12, no. 1, hlm. 72–80, Mar 2019, doi: <https://doi.org/10.33322/petir.v12i1.333>.
- [6] Mario, B. P. Lapanporo, dan Muliadi, "Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring Penggunaan Daya Listrik Pada Beban Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler ATmega328P," *PRISMA FISIKA*, vol. 6, no. 01, hlm. 26–33, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.26418/pf.v6i1.23339>.
- [7] G. Herandy dan B. Suprianto, "Monitoring Biaya Dan Pengukuran Konsumsi Daya Listrik Berbasis Arduino MEGA2560 Menggunakan Web," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 3, hlm. 695–702, 2019.
- [8] R. D. Alfian, S. I. Haryudo, U. T. Kartini, dan N. Kholis, "Rancang Bangun Alat Monitoring Pemakaian Tarif Listrik Dan Kontrol Daya Listrik Pada Rumah Kos Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, hlm. 661–670, 2021.
- [9] J. W. Jokanan, A. Widodo, N. Kholis, dan L. Rakhmawati, "Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase Dan Aplikasi Android," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, hlm. 47–55, 2022, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p47-55>.
- [10] B. Kurniawan, A. Lomi, dan A. Faisol, "Rancang Bangun Sistem Smart Power Untuk Mengontrol Dan Memonitor Energi Listrik Berbasis Internet Of Things (IoT)," *Jurnal Teknik Elektro*, hlm. 1–8, 2020.
- [11] H. Suprpto dan P. Simanjuntak, "Fuzzy Logic Untuk Memprediksi Pemakaian Listrik Menggunakan Metode Mamdani," *JURNAL COMASIE*, vol. 3, no. 2, hlm. 31–39, 2020.
- [12] M. I. Hadi, S. R. Akbar, dan R. Maulana, "Implementasi Sistem Real Time Peringatan Kebakaran Pada Terminal Listrik Rumah Tangga," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 2, hlm. 2036–2042, Feb 2019.
- [13] W. Suteddy, D. A. Atmanto, R. Nuriman, dan A. Ansori, "Prototype Application of Crowd Detection System for Traditional Market Visitor Based on IOT using RFID MFRC22," *JTIULM*, vol. 7, no. 1, hlm. 23–30, 2022, doi: <https://doi.org/10.20527/jtiulm.v7i1.117>.
- [14] H. Awal, "Perancangan Prototype Smart Home Dengan Konsep Internet Of Thing (IoT) Berbasis Web Server," *Majalah Ilmiah UPI YPTK*, vol. 26, no. 2, hlm. 64–79, 2019, doi: <https://doi.org/10.35134/jmi.v26i2.53>.
- [15] A. Hanif dan R. Amri, "Implementasi Internet Of Things Pada Protokol MQTT Dan HTTP Dalam Sistem Pendeteksi Banjir," *Jurnal Invotek Polbeng - Seri Informatika*, vol. 8, no. 2, hlm. 489–501, 2023, doi: <https://doi.org/10.35314/isi.v8i2.3767>.
- [16] M. Haikal, Mursyidah, dan M. Nasir, "Penerapan IoT (Internet Of Thing) Pada Sistem Monitoring Dan Kontrol Aquarium Berbasis Web Service," *Jurnal Teknologi Rekayasa Informasi dan Komputer*, vol. 6, no. 1, hlm. 1–7, Sep 2022.
- [17] J. Prayudha, A. Pranata, dan H. Prastyo, "Implementasi Teknik Komunikasi Serial Half Duplex Pada Kendali Jarak Jauh Lampu Ruangan Rumah Berbasis Internet Of Things (IOT)," *J-SISKO TECH*, vol. 3, no. 1, hlm. 32–40, 2020, doi: <https://doi.org/10.53513/jsk.v3i1.193>.
- [18] F. Razak, Y. Away, dan R. Munadi, "Sistem Webgis Dan Multi Sensor Untuk Pemantauan Air Berbasis Realtime Operating System," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi (Jatisi)*, vol. 9, no. 4, hlm. 2843–2861, 2022, doi: <https://doi.org/10.35957/jatisi.v9i4.2369>.
- [19] M. Radhi, D. R. H. Sitompul, S. H. Sinurat, dan E. Indra, "Analisis Big Data Dengan Metode Exploratory Daya Analysis (EDA) Dan Metode Visualisasi Menggunakan Jupyter Notebook," *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer Prima*, vol. 4, no. 2, hlm. 23–27, Feb 2021, doi: <https://doi.org/10.34012/jurnalsisteminformasidanilmukomputer.v4i2.2475>.

- [20] N. K. Ningrum, I. U. W. Mulyono, K. Widyatmoko, dan Z. Umami, "Implementation Of Fuzzy Membership Function to Determine Automatic Watering Time," *JTIULM*, vol. 8, no. 2, hlm. 79–86, Okt 2023, doi: <https://doi.org/10.20527/jtiulm.v8i2.179>.
- [21] M. Y. T. Irsan, M. I. Kasau, dan I. P. Simbolon, "Penggunaan Fuzzy Logic & Metode Mamdani untuk Menghitung Pembelian, Penjualan dan Persediaan," *JAAF (Journal of Applied Accounting and Finance)*, vol. 3, no. 1, hlm. 37–48, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.33021/jaaf.v3i1.677>.
- [22] A. Y. B. Dawe, P. D. P. Adi, dan W. Dirgantara, "Electricity Monitoring System Based on Fuzzy Logic and Internet of Things," *Internet of Things and Artificial Intelligence Journal*, vol. 1, no. 2, hlm. 63–80, Mei 2021, doi: <https://doi.org/10.31763/iota.v1i2.459>.