

# Monitoring Konsumsi Energi LPJU Panel Surya Berbasis LoRa dengan *Fuzzy Inference System*

## *Energy Consumption Monitoring of Solar-Powered Street Lighting Using LoRa and Fuzzy Inference System*

Fachrul Rozie\*  
Prodi Teknologi Listrik  
Politeknik Negeri Ketapang  
Ketapang, Indonesia  
fachrul.rozie@politap.ac.id

Yudi Chandra  
Prodi Teknologi Listrik  
Politeknik Negeri Ketapang  
Ketapang, Indonesia  
yudi.chandra@politap.ac.id

Ivan Suwanda  
Prodi Teknologi Listrik  
Politeknik Negeri Ketapang  
Ketapang, Indonesia  
ivan.suwanda@politap.ac.id

Diterima : Oktober 2024  
Disetujui : Desember 2024  
Dipublikasi : Januari 2025

**Abstrak**—Lampu Penerangan Jalan merupakan infrastruktur vital yang membutuhkan pengelolaan energi efisien untuk mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan. Penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) seperti Long Range (LoRa) pada sistem monitoring energi LPJU menawarkan solusi pemantauan dan pengendalian konsumsi energi secara real-time dengan biaya rendah dan jangkauan luas. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengimplementasikan sistem pemantauan konsumsi energi LPJU menggunakan LoRa, serta mengevaluasi kinerja sistem dalam hal akurasi pemantauan, keandalan, dan efisiensi energi. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem, pengembangan perangkat keras dan lunak, serta pengujian dan validasi. Sistem ini diuji di lingkungan terkendali untuk memastikan akurasi dan keandalan. Analisis data dilakukan untuk mengidentifikasi pola konsumsi energi dan potensi penghematan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan sistem panel surya meningkat selama siang hari seiring intensitas sinar matahari, sementara arus digunakan saat lampu menyala menjelang malam. Pada pukul 19.30, konsumsi daya maksimum berada dalam kisaran ideal, dan tegangan menurun seiring penggunaan lampu. Analisis data menggunakan MATLAB menunjukkan nilai efisiensi daya normal sistem ini adalah 50%.

**Kata Kunci**—Lampu Jalan Umum; LoRa; Fuzzy Inference System

*Street lighting is a vital infrastructure requiring efficient energy management to reduce operational costs and environmental impact. The use of Internet of Things (IoT) technology like Long Range (LoRa) in energy monitoring systems for street lighting offers a solution for real-time monitoring and control of energy consumption with low cost and wide coverage. This research aims to develop and implement an energy consumption monitoring system for street lighting using LoRa technology, evaluating system performance in terms of monitoring accuracy, reliability, and energy efficiency. The research stages*

*include literature review, system design, hardware and software development, as well as testing and validation. The system is tested in a controlled environment to ensure accuracy and reliability. Data analysis is conducted to identify energy consumption patterns and potential savings. Results show that the voltage of the solar panel system increases during the day with sunlight intensity, while current is utilized as the lights turn on towards the evening. At 19:30, maximum power consumption is within the ideal range, with voltage gradually decreasing as the lights are used. MATLAB analysis reveals a normal energy efficiency value of 50% for the system.*

**Keywords**—Street Light; LoRa; Fuzzy Inference System

### I. PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Lampu penerangan jalan (LPJ) merupakan elemen vital dalam infrastruktur perkotaan dan pedesaan. Mereka tidak hanya meningkatkan keamanan dan kenyamanan masyarakat, tetapi juga berkontribusi pada penurunan tingkat kecelakaan lalu lintas dan kriminalitas [1]. Namun, sistem penerangan jalan yang konvensional sering kali menghadapi tantangan besar dalam hal konsumsi energi yang tinggi dan biaya operasional yang mahal [2]. Penggunaan energi yang tidak efisien ini berdampak signifikan pada pengeluaran anggaran pemerintah daerah serta kontribusi terhadap jejak karbon yang besar [3].

Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif untuk LPJ telah diimplementasikan di berbagai tempat [4]. Sistem ini menawarkan solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan memanfaatkan energi matahari yang melimpah [5]. Namun, tantangan lain muncul terkait dengan pemantauan dan pengelolaan konsumsi energi dari LPJ berbasis panel surya. Sistem pemantauan yang efektif sangat diperlukan untuk memastikan bahwa setiap unit beroperasi dengan

efisien dan untuk mendeteksi masalah operasional secara cepat [6].

Teknologi Long Range (LoRa) muncul sebagai solusi yang inovatif dalam komunikasi nirkabel jarak jauh dengan konsumsi daya rendah [7]. LoRa memungkinkan pengiriman data secara real-time dari LPJ ke pusat kontrol dengan jangkauan yang luas dan biaya yang relatif rendah [8]. Penggunaan LoRa dalam sistem pemantauan energi LPJ berbasis panel surya dapat meningkatkan efisiensi operasional dan memastikan pengelolaan energi yang lebih baik [9].

#### A. Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan permasalahan yang akan diteliti adalah sebagai berikut: Bagaimana merancang sistem pemantauan konsumsi energi yang efisien untuk LPJ berbasis panel surya menggunakan teknologi LoRa dengan metode FIS?

Dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan efisiensi energi dan pengelolaan LPJ berbasis panel surya, serta memberikan model yang dapat diadopsi oleh berbagai daerah untuk mencapai keberlanjutan energi.

#### B. Pendekatan Pemecahan Masalah

Langkah pertama dalam menyelesaikan masalah ini adalah merancang sistem pemantauan konsumsi energi yang efisien untuk lampu penerangan jalan berbasis panel surya menggunakan teknologi LoRa. Tahapan ini mencakup:

- Studi Kebutuhan Sistem: Identifikasi kebutuhan spesifik dari sistem pemantauan, termasuk jenis data yang perlu dikumpulkan (misalnya, konsumsi energi, status operasional lampu, output panel surya) dan frekuensi pengumpulan data.
- Desain Arsitektur Sistem: Mengembangkan arsitektur sistem yang mencakup sensor energi, modul komunikasi LoRa, dan pusat kontrol. Arsitektur ini harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti daya tahan baterai, jangkauan komunikasi, dan keandalan data.
- Prototyping dan Pengujian: Membuat prototipe sistem pemantauan dan melakukan uji coba untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dalam kondisi lingkungan yang bervariasi untuk menilai keandalan sistem.

#### C. Pengujian Keandalan dan Akurasi Data

Untuk memastikan keandalan dan akurasi data yang dikirimkan melalui jaringan LoRa, beberapa langkah perlu dilakukan:

- Pengujian Lapangan: Melakukan pengujian di berbagai lokasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda (urban, suburban, rural) untuk mengevaluasi performa jaringan LoRa dalam hal jangkauan dan kualitas sinyal.
- Validasi Data: Membandingkan data yang dikumpulkan oleh sistem pemantauan dengan data referensi dari alat ukur yang sudah terkalibrasi untuk memastikan akurasi.
- Pengujian Ketahanan: Menguji ketahanan sistem terhadap gangguan seperti cuaca buruk atau interferensi

elektromagnetik untuk memastikan data tetap dapat dikirim dengan benar.

#### D. Evaluasi Efisiensi Energi dan Biaya Operasional

Evaluasi dampak penerapan sistem pemantauan terhadap efisiensi energi dan biaya operasional dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- Analisis Konsumsi Energi: Mengumpulkan dan menganalisis data konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan sistem pemantauan untuk mengidentifikasi penghematan energi yang dicapai.
- Deteksi Dini Masalah LPJ
- Untuk memastikan sistem ini dapat mendeteksi dan merespon masalah operasional pada lampu penerangan jalan secara real-time, diperlukan:
- Integrasi Sensor Deteksi Masalah: Mengintegrasikan sensor yang dapat mendeteksi kerusakan atau penurunan kinerja pada lampu penerangan jalan, seperti sensor suhu, kelembaban, dan sensor cahaya.
- Pengembangan Mekanisme Notifikasi Otomatis: Membuat sistem notifikasi otomatis yang mengirimkan alert ke tim pemeliharaan jika terdeteksi masalah pada lampu penerangan jalan. Notifikasi ini bisa dikirim melalui SMS, email, atau aplikasi mobile.
- Sistem Respon Cepat: Menyediakan prosedur respon cepat bagi tim pemeliharaan untuk menangani masalah yang terdeteksi, termasuk akses langsung ke data diagnosis yang relevan dan panduan troubleshooting.

#### E. State of the art dan Kebaruan

##### State of the Art

Penelitian dan implementasi sistem pemantauan energi untuk lampu penerangan jalan (LPJ) berbasis panel surya telah menjadi fokus banyak studi dalam beberapa tahun terakhir. Berikut ini adalah beberapa pencapaian utama dalam bidang ini:

- Integrasi Panel Surya: Integrasi panel surya akan membuat penggunaan energi listrik lebih hemat. Penggunaan panel surya untuk lampu penerangan jalan telah berkembang pesat, memberikan solusi energi terbarukan yang mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. Sistem ini terbukti mampu mengurangi biaya operasional jangka panjang dan jejak karbon, sejalan dengan target keberlanjutan global [1].
- Pemantauan dan Kontrol Energi: Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan dan kontrol untuk LPJ berbasis panel surya, dengan menggunakan berbagai teknologi komunikasi seperti GSM, ZigBee, dan Wi-Fi, sistem pemantau akan mempermudah pengguna dalam mengetahui kondisi peralatan [2]. Sistem ini memungkinkan pengumpulan data secara real-time terkait konsumsi energi dan status operasional LPJ, memberikan wawasan penting untuk pengelolaan dan pemeliharaan [3]. sistem monitoring akan membantu dalam meningkatkan efisiensi kerja suatu sistem [4]
- Teknologi LoRa (Long Range): LoRa adalah teknologi komunikasi nirkabel yang menonjol karena jangkauan luas dan konsumsi daya

rendahnya, menjadikannya ideal untuk aplikasi Internet of Things (IoT) [5].

LoRa memungkinkan komunikasi jarak jauh antara sensor dan pusat kontrol, bahkan di lingkungan yang sulit dijangkau oleh teknologi lain [6]. Penggunaan IoT diharapkan akan membantu dalam memastikan sistem bisa dipantau dari jauh secara realtime [7]

- Efisiensi dan Keandalan Sistem:  
Penggunaan algoritma optimasi dan pembelajaran mesin dalam sistem pemantauan telah diusulkan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan LPJ berbasis panel surya [8] Implementasi jaringan mesh LoRa juga telah diteliti untuk meningkatkan keandalan komunikasi dan daya tahan sistem [9]. Logika fuzzy akan membantu dalam mempermudah dalam penentuan efisiensi [10]
- Integrasi Penuh LoRa dengan Panel Surya:  
Penelitian ini berfokus pada integrasi penuh teknologi LoRa dengan sistem LPJ berbasis panel surya, yang belum banyak dieksplorasi dalam konteks Indonesia. Pendekatan ini memastikan komunikasi data yang lebih andal dan jangkauan yang lebih luas, khususnya di daerah pedesaan atau terpencil [11].
- Pengembangan Aplikasi Mobile untuk Monitoring:  
Inovasi ini mencakup pengembangan aplikasi mobile yang memungkinkan pemantauan dan kontrol LPJ secara real-time. Aplikasi ini memberikan notifikasi instan kepada operator mengenai status operasional dan potensi masalah pada LPJ [12].
- Analisis Prediktif untuk Efisiensi Energi:  
Penelitian ini menggunakan algoritma pembelajaran mesin untuk menganalisis data konsumsi energi dan memberikan prediksi terkait efisiensi energi serta deteksi dini anomali atau kerusakan [13]. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi downtime .
- Sistem Respon Cepat dan Notifikasi Otomatis:  
Sistem ini dilengkapi dengan mekanisme notifikasi otomatis yang mengirimkan alert secara real-time ke tim pemeliharaan saat terdeteksi masalah pada LPJ. Ini memungkinkan respon yang cepat dan efektif untuk mengurangi downtime dan kerusakan lebih lanjut [14].
- Evaluasi Komprehensif Efisiensi Energi dan Biaya Operasional:  
Penelitian ini melakukan evaluasi menyeluruh terhadap dampak sistem pemantauan terhadap efisiensi energi dan biaya operasional LPJ berbasis panel surya. Analisis ini mencakup studi cost-benefit yang mendalam untuk menilai keuntungan ekonomi dari sistem yang diusulkan [15]. Dengan beberapa inovasi-inovasi dari penelitian tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengelolaan dan pemantauan LPJ berbasis panel surya yang lebih efisien dan andal, serta mendukung pencapaian tujuan keberlanjutan energi di Indonesia dan secara global.

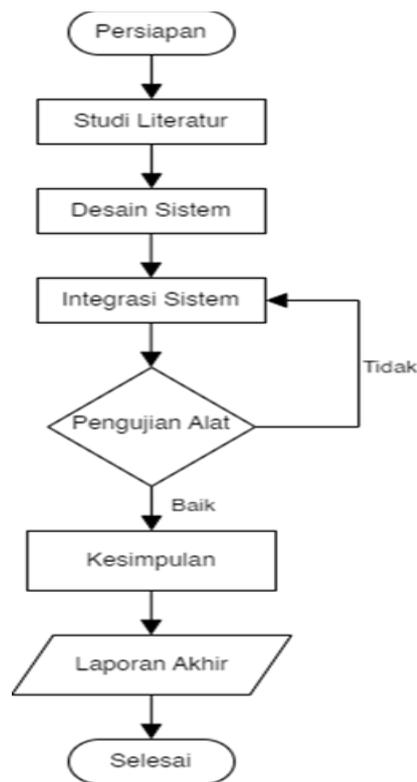
### Kebaruan

Penelitian ini menawarkan beberapa inovasi yang membedakannya dari studi sebelumnya dan berkontribusi pada perkembangan lebih lanjut di bidang ini yaitu membuat sistem pemantauan LPJU panel surya berbasis LoRa dengan metode Fuzy Inference System, metode ini digunakan untuk melihat efisiensi daya LPJU kemudian

juga mengendalikan nyala dan mati lampu pada kondisi tertentu.

## II. METODE

Metode penelitian ini dirancang untuk mengembangkan, menguji, dan mengimplementasikan sistem pemantauan konsumsi energi untuk lampu penerangan jalan berbasis panel surya menggunakan teknologi LoRa. Proses ini akan mencakup beberapa tahapan penting, mulai dari studi literatur hingga penerapan skala penuh dan evaluasi keberhasilan. Setiap tahapan akan dijelaskan secara rinci untuk memastikan pencapaian tujuan yang telah ditetapkan.



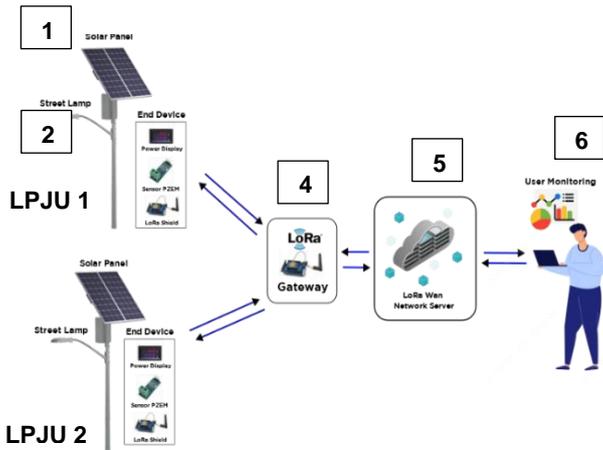
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### A. Studi Literatur dan Analisis Kebutuhan Sistem

Gambar 1 menunjukkan tahapan dari penelitian yaitu dimulai dari Studi Literatur mengumpulkan dan menganalisis literatur terkait teknologi LoRa, sistem penerangan jalan berbasis panel surya, dan sistem pemantauan energi. Menyusun tinjauan pustaka untuk memahami state of the art dan mengidentifikasi gap dalam penelitian yang ada. Analisis kebutuhan sistem mengidentifikasi kebutuhan pengguna dan spesifikasi teknis sistem. Melakukan survei dan wawancara dengan pemangku kepentingan (misalnya, pemerintah daerah, perusahaan energi, dan masyarakat) untuk menentukan kebutuhan dan harapan mereka.

### B. Desain dan Pengembangan Prototipe

Pada Gambar 2 menunjukkan Desain sistem dari penelitian Arsitektur Sistem yang mencakup komponen-komponen utama:



#### Keterangan Gambar:

1. Panel Surya Sistem
2. Lampu Jalan
3. End Device
4. Gateway
5. Lora Wan Server
6. User Monitoring

Gambar 2. Desain Sistem

#### 1. Panel Surya Sistem

Sistem ini bekerja dengan mengonversi sinar matahari menjadi energi listrik melalui modul fotovoltaik (PV), yang kemudian disimpan dalam baterai untuk digunakan di malam hari. Pada sistem ini terdapat baterai dan juga Solar Charge Controller dimana saat siang hari, panel surya mengisi baterai, sedangkan pada malam hari energi dari baterai ini digunakan untuk menyalakan lampu jalan serta sistem Monitoring LoRa.

#### 2. Lampu Jalan

Lampu pada sistem Lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) berperan penting dalam menerangi jalan untuk meningkatkan visibilitas dan keamanan pada malam hari yang merupakan salah satu objek yang dikendalikan.

#### 3. End Device

Merupakan komponen yang terdapat sistem LoRa sebagai pengolah data sensor untuk monitoring daya baterai sekaligus mengendalikan nyala lampu dengan metode FIS dan mengirim data hasil pengukuran sensor ke Gateway.

#### 4. Gateway

Merupakan komponen yang akan menerima sinyal dan data pengukuran sensor dari End Device LPJU 1 dan LPJU 2 untuk disimpan ke Lora Wan Server.

#### 5. Lora Wan Server

Server yang nantinya akan menerima dan meneruskan data ke pengguna yang akan memantau data sensor.

#### 6. User Monitoring.

Pengguna yang melakukan pemantauan terhadap daya LPJU dan melakukan evaluasi sistem.

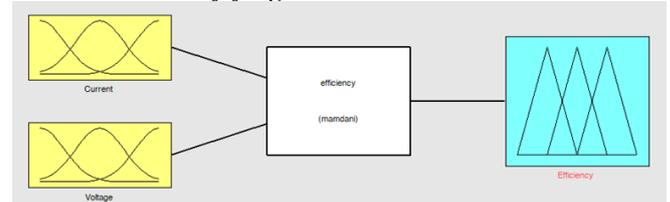
Pada sistem yang ditunjukkan oleh gambar 2 ini menggambarkan alur data dari sensor ke pusat kontrol. Pemilihan komponen hardware yang sesuai berdasarkan spesifikasi kebutuhan sistem akan membantu dalam mengembangkan sistem dengan baik dan membantu dalam menentukan dalam membuat perangkat lunak untuk mengumpulkan, mengirim, dan menganalisis data energi. Penerapan LPJU berbasis panel surya dengan teknologi LoRa dan Fuzzy Inference System (FIS) memberikan dampak positif pada lingkungan dan ekonomi. Dari sisi lingkungan, penggunaan energi surya mengurangi emisi karbon dan ketergantungan pada energi fosil, mendukung keberlanjutan energi bersih. Teknologi LoRa memungkinkan pemantauan konsumsi energi jarak jauh secara efisien, sedangkan FIS membantu mengoptimalkan penggunaan energi sehingga lampu hanya menyala saat diperlukan, menghemat daya dan memperpanjang umur baterai. Dari sisi ekonomi, efisiensi ini mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan karena minimnya konsumsi daya serta pengurangan frekuensi penggantian komponen.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap pertama pada penelitian ini dilakukan studi literatur, terkait dengan komponen apa saja yang diperlukan, dari segi model kendali yang akan diangkat, kemudian variabel yang diperlukan.

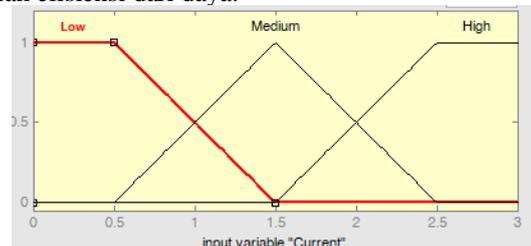
Tahap kedua membuat desain sistem

Progres penelitian saat ini sudah sampai pada tahap pengujian model, model yang dibuat pada penelitian ini adalah dengan Fuzzy Inferensi Sistem dengan, berikut adalah model fuzzy yang dibuat :



Gambar 3. Model Fuzzy

Gambar 3 merupakan model fuzzy yang akan dibuat dengan 2 input dan 1 output, fuzzy yang dibuat adalah fuzzy mamdani, untuk input yaitu terdiri dari parameter tegangan dan parameter arus, sedangkan untuk output yaitu adalah efisiensi dari daya.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan input Arus

Pada gambar 4 adalah gambar dari fungsi keanggotaan dari input, dimana variabel inputnya ada 2 yaitu variabel arus dan variabel tegangan untuk variabel input dari arus memiliki 3 fungsi keanggotaan yaitu :

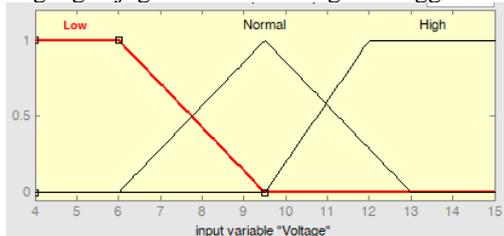
- Low : [0 0 0.5 1.5]
- Medium : [0.5 1.5 2.5]
- High : [1.5 2.5 3 3]

$$\mu_{T.Low}(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 0,5 \\ \frac{1,5-x}{1,5-0,5} & ; 0,5 \leq x \leq 1,5 \\ 0 & ; 1,5 \geq x \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{T.Medium}(x) = \begin{cases} \frac{x-0,5}{1,5-0,5} & ; 0,5 \leq x \leq 1,5 \\ \frac{2,5-x}{2,5-1,5} & ; 1,5 \leq x \leq 2,5 \\ 0 & ; 2,5 \geq x \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{T.High}(x) = \begin{cases} \frac{x-1,5}{2,5-1,5} & ; 1,5 \leq x \leq 2,5 \\ \frac{3-x}{3-2,5} & ; 2,5 \leq x \leq 3 \\ 0 & ; 3 \geq x \end{cases} \quad (3)$$

untuk tegangan juga memiliki 3 fungsi keanggotaan yaitu :



Gambar 5. Fungsi keanggotaan input tegangan

Pada Gambar 5 menunjukkan fungsi keanggotaan dari input tegangan yang berikutnya di jabarkan kesebuah formula fungsi fuzzy yaitu :

Low : [4 4 6 9.5]

Normal : [6 9.5 13]

High : [9.5 12 15 15]

Dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu_{T.Low}(x) = \begin{cases} 1 & ; 4 \leq x \leq 6 \\ \frac{9,5-x}{9,5-6} & ; 6 \leq x \leq 9,5 \\ 0 & ; 9,5 \geq x \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{T.Normal}(x) = \begin{cases} \frac{x-6}{9,5-6} & ; 6 \leq x \leq 9,5 \\ \frac{13-x}{13-9,5} & ; 9,5 \leq x \leq 13 \\ 0 & ; 13 \geq x \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{T.High}(x) = \begin{cases} \frac{x-9,5}{12-9,5} & ; 9,5 \leq x \leq 12 \\ \frac{15-x}{15-12} & ; 12 \leq x \leq 15 \\ 0 & ; 15 \geq x \end{cases} \quad (6)$$

Jika sudah dicari nilai fungsi dengan persamaan untuk input arus di persamaan 1,2, dan 3, untuk persamaan untuk mencari nilai input tegangan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 4,5, dan 6. Fungsi keanggotaan ditentukan berdasarkan nilai crisp yang mana nilai ini didapat dari spesifikasi beban dengan, dalam penelitian ini beban yang digunakan adalah lampu dimana lampu menggunakan beban DC dengan daya 20 Watt, dan tegangan kerja 12, artinya arus yang akan digunakan adalah :

Rumus daya :

$$P = V \cdot I$$

Keterangan :

P : Daya (W)

V : Tegangan (V)

I : Arus (A)

Artinya untuk mencari arus lampu :

$$I = \frac{P}{V} \quad (7)$$

$$I = \frac{20}{12}$$

$$I = 1.67 A$$

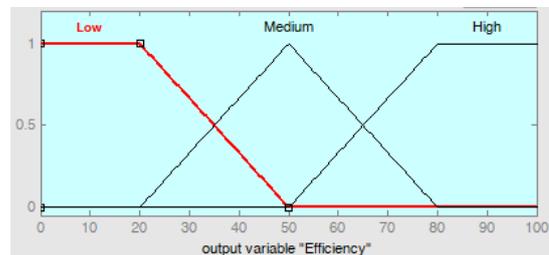
Ditambah dengan beban yang ada pada LoRa, karena LoRa menggunakan ESP32 maka nilai arus kerjanya ada pada ESP32 adalah 500MA artinya dengan jumlah arus pada lampu dan LoRa didapat nilai :

$$\sum I = I_{lampu} + I_{LoRa} \quad (8)$$

$$\sum I = 1.67A + 0.5A$$

$$\sum I = 2.167A$$

sehingga nilai yang untuk dimasukkan kedalam fungsi keanggotaan Sedangkan untuk fungsi keanggotaan tegangan dilihat dari nilai atau spesifikasi dari tegangan yang dimiliki Battery.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan output FIS

Gambar 6 menunjukkan fungsi keanggotaan dari nilai variabel output, dimana output ini menunjukkan efisiensi daya yang dibagi menjadi 3:

Low : [0 0 20 50];

Medium : [20 50 80];

High : [50 80 100 100]

Dengan fungsi keanggotaan sebagai berikut:

$$\mu_{T.Low}(x) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq x \leq 20 \\ \frac{50-x}{50-20} & ; 20 \leq x \leq 50 \\ 0 & ; 50 \geq x \end{cases} \quad (9)$$

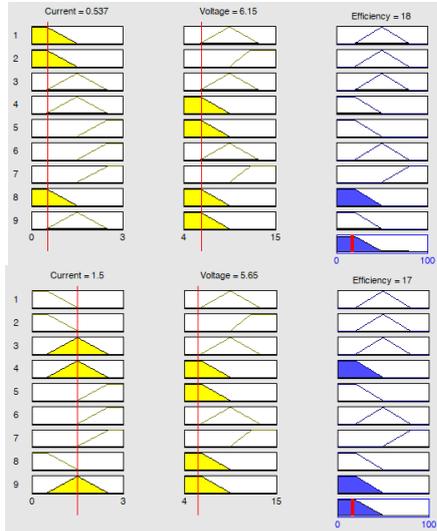
$$\mu_{T.Normal}(x) = \begin{cases} \frac{x-20}{50-20} & ; 20 \leq x \leq 50 \\ \frac{80-x}{80-50} & ; 50 \leq x \leq 80 \\ 0 & ; 80 \geq x \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{T.High}(x) = \begin{cases} \frac{x-50}{80-50} & ; 50 \leq x \leq 80 \\ \frac{100-x}{100-80} & ; 80 \leq x \leq 100 \\ 0 & ; 100 \geq x \end{cases} \quad (11)$$

Setelah semua nilai error dihitung dan kita mendapatkan nilai keanggotaan masukannya disetiap variabel input maka keputusan untuk menentukan efisiensi daya LPJU dapat diproses berdasarkan pada aturan yang ditunjukkan pada gambar 7.

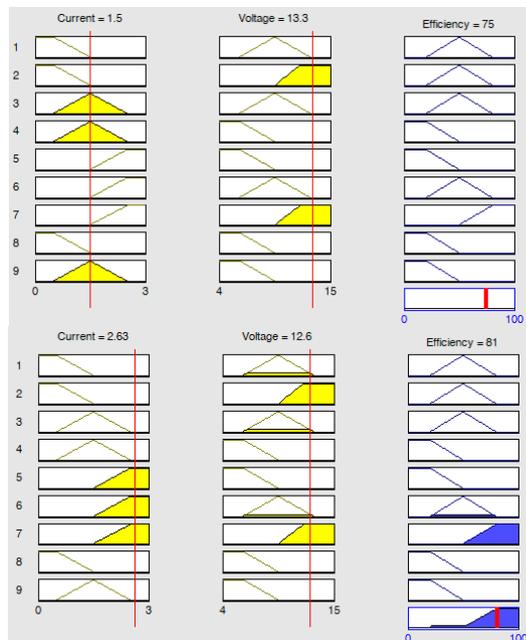
1. If (Current is Low) and (Voltage is Normal) then (Efficiency is Medium) (1)
2. If (Current is Low) and (Voltage is High) then (Efficiency is Medium) (1)
3. If (Current is Medium) and (Voltage is Normal) then (Efficiency is Medium) (1)
4. If (Current is Medium) and (Voltage is Low) then (Efficiency is Low) (1)
5. If (Current is High) and (Voltage is Low) then (Efficiency is Low) (1)
6. If (Current is High) and (Voltage is Normal) then (Efficiency is Medium) (1)
7. If (Current is High) and (Voltage is High) then (Efficiency is Medium) (1)
8. If (Current is Low) and (Voltage is Low) then (Efficiency is Low) (1)
9. If (Current is Medium) and (Voltage is Low) then (Efficiency is Low) (1)

Gambar 7. Rule FIS



Gambar 8. Output Fuzzy Low

Gambar 8 adalah percobaan untuk melihat grafik dari efisiensi daya dengan FIS, dimana hasilnya menunjukkan pola yang sama dengan aturan yang telah dibuat sebelumnya dengan kondisi outputnya Low.



Gambar 9. Rule Output Normal dan High

Gambar 9 adalah percobaan untuk melihat grafik dari efisiensi daya dengan FIS, dimana hasilnya menunjukkan pola yang sama dengan aturan yang telah dibuat sebelumnya. Selain dengan membuat penentuan efisiensi daya battery yang dilakukan pada ini juga adalah bagaimana mengatur battery untuk tidak memaksakan kinerjanya pada

bukan tegangan kerjanya, dengan kata lain battery baru mengalirkan tegangannya jika tegangan berada di  $\geq 12V$  dengan demikian jika battery tidak memiliki tegangan diatas atau sama dengan 12V lampu tidak akan dihidupkan, sehingga umur dari masa pakai battery akan lebih lama, karena tidak memaksakan kinerja battery dibawah tegangan kerjanya.

Dari nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan kedalam program arduino untuk di upload kedalam LoRa untuk kemudian dilakukan uji coba program.



Gambar 10. Pengujian Program untuk on/off lampu

Gambar 10 menunjukkan pengujian lampu dengan FIS pada saat perangkat belum terpasang pada lampu jalan, pengujian untuk melihat apakah data terkirim dengan baik dan apakah fuzifikasi yang dibuat berjalan dengan baik.

```

COM6
-----
Current: 1.13 A, Voltage: 12.81 V, Efficiency: 65.00
Lampu: ON
Current: 1.14 A, Voltage: 12.86 V, Efficiency: 65.00
Lampu: ON
Current: 1.13 A, Voltage: 12.80 V, Efficiency: 65.00
Lampu: ON
Current: 1.13 A, Voltage: 12.78 V, Efficiency: 65.00
Lampu: ON
Current: 1.14 A, Voltage: 12.81 V, Efficiency: 65.00
Lampu: ON

```

Gambar11. Data LoRa yang diterima ketika Lampu Hidup dan tegangan rendah

```

COM6
-----
Current: 1.04 A, Voltage: 1.41 V, Efficiency: 30.00
Lampu: OFF
Current: 1.05 A, Voltage: 1.13 V, Efficiency: 30.00
Lampu: OFF
Current: 1.05 A, Voltage: 0.86 V, Efficiency: 30.00
Lampu: OFF
Current: 1.04 A, Voltage: 0.62 V, Efficiency: 30.00
Lampu: OFF
Current: 1.05 A, Voltage: 0.42 V, Efficiency: 30.00
Lampu: OFF

```

Gambar 12. Data LoRa yang diterima ketika Lampu Mati dan tegangan rendah

Pada gambar 9 dan 10 menunjukkan data pada serial monitor untuk hasil pembacaan sensor dan status lampu yang terkirim melalui LoRa dari hasil ini menunjukkan bahwa data terkirim dengan baik dan menunjukkan nilai sensor tegangan dan arus serta status lampu, terlihat lampu akan mati atau tidak dihidupkan jika keadaan tegangan dalam keadaan low dan akan dihidupkan jika kondisi tegangan dalam keadaan normal, pada pengiriman paket data juga ditampilkan nilai efisiensi dari daya lampu jalan yang didapat dari data yang diolah oleh FIS.



Gambar 13. Instalasi sensor kepanel box lampu jalan

Setelah pengujian program FIS dan juga status lampu dengan serial monitor, selanjutnya adalah pemasangan sensor serta lampu seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 13, karena proses ini dilakukan untuk memastikan sensor bekerja dengan baik pada kondisi pengujian sesungguhnya, sehingga jika peralatan ini diterapkan bisa bekerja dengan baik dan tidak memiliki banyak kendala di lapangan.



Gambar 14. Proses Pemasangan Sistem Panel Surya LPJU

Pada gambar 14 ini dilakukan proses pemasangan alat langsung pada LPJU hal ini dilakukan untuk melihat kinerja alat pada kondisi sesungguhnya, dan melihat apa saja kendala yang dihadapi jika peralatan langsung di ujicoba di lapangan, proses pemasangan LPJU, dimana cara kerja integrasi panel surya dengan LPJU memungkinkan sistem menyimpan energi matahari dan menggunakannya secara otomatis untuk penerangan malam hari. Pada siang hari, panel surya mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang kemudian disimpan dalam baterai. Baterai ini berfungsi sebagai sumber daya utama untuk lampu LPJU saat malam tiba. Sistem kontrol memastikan bahwa lampu menyala hanya ketika intensitas cahaya rendah, biasanya melalui sensor cahaya atau timer. Dengan pengaturan ini, energi yang disimpan di baterai dapat dimanfaatkan secara efisien, mendukung penerangan yang stabil sepanjang malam dan mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik konvensional.



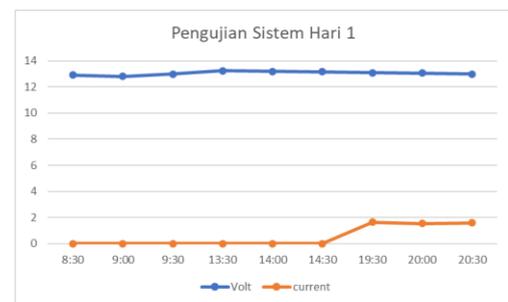
Gambar 15. Pemasangan Komponen Pada Panelbox LPJU

Gambar 15 menunjukkan semua komponen LoRa dan sensor yang difungsikan untuk mengirim data konsumsi daya LPJU dimasukkan ke dalam panelbox LPJU untuk kemudian dipasangkan pada tiang LPJU untuk proses pengujian di lapangan.

*Pengujian pada Alat Monitoring Tegangan dan Arus*  
 Pengujian disini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor arus dan tegangan berfungsi dengan normal dari segi pengukuran tegangan pada aki apakah stabil atau tidak, serta pengukuran arus pada lampu untuk memastikan apakah sensor arus berfungsi dengan baik. Pengamatan dilakukan dalam 3 waktu yaitu Pagi, Siang, dan malam selama tiga hari.

TABEL 1. PENGUJIAN PERTAMA SENSOR ACS712 DAN SENSOR TEGANGAN 0-25V

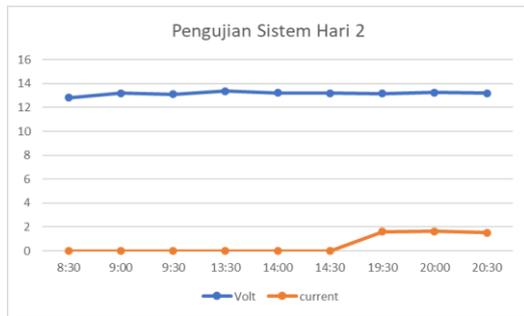
Hari Pertama								
Pagi			Siang			Malam		
Jam	Volt	Arus	Jam	Volt	Arus	Jam	Volt	Arus
08:30	12,93	0.0	13:30	13,24	0.0	19:30	13,09	1.63
09:00	12,82	0.0	14:00	13,20	0.0	20:00	13,16	1.53
09:30	13,13	0.0	14:30	13,17	0.0	20:30	13,12	1.58



Gambar 14. Nilai pengujian Sensor hari 1

TABEL 2. PENGUJIAN KEDUA SENSOR ACS712 DAN SENSOR TEGANGAN 0-25V

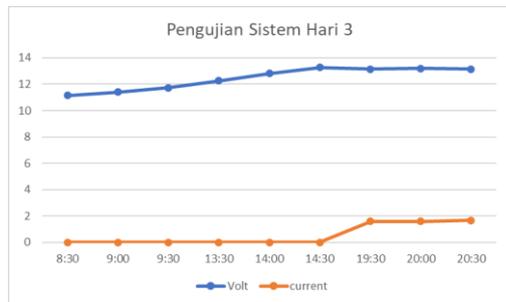
Hari Kedua								
Pagi			Siang			Malam		
Jam	Volt	Arus	Jam	Volt	Arus	Jam	Volt	Arus
08:30	12,81	0.0	13:30	13,36	0.0	19:30	13,17	1.61
09:00	13,21	0.0	14:00	13,22	0.0	20:00	13,25	1.64
09:30	13,11	0.0	14:30	13,19	0.0	20:30	13,20	1.52



Gambar 15. Nilai pengujian Sensor hari 2

TABEL 3. PENGUJIAN KETIGA SENSOR ACS712 DAN SENSOR TEGANGAN 0-25V

Hari Ketiga								
Pagi			Siang			Malam		
Jam	Volt	Arus	Jam	Volt	Arus	Jam	Volt	Arus
08:30	11,15	0,0	13:30	12,27	0,0	19:30	13,14	1,60
09:00	11,41	0,0	14:00	12,82	0,0	20:00	13,21	1,59
09:30	11,73	0,0	14:30	13,28	0,0	20:30	13,14	1,66



Gambar 16. Nilai pengujian Sensor hari 3

Pada Tabel 1,2 dan 3, dapat dilihat hasil Pengujian Hari Pertama, Kedua, Ketiga Sensor ACS712 Dan Sensor Tegangan 0-25V yang dilakukan pada Pagi, Siang, dan Malam yang kemudian di jabarkan dengan grafik pada Gambar 16, 17, 18 menunjukkan bahwa untuk nilai tegangan mengalami kenaikan pada siang hari seiring sinar matahari yang cerah dan arus baru terpakai pada sore menjelang malam, dan di sini di ambil data di jam 19.30 untuk memastikan konsumsi daya maksimum dan pada daya yang masih ideal, dan seperti terlihat juga bahwa tegangan akan turun perlahan ketika digunakan ketika lampu mulai hidup, dari data tersebut juga dicari nilai rata-rata dari tegangan dan arus yang kemudian dihitung daya nya dengan rumus daya. Dari data uji didapat nilai efisiensi daya normal pada siang dan malam hari dengan MATLAB sehingga di dapat nilai efisiensi nya adalah 50% dengan efisiensi normal.

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan pada sistem panel surya mengalami peningkatan selama siang hari seiring dengan intensitas sinar matahari, sementara arus mulai digunakan saat lampu jalan menyala menjelang malam. Pengukuran data pada pukul 19.30 menunjukkan konsumsi daya maksimum yang masih berada dalam kisaran ideal. Ditemukan bahwa tegangan secara bertahap menurun seiring dengan penggunaan saat lampu mulai menyala. Setelah analisis data menggunakan MATLAB, diperoleh nilai efisiensi daya normal untuk sistem ini adalah 50%. Hal ini menandakan bahwa sistem pemantauan konsumsi energi yang dikembangkan

beroperasi dengan efisiensi yang baik, namun masih memiliki potensi untuk ditingkatkan lebih lanjut guna mencapai optimalisasi konsumsi daya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak terlaksana dengan baik jika tidak ada bantuan dari berbagai pihak untuk itu saya ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

- PPPKM Politeknik Negeri Ketapang yang telah memberikan bantuan dana kepada penelitian melalui penelitian internal.
- Pemerintah Desa Sukamaju yang telah memfasilitasi penelitian ini untuk melakukan uji coba penelitian.

#### REFERENSI

- [1] S. P. Rifaldi, E. P. S. Frengki, and K. A. Riska, "Rancang Bangun Alat Sistem Monitor Lampu Jalan Umum Tenaga Surya Berbasis Teknologi Lo -Ra," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 34–40, Jul. 2021.
- [2] M. Asep Rizkiawan, H. Ramza, and A. Sofwan, "Pemantauan Ruang Data Center Berdasarkan Suhu dan Kelembaban Dengan Internet of Things Data Center Room Monitoring Based on Temperature and Humidity with Internet of Things," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 115–123, Jul. 2024.
- [3] S. Usman, F. Rozie, and P. Negeri Ketapang, "Desain dan Implementasi Jaringan Sensor Nirkabel berbasis IoT dengan komunikasi LoRa untuk Sistem Monitoring Kualitas Daya dan Energi Listrik," *Smart Comp*, vol. 12, no. 1, pp. 112–121, Jan. 2023.
- [4] M. Afandy, A. H. Mubarak, and M. I. Rianto, "Sistem Monitoring Suhu pada Pendingin Trafo 3 Phasa Electric Arc Furnace (EAF) Temperature Monitoring System for 3 Phase Electric Arc Furnace (EAF) Transformer Cooling," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 132–137, Apr. 2024.
- [5] F. Rozie, I. Syarif, and M. U. H. Al Rasyid, "Design and implementation of Intelligent Aquaponics Monitoring System based on IoT," in *IES 2020 - International Electronics Symposium: The Role of Autonomous and Intelligent Systems for Human Life and Comfort*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2020, pp. 534–540. doi: 10.1109/IES50839.2020.9231928.
- [6] A. Ifnil, F. Rozie, ; M Jimi Rizaldi, and ; Akhdiaytul, "Monitoring Tegangan dan Arus Menggunakan LoRa (Long Range) Pada Sistem PJUTS," *ENTRIES (Journal of Electrical Network Systems and Sources)*, vol. 3, no. 1, pp. 13–18, Jun. 2024, doi: 10.58466/entries.
- [7] M. Rivian Satriawan, G. Priyandoko, and S. Setiawidayat, "Monitoring pH Dan Suhu Air Pada Budidaya Ikan Mas Koki Berbasis IoT," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 12–17, Jan. 2023.
- [8] W. AF, J. Prasetijo, and M. Dhiauddin, "Design and Implementation of LPWAN for Smart Street Lighting in Indonesia.," 2021.
- [9] F. Rozie et al., "Sistem Akuaponik Untuk Peternakan Lele Dan Tanaman Kangkung Hidroponik Berbasis Iot Dan Sistem Inferensi Fuzzy," vol. 8, no. 1, pp. 157–166, 2021, doi: 10.25126/jtiik.202184025.
- [10] W. Ridwan, I. Wiranto, L. Azzahra, and F. Lakoro, "Penentuan Uang Kuliah Tunggal Mahasiswa Universitas Negeri Gorontalo Berbasis Logika Fuzzy," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 62–65, Jun. 2021.

- [11]. Liu Z, Zhao Z, Wang X, Hu Z. Development of street light monitoring and control system based on LoRa technology. 2020.
- [12]. Zhou Z, Li X, Zhu Y. LoRa-based smart street lamp control system. 2019.
- [13]. Zhang J, Li W, Xu F, et al. Predictive analytics for smart street lighting systems. 2020.
- [14]. Li X, Zhou Y, Zhu J. Real-time fault detection in street lighting systems using LoRa. 2019.
- [15]. Wang Z, Liu P, Zhao T. Comprehensive cost-benefit analysis of smart street lighting systems. 2021.