

**SISTEM KONTROL *SWITCHING* ENERGI LISTRIK
MENGUNAKAN METODE *FUZZY SUGENO*
BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

SKRIPSI

Oleh :
MUHAMMAD AMIRUL MUTTAQIN
NIM. 210605110020



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**SISTEM KONTROL *SWITCHING* ENERGI LISTRIK
MENGUNAKAN METODE *FUZZY SUGENO*
BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
MUHAMMAD AMIRUL MUTTAQIN
NIM. 210605110020

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

**SISTEM KONTROL SWITCHING ENERGI LISTRIK
MENGUNAKAN METODE FUZZY SUGENO
BERBASIS INTERNET OF THINGS**

SKRIPSI

Oleh :

MUHAMMAD AMIRUL MUTTAQIN
NIM. 210605110020

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 10 Juni 2025

Pembimbing I,



Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 19860703 20201210 03

Pembimbing II,



Dr. M. Imamudin Lc., M.A
NIP. 19740602 200901 1 010

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

**SISTEM KONTROL SWITCHING ENERGI LISTRIK
MENGUNAKAN METODE FUZZY SUGENO
BERBASIS INTERNET OF THINGS**

SKRIPSI

Oleh :

MUHAMMAD AMIRUL MUTTAQIN
NIM. 210605110020

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 18 Juni 2025

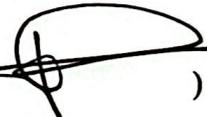
Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

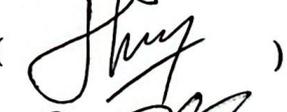
Anggota Penguji I : Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M.T
NIP. 19830616 201101 1 004

Anggota Penguji II : Shoffin Nahwa Utama, M.T
NIP. 19860703 20201210 03

Anggota Penguji III : Dr. M. Imamudin Lc., M.A
NIP. 19740602 200901 1 010

()

()

()

()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Amirul Muttaqin
NIM : 210605110020
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Sistem Kontrol *Switching* Energi Listrik
Menggunakan Metode *Fuzzy Sugeno* Berbasis
Internet of Things

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 10 Juni 2025
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Amirul Muttaqin
NIM.210605110020

MOTTO

“An unexamined life is not worth living”

~ Socrates

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah Subhanahu wa ta'ala atas limpahan rahmat dan petunjuk-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini penulis persembahkan untuk: Orang tua penulis yang menjadi sumber kekuatan dan doa, para sahabat yang kebersamai dalam suka dan duka, teman seperjuangan selama perkuliahan dan penyusunan skripsi, para guru, dosen, dan pembimbing yang telah membagikan ilmu dan arah, semua pihak yang turut hadir memberi semangat, baik secara langsung maupun tidak, dan untuk diri sendiri, yang terus berjuang, bertumbuh, dan tidak menyerah meski dalam diam. Semoga karya ini dapat menjadi langkah awal yang bermanfaat dalam perjalanan ilmu dan kehidupan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Kontrol *Switching* Energi Listrik Menggunakan Metode *Fuzzy Sugeno* Berbasis *Internet of Things*”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh ilmu dan cahaya Islam.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dalam proses penyusunannya, penulis banyak menerima dukungan, doa, semangat, dan bantuan dari berbagai pihak yang sangat berarti. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan tulus, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU., selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Shoffin Nahwa Utama, M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. M. Imamudin Lc., M.A, selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan

waktu dan dengan sabar telah memberikan arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian pada skripsi ini dengan baik.

5. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU., selaku Ketua Penguji dan Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M.T, selaku Dosen Penguji I yang telah menguji serta memberikan masukan sehingga penulis dapat menuntaskan skripsi dengan baik.
6. Segenap dosen serta jajaran staf Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan inspirasi selama masa studi di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Kedua orang tua, yang selalu menjadi sumber kekuatan. Terima kasih atas doa yang selalu mengiringi setiap langkah, kepercayaan dan pengorbanan yang tak terhitung, serta dukungan yang menjadi sumber kekuatan di setiap langkah.
8. Teman-teman seperjuangan selama masa kuliah, yang telah kebersamai penulis sejak awal perjalanan ini. Terima kasih telah menguatkan saat jatuh dan tertawa bersama di tengah segala tekanan.
9. Diri sendiri - yang terus melangkah meski berkali-kali jatuh tetapi tetap mencoba meski tak selalu yakin, yang bertahan melewati malam-malam panjang dan pagi yang berat. Yang selalu bertahan meski selalu jatuh setiap malam, Terima kasih telah tidak menyerah dan bisa bertahan.

10. Seluruh teman seangkatan Teknik Informatika 2021, “Aster 21”, yang telah menjadi teman seperjalanan dalam proses menempuh ilmu dan melewati berbagai fase bersama.
11. Semua pihak yang terlibat, secara langsung maupun tidak, dalam proses penyusunan skripsi ini atas segala bantuan, doa, dan perhatian.

Malang, 10 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
المخلص.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pernyataan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 IOT (<i>Internet Of Thing</i>)	15
2.3 Panel Surya	15
2.4 Cadangan Energi (<i>Energy Storage</i>).....	17
2.5 Logika <i>Fuzzy</i>	18
2.5.1 Himpunan <i>Fuzzy</i>	21
2.5.2 Metode <i>Fuzzy Sugeno</i>	22
2.6 ESP32... ..	24
2.7 Sensor... ..	25
2.7.1 Sensor Tegangan.....	26
2.7.2 Sensor PZEM-004t	26
2.7.3 Sensor Cahaya (<i>Light Dependent Resistor</i>).....	27
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI	28
3.1 Metodologi Penelitian	28
3.2 Studi Literatur	29
3.3 Analisis Kebutuhan dan Perancangan	30
3.3.1 Sistem <i>Hardware</i>	30
3.3.2 Sistem <i>Software</i>	31
3.3.3 Perancangan Sistem	31
3.4 Metode Pengumpulan Data	34
3.5 Implementasi Sistem	34
3.5.1 Diagram Alur Sistem Kontrol	35
3.5.2 <i>Fuzzifikasi</i>	37
3.5.3 Mesin Inferensi <i>Fuzzy</i>	43
3.5.4 Implikasi	45
3.5.5 <i>Defuzzifikasi</i>	46
3.5.6 Implementasi Kontrol dengan ESP32	49
3.5.7 Integrasi dengan IoT	49

3.6 Rancangan Pengujian Sistem	51
3.7 Analisis Hasil.....	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Implementasi Sistem.....	55
4.1.1 Implementasi Sistem <i>Hardware</i>	56
4.1.2 Implementasi <i>Software</i>	59
4.2 Implementasi <i>Fuzzy</i> Pada Sistem IOT	63
4.3 Pembahasan	66
4.3.1 Sistem <i>Hardware dan Software</i>	67
4.3.2 Evaluasi Pengambilan Keputusan	67
4.3.3 Pemantauan Sistem melalui IoT.....	68
4.4 Integrasi Islam.....	68
4.4.1 <i>Muamalah ma'a Allah</i>	69
4.4.2 <i>Muamalah ma'a an-Nas</i>	69
4.4.3 <i>Muamalah ma'a al-Alam</i>	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Metodologi penelitian	28
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem	31
Gambar 3. 3 Sistem Pengkabelan	32
Gambar 3. 4 Diagram alur sistem	35
Gambar 3. 5 Flowchart Proses Fuzzy Sugeno	36
Gambar 3. 6 Derajat Keanggotaan Tegangan Listrik Konvensional	38
Gambar 3. 7 Derajat Keanggotaan Tegangan Baterai.....	39
Gambar 3. 8 Derajat Keanggotaan Cahaya.....	41
Gambar 3. 9 Derajat Keanggotaan Listrik	43
Gambar 3. 10 Antarmuka iot.....	50
Gambar 3. 11 Alur proses Pengujian	52
Gambar 4. 1 Implementasi Sistem Kontrol Switching Energi Listrik	57
Gambar 4. 2 Foto penempatan sistem.....	57
Gambar 4. 3 Foto penempatan panel	58
Gambar 4. 4 Foto penempatan aerator	59
Gambar 4. 5 Data JSON pada Serial Monitor.....	60
Gambar 4. 6 Data pada tabel di database	61
Gambar 4. 7 Tampilan antarmuka monitoring Listrik	61
Gambar 4. 8 Grafik data Monitoring Listrik.....	62
Gambar 4. 9 Antarmuka Tabel data Monitoring Listrik	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait.....	14
Tabel 3. 1 Komponen dan Fungsi dalam Sistem	33
Tabel 3. 2 Tabel Kebenaran Fuzzy Sugeno	44
Tabel 3. 3 Fuzzifikasi Input	47
Tabel 3. 4 Aturan Fuzzy.....	47
Tabel 3. 5 Rancangan Hasil Pengujian	53
Tabel 4. 1 Pengujian Fuzzy.....	64

ABSTRAK

Muttaqin, Muhammad Amirul. 2025. **Sistem Kontrol *Switching* Energi Listrik Menggunakan Metode *Fuzzy Sugeno* Berbasis *Internet of Things***. Skripsi. Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Shoffin Nahwa Utama, M.T., (II) Dr. M. Imamudin, Lc., M.A.

Kata Kunci: *Switching* Energi, *Fuzzy Sugeno*, *Internet of Things*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol *switching* energi listrik menggunakan metode *fuzzy sugeno* yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung pemantauan data secara *real-time*. Sistem mengambil keputusan *switching* secara otomatis berdasarkan tiga parameter *input*, yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Pengolahan data dilakukan oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor PZEM-004T, voltage divider, dan sensor LDR. Inferensi *fuzzy* dilakukan berdasarkan 18 aturan *fuzzy*. Hasil keputusan dikirim ke server dan ditampilkan dalam antarmuka pemantauan berbasis web. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 18 kombinasi *input* untuk memastikan bahwa sistem dapat memberikan keputusan sesuai dengan kondisi input yang diberikan. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi sesuai dengan logika yang telah dirancang dan berjalan secara otomatis dalam mengatur *switching* energi listrik.

ABSTRACT

Muttaqin, Muhammad Amirul. 2025. **Electrical Energy *Switching* Control System Using the *Sugeno Fuzzy* Method Based on the *Internet of Things***. Thesis. Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Advisors: (I) Shoffin Nahwa Utama, M.T., (II) Dr. M. Imamudin, Lc., M.A.

Keywords: Energy Switching, Fuzzy Sugeno, Internet of Things.

This study aims to develop an electrical energy switching control system using the Sugeno fuzzy method integrated with the Internet of Things (IoT) to support real-time data monitoring. The system automatically makes switching decisions based on three input parameters, namely PLN voltage, battery voltage, and light intensity. Data processing is performed by an ESP32 microcontroller connected to a PZEM-004T sensor, voltage divider, and LDR sensor. Fuzzy inference is based on 18 fuzzy rules. Decision results are sent to the server and displayed in a web-based monitoring interface. Testing was conducted using 18 input combinations to ensure the system can make decisions according to the given input conditions. The implementation results show that the system functions according to the designed logic and operates automatically in managing electrical energy switching.

الملخص

المتقنين، محمد أمير. ٢٠٢٥. نظام التحكم في تبديل الطاقة الكهربائية باستخدام طريقة فزي سوجينو القائمة على إنترنت الأشياء، الرسالة الجامعية. برنامج دراسة هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية، مالانج. المشرفون: (١) صافين نحوى أوتاما، الماجستير (٢) الدكتور محمد إمام الدين، الماجستير.

.الكلمات المفتاحية: تبديل الطاقة، فوزي سوجينو، إنترنت الأشياء

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نظام تحكم في تبديل الطاقة الكهربائية باستخدام طريقة سوجينو الضبابية المدججة مع إنترنت الأشياء (IoT) لدعم مراقبة البيانات في الوقت الفعلي. يتخذ النظام قرارات التبديل تلقائيًا بناءً على ثلاثة معلمات إدخال، وهي جهد الكهرباء من شركة الكهرباء الوطنية (PLN)، جهد البطارية، وكثافة الضوء. تتم معالجة البيانات بواسطة متحكم دقيق ESP32 متصل بمستشعر PZEM-004T ومقسم الجهد ومستشعر LDR. يتم إجراء الاستدلال الضبابي بناءً على 18 قاعدة ضبابية. يتم إرسال نتائج القرار إلى الخادم وعرضها في واجهة مراقبة قائمة على الويب. تم إجراء الاختبار باستخدام 18 مجموعة من المدخلات للتأكد من أن النظام يمكنه اتخاذ قرارات تتوافق مع ظروف المدخلات المحددة. أظهرت نتائج التنفيذ أن النظام يمكنه العمل وفقًا للمنطق المصمم له ويعمل تلقائيًا في تنظيم تبديل الطاقة الكهربائية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan vital di dalam kehidupan modern, yang menopang berbagai sektor seperti industri, pertanian, hingga perikanan. Pasokan listrik yang stabil menjadi faktor utama dalam menjaga kelangsungan operasional peralatan. Ketergantungan terhadap satu sumber energi, seperti listrik dari PLN, membawa risiko tersendiri ketika terjadi pemadaman atau gangguan pasokan yang dapat menyebabkan kerugian fungsional dan finansial (Studi et al., 2024).

Di tengah isu ketergantungan energi konvensional ini, pemanfaatan energi terbarukan menjadi alternatif strategis. Salah satunya energi yang paling potensial di Indonesia adalah energi surya atau energi dari sinar matahari. Indonesia sebagai negara tropis memiliki paparan sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun, menjadikannya lokasi ideal untuk penerapan sistem panel surya (Indra Rizkianto et al., 2022). Panel surya mampu menghasilkan energi listrik dari cahaya matahari, tetapi masih memiliki tantangan dalam pengelolaan, khususnya pada malam hari atau saat cuaca mendung, sehingga dibutuhkan sistem penyimpanan energi seperti baterai. Meskipun panel surya dan baterai sudah banyak digunakan, sistem yang tidak dilengkapi dengan mekanisme kontrol *switching* otomatis masih rentan terhadap pemborosan energi dan ketidakefisienan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem kendali yang mampu menentukan sumber energi mana yang digunakan pada

kondisi tertentu baik dari PLN, panel surya, atau baterai secara otomatis. Sistem ini dikenal sebagai kontrol *switching* energi listrik otomatis.

Salah satu pendekatan yang relevan di dalam pengambilan keputusan *switching* adalah metode logika *fuzzy Sugeno*. *Fuzzy logic* mampu menangani data yang bersifat linguistik, tidak pasti, dan kompleks, serta menghasilkan keputusan berbasis aturan (*rule-based system*) dengan nilai *Output* yang jelas (*crisp*). Metode *Sugeno* dipilih karena menghasilkan keluaran berupa fungsi linear atau nilai konstan yang sesuai untuk sistem otomasi (Dewi et al., 2024). Dalam konteks kontrol *switching*, *fuzzy Sugeno* dapat digunakan untuk mengolah parameter masukan seperti tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya sebagai dasar dalam menentukan keputusan *switching*. Agar sistem ini dapat diakses dan dipantau secara *real-time*, teknologi *Internet of Things* (IoT) diterapkan sebagai solusi untuk menghubungkan perangkat ke server yang berbasis web. Dengan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sistem mengumpulkan data sensor secara berkala dan mengirimkannya ke server melalui protokol komunikasi HTTP yang menyediakan informasi kondisi sistem secara langsung. Hal ini tidak hanya memberikan kemudahan pemantauan, tetapi juga membuka peluang untuk penerapan sistem kendali terdistribusi (Arfamaini, 2016).

Dalam perspektif Islam, pemanfaatan sumber daya alam secara bijaksana merupakan bagian dari tanggung jawab manusia sebagai khalifah di muka bumi. Allah SWT telah menciptakan matahari sebagai sumber energi utama, sebagaimana disebutkan dalam Surah Nuh ayat 16:

وَجَعَلَ الْقَمَرَ فِيهِنَّ نُورًا وَجَعَلَ الشَّمْسَ سِرَاجًا

"Dan Allah menjadikan bulan padanya sebagai cahaya dan menjadikan matahari sebagai pelita (yang terang benderang)." (QS. Nuh [71]: 16).

Tafsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa matahari diciptakan sebagai sumber cahaya dan panas yang sangat kuat, sementara bulan memantulkan cahayanya dengan lembut. Pemanfaatan teknologi panel surya dalam sistem energi merupakan bentuk syukur atas nikmat-Nya, sekaligus implementasi dari prinsip keberlanjutan dan efisiensi energi (I. bin U. bin Katsir, 2000). Matahari berperan penting sebagai sumber energi utama bagi bumi, yang menjadi penopang kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan.

Di dalam penelitian ini, pemanfaatan matahari melalui teknologi panel surya mencerminkan bentuk penggunaan sumber daya alam secara bijaksana. Agama islam mendorong umatnya untuk memanfaatkan ciptaan Allah dengan sebaik-baiknya, untuk tidak berlebihan, dan tidak merusak lingkungan. Penggunaan panel surya sebagai energi alternatif dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, menghemat biaya operasional, serta mendukung kelestarian lingkungan. Hal ini sejalan dengan nilai-nilai Islam yang menekankan keberlanjutan, efisiensi, dan rasa syukur terhadap nikmat yang telah diberikan oleh Allah SWT.

Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) sebagai sistem kontrol yang dapat mengatur *switching* sumber daya listrik antara PLN dan baterai secara otomatis. Teknologi IoT memungkinkan sistem untuk mengumpulkan data secara *real-time* mengenai kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya, tegangan *input*, dan status kapasitas

baterai, yang kemudian digunakan untuk mengatur aliran daya secara efisien dan tepat guna (Arfamaini, 2016). Selain itu, data yang dikirim ke server juga memungkinkan *monitoring* jarak jauh, sehingga sistem dapat dikendalikan atau dianalisis kapan saja oleh pengguna.

Dalam pengambilan keputusan *switching*, digunakan metode *fuzzy sugeno* untuk mengolah data *input* dari sensor menjadi *output* keputusan secara otomatis. Logika *fuzzy sugeno* dirancang untuk bekerja dengan tiga parameter utama yakni tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Berdasarkan kombinasi ketiganya, sistem akan menentukan kapan harus menggunakan sumber listrik dari PLN, kapan beralih ke baterai, atau kapan menghentikan pengisian daya saat baterai penuh. Dengan fitur ini, sistem menentukan apakah perlu mengaktifkan sumber daya dari PLN, menggunakan baterai, atau menghentikan pengisian daya ketika kondisi penuh tercapai sesuai kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Salah satu kelebihan dari pendekatan ini yaitu efisiensi energi yang lebih baik dan kestabilan pasokan listrik untuk peralatan penting yang membutuhkan suplai berkelanjutan. Sistem akan memaksimalkan pemanfaatan energi dari panel surya pada siang hari dan menggunakan baterai sebagai cadangan ketika intensitas cahaya menurun. Dengan bantuan sensor dan algoritma *fuzzy*, *switching* dapat dilakukan dengan lebih halus dan tanpa campur tangan manual.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini menjawab tantangan ketergantungan terhadap sumber listrik tunggal dan ketidakpastian cuaca dalam sistem energi berbasis panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan sistem kontrol *switching* energi listrik otomatis berbasis metode

fuzzy Sugeno dan *Internet of Things* yang mampu meningkatkan efisiensi energi, menjaga kesinambungan operasional, serta mencerminkan penerapan nilai-nilai Islam dalam pengelolaan sumber daya alam secara bijak dan bertanggung jawab.

1.2 Pernyataan Masalah

Bagaimana mengembangkan sistem kontrol *switching* energi listrik menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* yang terintegrasi dengan *Internet of Things*?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yakni:

1. Penelitian ini untuk penggunaan cadangan listriknya hanya digunakan untuk aerator.
2. Sumber energi terbarukan yang digunakan hanya berasal dari satu buah panel surya dengan daya maksimum 20Wp.

1.4 Tujuan Penelitian

Untuk mengembangkan dan menerapkan sistem kontrol *switching* energi listrik menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* yang terintegrasi dengan *Internet of Things*. Sistem ini dirancang untuk mengatur pemindahan sumber daya listrik secara otomatis antara PLN dan baterai berdasarkan *input* dari sensor tegangan dan intensitas cahaya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem kontrol *switching* sumber energi listrik yang bekerja secara

otomatis menggunakan metode *Fuzzy Sugeno*. Dengan adanya integrasi *Internet of Things*, sistem dapat dipantau dari jarak jauh melalui data sensor yang dikirimkan ke server. Hasil dari penelitian ini juga dapat menjadi referensi dalam penerapan logika *fuzzy* untuk sistem kendali *switching* pada aplikasi lain yang serupa.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Bahtiar dkk. ini melakukan penelitian dengan judul "Pemasangan Panel Surya sebagai Sumber Energi Listrik Pompa Sirkulasi Air untuk Budidaya Ikan Mas." Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem sirkulasi air yang efisien dan berkelanjutan pada kolam budidaya ikan Mas dengan menggunakan panel surya sebagai sumber energi listrik. Fokus utama dari penelitian ini yaitu untuk menciptakan solusi yang mampu menjaga kestabilan temperatur dan pH air kolam, yang merupakan faktor penting dalam mencapai produksi ikan yang optimal. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan panel surya berkapasitas 200 Wp untuk menyuplai energi ke pompa sirkulasi air, yang dirancang untuk bekerja secara otomatis berdasarkan parameter temperatur dan pH air. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa tahapan, dimulai dari perancangan sistem sirkulasi air berbasis Arduino yang mampu mengatur aliran air secara terjadwal dan teratur. Perancangan ini mencakup pembuatan diagram blok sistem, desain mekanik, serta pengaturan perangkat elektrik yang mendukung operasi pompa sirkulasi. Untuk memastikan ketersediaan energi listrik yang cukup, penelitian ini juga melibatkan perancangan dan pemasangan panel surya, termasuk perhitungan kebutuhan daya listrik, jumlah panel, dan kapasitas baterai yang diperlukan. Panel surya yang dipasang diuji kemampuannya dalam berbagai kondisi cuaca untuk memastikan kehandalannya

sebagai sumber energi utama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada saat instalasi awal, daya yang dihasilkan oleh panel surya masih rendah, yaitu sebesar 17,3 W, karena pemasangan dilakukan di sore hari dengan kondisi cuaca mendung. Pada kondisi cuaca yang lebih ideal, panel surya mampu menghasilkan daya maksimum hingga 70W pada pukul 10 pagi. Penelitian ini berhasil menghasilkan sistem sirkulasi air otomatis yang didukung oleh energi terbarukan, yang tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam budidaya ikan Mas, tetapi juga menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk kegiatan budidaya di Pesantren Duriyat Mulia (Bahtiar, 2023).

Irvan dkk. melakukan penelitian dengan judul "Rancang Bangun DC Converter sebagai Pengisian Cadangan Baterai Tenaga Panel Surya pada Budidaya Ikan Nila Bioflok." Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pengisian cadangan energi menggunakan *converter* DC untuk mendukung budidaya ikan nila bioflok di desa Oro-oro Ombo. Penelitian ini menekankan pentingnya penyediaan sumber energi alternatif yang andal untuk sistem aerasi kolam, terutama saat terjadi pemadaman listrik, yang dapat mengganggu suplai oksigen dan menurunkan produktivitas budidaya ikan nila. Sistem yang dikembangkan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan pendekatan *Incremental Conductance* yang diterapkan pada topologi *synchronous buck converter* untuk mengoptimalkan pengisian baterai dari panel surya. MPPT adalah sistem elektronik yang berfungsi mengoperasikan modul sel surya untuk menghasilkan daya maksimal. Metode *Incremental Conductance* digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengisian daya baterai, memastikan

bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya dapat disimpan secara optimal. Topologi *synchronous buck converter* dipilih karena kemampuannya dalam mengonversi tegangan dan arus dengan efisiensi tinggi, yang sangat penting untuk mempertahankan operasi sistem dalam kondisi optimal. Penelitian ini melibatkan pengujian beberapa komponen utama, seperti sensor tegangan dan arus INA226 yang digunakan untuk memantau kondisi pengisian baterai. Sensor ini memainkan peran penting dalam mengatur tegangan *output* dari *converter*, memastikan bahwa pengisian baterai berlangsung secara efisien dan aman. Selain itu, penelitian ini juga menguji kinerja panel surya dalam kondisi variatif, memastikan bahwa sistem dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan, seperti intensitas sinar matahari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengisian baterai dengan metode MPPT *Incremental Conductance* dan topologi *synchronous buck converter* mampu beroperasi dengan baik, dengan efisiensi konversi mencapai 80-90% pada arus tinggi dan 90-95% pada arus rendah. Dengan demikian, sistem ini memberikan solusi yang handal untuk mendukung keberlanjutan energi pada budidaya ikan nila bioflok, memastikan bahwa suplai oksigen tetap terjaga dan produktivitas ikan nila dapat meningkat secara signifikan (Nurul Achmadiyah et al., 2023).

Rumokoy dkk. melakukan penelitian dengan judul "Konsep Pencegahan Kematian Ikan Hias dengan Sistem IoT Terintegrasi Energi Surya pada Usaha Ikan Skala Besar." Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan konsep sistem otomatis yang dapat mencegah kematian ikan hias dalam skala besar, dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan energi surya sebagai sumber daya cadangan. Fokus penelitian ini adalah untuk meningkatkan keberlanjutan

operasional dan meminimalkan risiko kematian ikan hias yang disebabkan oleh gangguan lingkungan atau kegagalan sistem. Penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT yang terintegrasi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Sistem ini dirancang untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*, termasuk parameter kritis seperti suhu air, pH, tingkat oksigen, dan kualitas air lainnya. Sensor-sensor tersebut mengirimkan data ke sistem kontrol yang dapat mengotomatisasi pemberian pakan, mengatur sirkulasi air, dan mengendalikan pencahayaan sesuai kebutuhan ikan hias. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur keamanan yang mendeteksi kegagalan peralatan dan memberikan peringatan dini melalui alarm atau notifikasi. PLTS berperan sebagai sumber energi cadangan, memastikan bahwa sistem tetap beroperasi meskipun terjadi pemadaman listrik dari jaringan utama. Kapasitas PLTS ditentukan berdasarkan analisis kebutuhan daya dari peralatan yang terlibat dalam budidaya, serta profil pemakaian energi yang mencakup pola waktu dan intensitas penggunaan daya. Dengan adanya sistem backup ini, risiko kematian ikan akibat kegagalan energi dapat diminimalkan, dan operasional budidaya ikan hias tetap berjalan dengan stabil. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa konsep yang diusulkan dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem pemeliharaan ikan hias, serta berkontribusi pada keberlanjutan usaha ikan hias skala besar. Integrasi teknologi IoT dengan energi surya tidak hanya mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional tetapi juga menekan biaya operasional dalam jangka panjang (Rumokoy et al., 2024).

Nugraha dkk. melakukan penelitian dengan judul "Pemanfaatan Panel Surya sebagai *Back-Up* pada Prototipe Pemanenan Ikan Lele secara Otomatis dengan Menggunakan *Internet of Things* (IoT)." Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemanenan ikan lele secara otomatis dengan menggunakan energi surya sebagai sumber daya cadangan. Fokus utama dari penelitian ini adalah menciptakan sistem yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk budidaya ikan lele, yang memungkinkan operasi pemanenan dilakukan secara otomatis dan *real-time* dengan dukungan teknologi IoT. *Prototipe* yang dikembangkan dalam penelitian ini memanfaatkan dua motor servo untuk menggerakkan jaring pemanenan ikan. Motor servo ini mampu bergerak naik turun serta kiri dan kanan untuk menangkap ikan dengan lebih efisien. Panel surya digunakan sebagai sumber energi cadangan yang menyuplai daya ke sistem ketika sumber listrik utama (PLN) mengalami gangguan. Panel surya yang digunakan memiliki daya maksimum sekitar 8,9 Wp, dan energi yang dihasilkan disimpan dalam baterai berkapasitas 8 Ah 12 VDC. Pengisian baterai dari kondisi kosong hingga penuh membutuhkan waktu sekitar 17,54 jam, dan energi yang tersimpan kemudian diubah menjadi 220 VAC untuk menghidupkan sistem pemanenan otomatis. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa motor servo SG90 yang digunakan dalam sistem ini memiliki kinerja yang baik, dengan tegangan rata-rata 3,32 Volt DC saat mengangkat dan 3,33 Volt DC saat menggeser, serta tingkat keakuratan masing-masing sebesar 70,9% dan 71,1%. Dengan demikian, sistem pemanenan otomatis ini berhasil dioptimalkan untuk menjaga kelangsungan operasionalnya, bahkan dalam kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Penelitian

ini berhasil menghasilkan *prototipe* yang tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam proses panen ikan lele tetapi juga menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk budidaya ikan (Nugraha et al., 2024).

Somantri, Gina Purnama Insany, Siti Olis, dan Kamdan melakukan penelitian dengan judul "Perancangan Sistem Otomatisasi Pemberi Pakan Ikan Lele Berdasarkan Suhu Air Menggunakan Logika *Fuzzy Sugeno*." Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem otomatisasi pemberian pakan ikan lele yang dapat beradaptasi secara dinamis terhadap perubahan suhu air, yang merupakan faktor krusial dalam pertumbuhan ikan lele. Sistem ini dirancang untuk memberikan jumlah pakan yang sesuai berdasarkan suhu air, dengan menggunakan metode Logika *Fuzzy Sugeno* yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Metode penelitian yang digunakan meliputi beberapa tahapan. Tahap pertama yakni pengumpulan data melalui metode kualitatif, termasuk observasi langsung di kolam ikan lele, wawancara dengan pegawai Balai Besar Perikanan Budidaya Air (BBPBAT) Sukabumi, dan studi pustaka. Observasi ini mengungkapkan bahwa suhu air yang rendah menyebabkan penurunan nafsu makan ikan lele, yang ditandai dengan banyaknya pakan yang tidak dikonsumsi dan mengambang di permukaan air. Selanjutnya yakni pengembangan sistem menggunakan metode *prototype*. *Prototipe* ini dirancang sebagai model awal yang memungkinkan interaksi antara pengembang dan pengguna dalam proses pengembangan sistem. Pada tahap ini, dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, termasuk NodeMCU ESP32, sensor suhu DS18B20, motor servo, dan aplikasi berbasis *mobile*. Desain sistem mencakup skema

perancangan *hardware*, block diagram *input-proses-output*, serta *flowchart* kerja sistem yang menggambarkan bagaimana logika *Fuzzy Sugeno* menentukan jumlah pakan yang diberikan berdasarkan *input* suhu air. Selanjutnya yakni implementasi sistem, dimana perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang diintegrasikan dan diujicobakan dalam lingkungan nyata. Sistem ini dirancang agar dapat mengontrol pemberian pakan secara otomatis sesuai dengan kondisi suhu yang terukur. Data dari sensor suhu diproses oleh NodeMCU ESP32 dan dipetakan menggunakan aturan logika *Fuzzy Sugeno*, dengan *output* yang menentukan seberapa banyak pakan yang harus dikeluarkan oleh motor servo. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap sistem untuk memastikan fungsionalitas dan akurasi dari implementasi logika *Fuzzy Sugeno*. Pengujian ini meliputi uji coba pada motor servo, sensor suhu, serta aplikasi *mobile* yang digunakan untuk memantau dan mengontrol sistem secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan pakan secara akurat sesuai dengan suhu air yang terukur, dengan tingkat eror yang sangat rendah. Tahap terakhir yakni evaluasi sistem, dimana hasil pengujian dianalisis untuk menentukan apakah sistem telah memenuhi tujuan yang diharapkan. Evaluasi ini juga mencakup umpan balik dari pengguna, yang menunjukkan tingkat kepuasan yang tinggi terhadap kinerja sistem otomatisasi pemberi pakan ini. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem otomatisasi pemberian pakan ikan lele yang adaptif terhadap suhu air, menggunakan logika *fuzzy Sugeno*. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam pemberian pakan tetapi juga membantu menjaga kondisi optimal untuk pertumbuhan ikan lele, yang berdampak pada

peningkatan produktivitas budidaya (Somantri et al., 2023). Berikut yakni tabel penelitian terdahulu yang sudah diuraikan sebelumnya:

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
1	Ayi Bahtiar, Adam Bagaskara, Marsella Angleina, Annisa Aprilia, Togar Saragi	Pemasangan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Pompa Sirkulasi Air Untuk Budidaya Ikan Mas	Pemasangan panel surya untuk pompa sirkulasi air dan kontrol pH	Panel surya berhasil menyediakan sumber listrik untuk sistem pompa sirkulasi air pada kolam pembibitan ikan mas, mengurangi ketergantungan pada listrik PLN dan membantu menjaga suhu dan pH air yang optimal.
2	Mochammad Irvan Vadila, Muhamad Rifa'i, Mas Nurul Achmadiyah	Rancang Bangun DC Converter Sebagai Pengisian Cadangan Baterai Tenaga Panel Surya Pada Budidaya Ikan Nila Bioflok	Maximum Power Point Tracking (MPPT) dan DC synchronous buck converter untuk pengisian baterai cadangan	Sistem MPPT berhasil mengisi baterai cadangan secara efisien dengan daya yang dihasilkan dari panel surya, mendukung kontinuitas operasional budidaya ikan bioflok selama pemadaman Listrik.
3	Stieven N. Rumokoy, Chelin S. Tumiwa, Andreas C. Y. Lengkey, Putri Kapiso, Tesalonika Maundeng, Langlang Gumilar, Dezetty Monika	Konsep Pencegahan Kematian Ikan Hias Dengan Sistem IoT Terintegrasi Energi Surya Pada Usaha Ikan Skala Besar	IoT-integrated solar power backup system for ornamental fish farming	Sistem ini menggunakan IoT untuk pemantauan dan kontrol otomatis berbagai aspek pemeliharaan ikan hias, seperti suhu, pH, dan pemberian pakan. Panel surya digunakan sebagai sumber energi cadangan untuk mencegah kematian ikan akibat kegagalan Listrik.
4	Septian Nugraha, Didik Notosudjono, Bloko Budi Rijadi	Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Back-Up pada Prototipe Pemanenan Ikan Lele Secara Otomatis Menggunakan IoT	IoT-based fish harvesting system with solar backup	Prototipe pemanenan otomatis berhasil menggunakan panel surya sebagai sumber energi cadangan, memastikan sistem berfungsi selama pemadaman listrik dengan efektivitas tinggi pada sistem motor servo yang menggerakkan jarring.
5	Stieven Netanel Rumokoy, Stanley B. Dodie, I Gede Para Atmaja, Stephy Beatrix	Rancangan Sistem Kontrol Alat Pencegah Kematian Ikan Pada Usaha Ikan	IoT-based control system with solar energy integration for	Sistem berhasil merancang kontrol otomatis yang mengatur pemberian pakan, sirkulasi air,

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
	Walukow, Daisy D. G. Pangemanan, Fitria Claudya Lahinta, Sintya P. Junaedy, Adelaida Joroh	Hias Dengan Sistem Kolam Akuarium Berbasis IoT Terintegrasi PLTS	ornamental fish farming	pencahayaannya, dan pemantauan secara jarak jauh, memastikan kontinuitas sistem meskipun terjadi pemadaman Listrik.

2.2 IOT (*Internet Of Thing*)

Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep jaringan perangkat yang saling terhubung melalui internet, di mana setiap perangkat memiliki kemampuan untuk mengakses, mengirim, dan memproses data secara waktu nyata (Srikandina et al., 2024). Teknologi tersebut memungkinkan komunikasi otomatis antarperangkat fisik tanpa memerlukan keterlibatan langsung dari manusia. Dalam penerapannya di berbagai sektor industri, termasuk bidang akuakultur, IoT mendukung proses pemantauan dan pengelolaan sistem secara lebih efisien dan terintegrasi.

2.3 Panel Surya

Panel surya yakni perangkat yang bisa memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotovoltaik (Elektro et al., 2024). Yang pada dasarnya, panel surya terdiri dari sel-sel fotovoltaik yang terbuat dari material semikonduktor, seperti silikon, yang dapat mengubah energi cahaya menjadi arus listrik. Ketika sinar matahari mengenai permukaan panel, foton dari cahaya tersebut diserap oleh semikonduktor, mengakibatkan elektron-elektron dalam material tersebut bergerak dan menghasilkan arus listrik searah (DC).

Panel surya juga digunakan sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, karena mereka tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca dan dapat diandalkan dalam jangka waktu panjang dengan perawatan yang minimal (Amalia Putri et al., 2024). Efisiensi panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, dan orientasi panel terhadap matahari. Panel surya biasanya dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan teknologi sel yang digunakan, seperti *monocrystalline silicon*, *polycrystalline silicon*, dan *thin-film solar cells*, yang masing-masing memiliki karakteristik dan efisiensi yang berbeda (Hou et al., 2019). Dalam konteks sistem kontrol *switching* energi listrik, penggunaan panel surya menjadi sangat relevan mengingat kebutuhan energi yang stabil dan berkelanjutan untuk mengoperasikan perangkat-perangkat penting seperti pompa air dan sistem aerasi. Panel surya juga menyediakan solusi energi yang independen dari jaringan listrik konvensional, yang sangat penting terutama di daerah terpencil atau di lokasi yang pasokan listriknya tidak dapat diandalkan. Dengan penerapan metode *Rule-based* dalam sistem kontrol, penggunaan energi dari panel surya dapat dioptimalkan untuk mengatur suplai energi secara efisien, memastikan bahwa kebutuhan energi sistem terpenuhi tanpa pemborosan.

Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa integrasi panel surya yang ada di dalam sistem budidaya ikan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya operasional jangka panjang. Selain itu, penggunaan panel surya juga mendukung tujuan keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Oleh karena itu, panel surya menjadi

komponen yang sangat penting dalam pengembangan sistem akuakultur modern yang efisien dan berkelanjutan (Bahtiar, 2023).

2.4 Cadangan Energi (*Energy Storage*)

Cadangan energi di dalam konteks sistem energi terbarukan, khususnya yang menggunakan panel surya, merujuk pada teknologi dan metode yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan pada waktu yang diperlukan (Denny Haryanto Sinaga, Wanapri Pangaribuan & Syahrir, 2023). Panel surya juga menghasilkan energi listrik berdasarkan intensitas cahaya matahari, yang bervariasi sepanjang hari dan tidak tersedia pada malam hari. Oleh sebab itu, untuk memastikan ketersediaan energi yang berkelanjutan, diperlukan sistem cadangan energi yang efisien.

Baterai dan teknologi lain yang menyimpan energi dapat digunakan saat produksi panel surya tidak mencukupi. Prinsip elektrokimia digunakan oleh baterai ini. Selama proses pengisian, energi listrik disimpan dalam bentuk energi kimia, dan kemudian dikembalikan ke bentuk energi listrik selama proses pelepasan. Aplikasi ini sering menggunakan baterai lithium-ion, yang dikenal karena efisiensi tinggi dan umur pakai yang panjang, dan baterai lead-acid, yang lebih murah tetapi memiliki kapasitas dan umur pakai yang lebih pendek (Pambudi et al., 2023).

Penerapan sistem cadangan energi ini sangat penting dalam sistem kontrol *switching* energi untuk berbagai aplikasi yang memerlukan pasokan listrik berkelanjutan, seperti sistem monitoring lingkungan, instalasi sensor terpencil, atau perangkat rumah tangga pintar. Suplai energi yang stabil diperlukan agar perangkat-perangkat vital tetap dapat beroperasi, meskipun produksi energi dari

panel surya menurun atau terhenti. Sistem ini memastikan operasional tetap berjalan tanpa gangguan, yang sangat penting untuk menjaga kontinuitas fungsi sistem dan efisiensi penggunaan energi. Dalam penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan cadangan energi listrik dalam sistem energi terbarukan tidak hanya meningkatkan keandalan sistem, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi secara keseluruhan (Nugraha et al., 2024). Dan dengan penerapan metode *fuzzy sugeno*, potensi untuk mengoptimalkan sistem kontrol energi semakin diperkuat, menjadikannya relevan untuk berbagai kebutuhan aplikasi modern yang dinamis.

2.5 Logika *Fuzzy*

Logika *Fuzzy* yakni metode komputasi yang meniru cara manusia berpikir dalam mengambil keputusan yang memiliki ketidakpastian dan ambiguitas (Setiyawan et al., 2023). Berbeda dengan logika yang hanya mengenal dua nilai (*true* atau *false*), logika *fuzzy* memungkinkan suatu variabel yang memiliki nilai kontinu dalam rentang tertentu, yang biasanya antara 0 dan 1. Hal ini menjadikan logika *fuzzy* sangat bermanfaat dalam sistem kontrol yang menghadapi situasi dengan *input* yang tidak pasti atau dengan batasan yang tidak tegas.

Dalam konteks kontrol *switching* energi listrik untuk sistem cadangan energi, logika *fuzzy* digunakan untuk mengelola proses pengisian dan penggunaan energi listrik secara efisien. Sistem kontrol menerapkan berbagai aturan yang didasarkan pada pengalaman atau pengetahuan guna menghasilkan keputusan yang optimal, meskipun kondisi *input* bersifat tidak pasti atau berubah-ubah. Sebagai contoh, logika *fuzzy* dapat membantu sistem menentukan waktu yang tepat untuk

mengisi baterai cadangan berdasarkan prediksi intensitas cahaya matahari atau kebutuhan energi sistem pada saat tertentu. Selain itu, logika *fuzzy* ini memungkinkan integrasi berbagai parameter seperti intensitas cahaya, dan tingkat baterai untuk menentukan *output* atau hasil yang paling tepat tanpa memerlukan pemodelan matematis yang rumit.

Sistem kontrol berbasis IoT (*Internet of Things*) sering kali harus mempertimbangkan banyak faktor dinamis dan tidak linear, logika *fuzzy* meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Dengan kemampuannya yang adaptif, logika *fuzzy* dapat memastikan sistem tetap bekerja secara stabil dan optimal, bahkan dalam kondisi lingkungan yang terus berubah. Logika *fuzzy* dapat diterapkan melalui berbagai metode, dua di antaranya yang paling populer yaitu metode *mamdani* dan *sugeno*. Pada penelitian ini, metode *sugeno* dipilih karena memberikan *output* yang lebih sederhana, yang sesuai dengan kebutuhan sistem *real-time* seperti kontrol *switching* energi listrik. *Output* dari metode *sugeno* dapat langsung digunakan dalam sistem kontrol untuk mengatur perangkat seperti inverter, memastikan penggunaan energi yang efisien dalam sistem. Pada metode *sugeno*, proses pengambilan keputusan dilakukan melalui tiga tahap utama yakni *fuzzifikasi*, inferensi *fuzzy*, dan *defuzzifikasi*. Pada tahap *fuzzifikasi*, nilai-nilai *input* dari sensor seperti tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya diubah menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*. Derajat keanggotaan ini menunjukkan sejauh mana suatu nilai termasuk dalam kategori linguistik tertentu, seperti “rendah”, “sedang”, atau “tinggi”. Terdapat beberapa jenis fungsi keanggotaan yang umum digunakan, seperti fungsi segitiga, trapesium, dan

Gaussian. Dalam penelitian ini, digunakan fungsi keanggotaan segitiga karena bentuknya sederhana dan banyak digunakan dalam implementasi sistem kontrol. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Azam, Hassan, Hasan, dan Abdulkadir yang membahas mengenai fungsi keanggotaan *fuzzy* dan berbagai bentuk fungsi keanggotaan yang dapat digunakan dalam sistem kontrol, salah satunya adalah fungsi keanggotaan segitiga (Azam et al., 2020). Fungsi keanggotaan segitiga didefinisikan oleh tiga parameter, yaitu titik awal (a), titik puncak (b), dan titik akhir (c), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a < x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & b < x < c \end{cases} \quad (2.1)$$

Keterangan:

x = nilai *Input* sensor.

$\mu(x)$ = nilai derajat keanggotaan

$a < b < c$ = parameter fungsi segitiga.

Setelah proses *fuzzifikasi*, aturan berbasis logika *fuzzy* dalam bentuk IF-THEN diterapkan. Contohnya: “IF tegangan PLN tinggi AND baterai rendah AND cahaya tinggi THEN gunakan PLN.” Aturan-aturan tersebut diproses oleh mesin inferensi untuk menentukan *output fuzzy*. Pada tahap akhir, yaitu *defuzzifikasi*, hasil *output fuzzy* dikonversi menjadi nilai numerik (*crisp*) yang dapat digunakan oleh sistem kontrol.

Menurut Muhammad Afdhal (2021) melakukan penelitian tentang *fuzzy*, Dalam *fuzzy sugeno* disebutkan bahwa pada proses *defuzzifikasi* dilakukan dengan menggunakan rumus rata-rata berbobot (*weighted average*), pada rumus 2.2:

$$Output = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.2)$$

Keterangan:

w_i = adalah bobot atau derajat keanggotaan dari aturan *fuzzy* ke- i ,

z_i = adalah nilai *Output* dari aturan ke- i (biasanya berupa konstanta atau fungsi linier),

n = adalah jumlah aturan *fuzzy* yang digunakan.

Misalkan terdapat dua aturan *fuzzy* yang aktif, masing-masing memiliki derajat keanggotaan $w_1 = 0,6$ dan $w_2 = 0,3$ dan nilai *output* dari aturan yang pertama adalah $z_1 = 8$ dan untuk aturan kedua menghasilkan $z_2 = 4$. *output* akhir sistem dihitung menggunakan metode *sugeno* dengan rumus rata-rata tertimbang:

$$output = \frac{(0,6 \times 8) + (0,3 \times 4)}{0,6 + 0,3} = 6.67$$

Perhitungan ini menunjukkan bagaimana sistem *fuzzy sugeno* menghasilkan nilai numerik (*crisp*) yang langsung dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam kontrol *switching* energi. Pendekatan ini memungkinkan sistem beroperasi secara adaptif terhadap perubahan kondisi *input* yang bersifat dinamis dan tidak pasti.

2.5.1 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* yaitu dasar dari logika *fuzzy*, yang di mana nilai keanggotaan suatu elemen dalam himpunan tersebut tidak terbatas pada 0 atau 1, tetapi dapat berada di antara keduanya (Nisa et al., 2020). Konsep ini memungkinkan representasi ambiguitas dalam data yang sering kali terjadi dalam dunia nyata. Dalam sistem kontrol, himpunan *fuzzy* digunakan untuk

merepresentasikan variabel-variabel seperti intensitas cahaya matahari, dan tingkat baterai, yang dapat memiliki nilai yang berubah-ubah.

Himpunan *fuzzy* memungkinkan sistem kontrol membuat keputusan yang lebih fleksibel. Misalnya, sistem kontrol energi listrik dapat menggunakan himpunan *fuzzy* untuk menentukan kapan baterai cadangan harus diisi atau kapan energi cadangan harus digunakan berdasarkan tingkat keanggotaan variabel yang mempengaruhi keputusan.

2.5.2 Metode *Fuzzy Sugeno*

Metode *Fuzzy Sugeno*, yang juga dikenal sebagai TSK (Takagi-Sugeno-Kang), merupakan salah satu metode dalam logika *fuzzy* yang digunakan untuk menghasilkan *output* yang lebih terstruktur dan mudah diimplementasikan dalam sistem kontrol otomatis (Putri et al., 2024). Prinsip dasar metode *sugeno* menggunakan fungsi linear atau konstanta sebagai *output* yang dihasilkan dari setiap aturan *fuzzy*. Ini berbeda dengan metode *mamdani* yang menggunakan *output* berupa himpunan *fuzzy*. Keuntungan utama dari metode *sugeno* yakni kemampuannya menghasilkan *output* yang dapat langsung digunakan dalam pengaturan sistem kontrol, seperti pengaturan perangkat keras di dalam aplikasi *real-time* (Aji, 2023). Misalnya, dalam sistem kontrol *switching* energi, *output* dari metode *sugeno* dapat langsung mengatur kapan energi listrik harus beralih dari sumber energi utama ke cadangan, atau kapan baterai harus mulai diisi, berdasarkan kondisi lingkungan yang diamati.

Pada metode *sugeno* ini, setiap aturan *fuzzy* menghasilkan sebuah fungsi *output* yang berupa konstanta atau persamaan linier. Untuk aturan *fuzzy* sederhana,

outputnya bisa berupa sebuah konstanta, sedangkan pada sistem yang lebih kompleks, *outputnya* dapat berupa fungsi linier dari variabel *input*. menurut (Malona, 2020) melakukan penelitian tentang *fuzzy*, persamaan umumnya yakni pada rumus 2.3:

$$z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + c \quad (2.3)$$

Keterangan:

- a) $z = \text{output}$ aturan *Fuzzy*
- b) $x_1, x_2, \dots, x_n =$ variabel *Input*
- c) $a_1, a_2, \dots, a_n =$ koefisien atau bobot untuk *inputnya*
- d) $C =$ konstanta

Contohnya:

$$z = 1.2x_1 + 2.5x_2 + 0.8$$

Dari contoh tersebut, *output z* dihitung berdasarkan *input x₁* dan *x₂* yang dimana $a_1=1.2$, $a_2 = 2.5$, dan $c = 0.8$. Nilai-nilai tersebut merepresentasikan logika keputusan sistem dalam kondisi tertentu. Misalnya, nilai z yang lebih tinggi dapat menunjukkan bahwa sistem memprioritaskan penggunaan listrik PLN sekaligus mengaktifkan proses pengisian daya baterai. Untuk memperoleh *output* akhir dari keseluruhan proses *fuzzy*, metode *sugeno* menggunakan pendekatan rata-rata berbobot (*weighted average*) dari nilai-nilai z yang dihasilkan oleh setiap aturan yang aktif. Rumus perhitungannya sama seperti yang telah dijelaskan pada persamaan 2.3 di atas.

Pemilihan metode *fuzzy sugeno* dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan sistem kontrol yang efisien serta kemampuannya dalam menghasilkan keputusan yang presisi dengan respons yang cepat. Metode ini sangat sesuai untuk

aplikasi yang memerlukan kontrol adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan secara *real-time*, seperti pada sistem pengelolaan energi listrik.

2.6 ESP32

ESP32 yakni salah satu modul mikrokontroler yang canggih dan sangat populer dalam pengembangan sistem berbasis *Internet of Things* (Lasera & Wahyudi, 2020). Modul ini dilengkapi dengan Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi yang memungkinkan komunikasi nirkabel yang lebih fleksibel antara perangkat IoT dengan jaringan internet atau jaringan lokal. ESP32 ini dikenal karena performa tinggi, ukuran yang kompak, konsumsi daya yang efisien, dan harga yang kompetitif, menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi IoT kompleks, termasuk dalam sistem kontrol energi berbasis panel surya (Hercog et al., 2023). Di dalam konteks sistem kontrol *switching* energi listrik, ESP32 ini berfungsi sebagai otak dari sistem yang mengintegrasikan berbagai sensor, seperti sensor tegangan, sensor arus, untuk memantau kondisi lingkungan kolam serta kinerja sistem energi. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini dikirimkan ke ESP32, yang kemudian memprosesnya menggunakan metode *rule-based* untuk mengambil keputusan terkait pengelolaan energi, seperti kapan harus menggunakan energi cadangan atau kapan harus mengisi ulang baterai. Dengan prosesor *dual-core*, ESP32 mampu menangani tugas-tugas ini dengan lebih efisien dibandingkan pendahulunya.

ESP32 mendukung pemrograman dengan beberapa platform, seperti Arduino IDE dan ESP-IDF (*Framework Pengembangan Internet of Things*), yang memudahkan pengembangan dan debugging sistem kontrol (Wisnawa et al., 2021).

Melalui jaringan Wi-Fi atau Bluetooth, operator dapat mengakses dan mengontrol sistem dari mana saja dan kapan saja, meningkatkan fleksibilitas dan efektivitas pengelolaan energi. Perlindungan data yang lebih baik, yang sangat penting dalam sistem IoT, dijamin oleh fitur keamanan yang ditingkatkan pada ESP32.

Selain itu, ESP32 ini mendukung berbagai protokol komunikasi seperti MQTT, HTTP, WebSocket, dan BLE (*Bluetooth Low Energy*), yang memungkinkan integrasi yang mudah dengan platform IoT lainnya untuk analisis data lebih lanjut atau untuk pengendalian yang lebih terpusat (Al-Azam et al., 2019). Kemampuan ini, ditambah dengan jumlah GPIO yang lebih banyak, membuatnya sangat cocok untuk aplikasi kontrol otomatis yang memerlukan ketepatan, keandalan tinggi, dan konektivitas yang luas, seperti dalam sistem cadangan energi.

ESP32 adalah bagian penting dari sistem kontrol berbasis *Internet of Things* yang lebih kompleks karena memiliki segala keunggulannya, termasuk kinerja yang lebih baik dan fitur yang lebih banyak dibandingkan ESP8266 (Azmi et al., 2023). Ini menawarkan infrastruktur yang kuat, fleksibel, dan skalabel untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi energi. Selain itu, ESP32 dapat menangani tugas-tugas pemrosesan yang lebih kompleks dan mendukung aplikasi *real-time*. Ini membuat ESP32 pilihan yang ideal untuk sistem.

2.7 Sensor

Sensor memainkan peran penting dalam sistem kontrol energi berbasis IoT, khususnya dalam pengelolaan panel surya untuk cadangan energi (Soambaton et al., 2024). Sensor-sensor ini bertugas memantau berbagai parameter lingkungan

dan kinerja sistem, seperti tegangan, arus, dan suhu, yang kemudian digunakan untuk membuat keputusan. Berikut adalah deskripsi beberapa sensor yang digunakan dalam sistem ini.

2.7.1 Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mengirimkan data *real-time* ke ESP32 untuk dianalisis, dan digunakan untuk memantau keluaran tegangan dari panel surya dan kondisi tegangan pada baterai cadangan (Sutikno et al., 2023). Tegangan adalah parameter penting yang harus dipantau secara teratur untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya dan yang tersimpan dalam baterai berada pada tingkat yang ideal. Dalam sistem ini, sensor tegangan mengirimkan data ini ke ESP32. Sistem dapat menggunakan data ini untuk menentukan kapan baterai harus diisi ulang atau kapan energi panel surya harus dialihkan ke baterai cadangan. Dengan demikian, sistem dapat menghindari situasi *overcharge* atau *discharge* yang berlebihan, yang dapat merusak baterai dan mengurangi efisiensi sistem secara keseluruhan.

2.7.2 Sensor PZEM-004t

Sensor PZEM-004t digunakan untuk mengukur tegangan listrik dari sumber PLN dan mengirimkan data ini ke ESP32 (Jokanan et al., 2022). Sensor ini sering digunakan dalam sistem monitoring daya listrik, karena dapat mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi secara *real-time*.

Dalam sistem ini, PZEM-004 berfungsi untuk memastikan bahwa suplai listrik dari PLN stabil dan sesuai dengan kebutuhan sistem (Andriana et al., 2019).

Tegangan listrik PLN yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan gangguan pada perangkat elektronik, termasuk relay dan inverter dalam sistem kontrol *switching* energi listrik.

2.7.3 Sensor Cahaya (*Light Dependent Resistor*)

Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya di sekitar sistem (Nadziroh et al., 2021). Sensor ini memainkan peran penting dalam menentukan waktu pengoperasian berdasarkan perubahan cahaya, seperti siang dan malam hari. Data dari sensor LDR memungkinkan sistem untuk mengisi daya baterai menggunakan energi dari panel surya selama siang hari saat intensitas cahaya cukup tinggi. Sebaliknya, saat malam tiba dan intensitas cahaya menurun, sistem secara otomatis mengalihkan sumber daya ke baterai untuk mendukung perangkat seperti aerator. Dengan pendekatan ini, sensor LDR membantu memastikan pengelolaan energi yang efisien sesuai dengan kondisi waktu.

BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam pengembangan sistem ini disusun secara terstruktur dan sistematis untuk memastikan setiap tahapan berjalan sesuai tujuan yang telah ditetapkan. Tahapan-tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Metodologi penelitian

Pada Gambar 3.1 tersebut menunjukkan tahapan metodologi penelitian yang digunakan dalam proses perancangan sistem. Langkah pertama adalah studi literatur yang bertujuan mengkaji metode pengambilan keputusan yang sesuai, memilih algoritma kontrol, serta menentukan perangkat keras dan perangkat lunak berdasarkan referensi teknis dan penelitian terdahulu. Hasil kajian ini digunakan sebagai dasar dalam analisis kebutuhan dan perancangan, yang mencakup penyusunan sistem, konfigurasi sensor, dan logika *fuzzy*. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data melalui pembacaan sensor secara langsung sebagai *input* sistem. Data ini menjadi dasar dalam tahap implementasi, yaitu integrasi komponen dan

pengembangan program kendali menggunakan ESP32. Setelah sistem terbangun, dilakukan pengujian untuk memastikan fungsionalitasnya berjalan sesuai rancangan. Terakhir, dilakukan analisis hasil untuk menilai apakah sistem yang dibuat telah sesuai dengan tujuan penelitian.

3.2 Studi Literatur

Pemilihan metode dan arsitektur sistem dalam penelitian ini didasarkan pada studi literatur yang relevan, Di dalam penelitian Rahman, diterapkan metode *fuzzy sugeno* pada mikrokontroler untuk kendali otomatis, yang terbukti mampu memberikan respons cepat dan akurat dengan struktur aturan sederhana dan *output* berupa nilai *crisp* fitur yang sangat cocok untuk sistem *switching* berdasarkan pembacaan sensor *real-time* (Rahman et al., 2024). Selain itu, studi dari Imamguluyev membahas penerapan logika *fuzzy* untuk manajemen energi pada bangunan IoT, di mana pengambilan keputusan adaptif berdasarkan data sensor seperti tingkat penggunaan ruang dan kondisi lingkungan terbukti efektif dalam mengurangi konsumsi energi sambil mempertahankan kenyamanan pengguna (Imamguluyev et al., 2024). Dan dari sisi *hardware*, dokumentasi resmi espressif sistem menunjukkan bahwa ESP32 dilengkapi prosesor *dual-core*, konektivitas Wi-Fi/Bluetooth, serta manajemen daya yang efisien, menjadikannya ideal sebagai pusat pengendali lokal sekaligus modul komunikasi dalam sistem berbasis IoT (Espressif Systems, 2021). Berdasarkan kajian-kajian tersebut, metode *fuzzy sugeno* dipilih dalam penelitian ini untuk logika pengambilan keputusan *switching* energi, sedangkan ESP32 digunakan sebagai pengendali utama untuk menangani pembacaan sensor, logika *fuzzy*, dan pengiriman data secara *real-time*.

3.3 Analisis Kebutuhan dan Perancangan

Analisis kebutuhan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen, perangkat keras, dan perangkat lunak yang dibutuhkan dalam membangun sistem kontrol *switching* energi listrik yang berbasis IoT ini untuk manajemen energi.

3.3.1 Sistem *Hardware*

Perangkat *hardware* yang digunakan di dalam penelitian ini yakni:

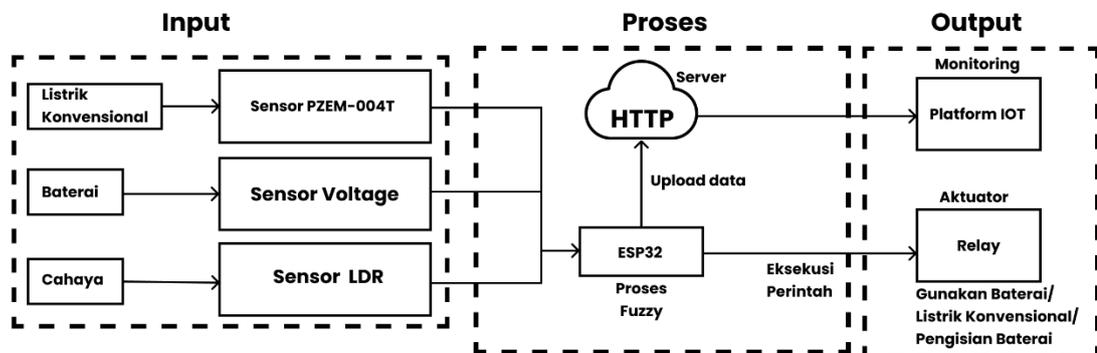
1. Panel Surya
2. Baterai Cadangan (*Battery Storage*)
3. ESP-32
4. INA219
5. Sensor voltage
6. PZEM004T
7. Sensor LDR
8. Relay Module
9. Aerator
10. Charger Controller (*Solar Charge Controller*)
11. Kabel dan Konektor
12. PCB (*Printed Circuit Board*)
13. Adaptor DC

3.3.2 Sistem Software

Perangkat *software* yang digunakan di dalam penelitian ini yakni *software* Arduino IDE.

3.3.3 Perancangan Sistem

Untuk perancangan sistemnya pada Gambar 3.2 berikut menampilkan skema desain sistem berdasarkan komponen-komponen tersebut.

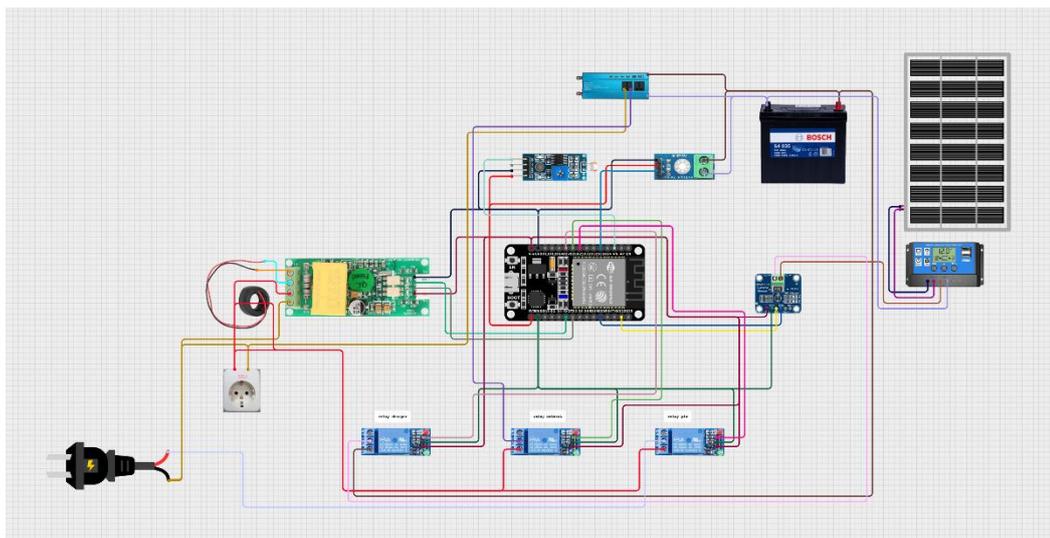


Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem

Pada gambar 3.2 ditampilkan blok diagram dari sistem kontrol *switching* energi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang dalam penelitian ini. Sistem menerima *input* dari tiga sumber utama, yaitu listrik konvensional (PLN), baterai, dan cahaya lingkungan. Masing-masing *input* tersebut dipantau menggunakan sensor PZEM-004T untuk tegangan listrik konvensional, sensor voltage divider untuk tegangan baterai, dan sensor LDR untuk intensitas cahaya. Seluruh data dari sensor dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan. ESP32 menjalankan proses *fuzzy sugeno* untuk menganalisis kondisi *input* dan menentukan perintah *switching*. *Output* sistem berupa eksekusi perintah ke aktuator relay untuk mengatur penggunaan sumber

daya antara listrik PLN, baterai, atau pengisian daya baterai. Selain itu, ESP32 juga mengirimkan data sensor secara *real-time* ke server melalui protokol HTTP. Data tersebut kemudian disimpan dan ditampilkan melalui platform IoT sebagai media pemantauan jarak jauh. Dengan rancangan ini, sistem dapat mengambil keputusan secara adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan dan mendukung efisiensi dalam pengelolaan energi listrik secara otomatis.

Untuk merealisasikan rancangan tersebut dalam bentuk fisik, maka diperlukan pengkabelan sistem yang sesuai dengan konfigurasi blok diagram yang telah dijelaskan



Gambar 3. 3 Sistem Pengkabelan

Pada gambar 3.3 Sistem pengkabelan, setiap kabel yang menghubungkan komponen-komponen sistem menggunakan warna yang berbeda untuk memudahkan pemahaman dan identifikasi. Dalam implementasi di dunia nyata, warna kabel bisa berbeda tergantung pada standar warna yang digunakan dan jenis kabel yang tersedia. Sebagai contoh, pada sensor tegangan, kabel biru muda di gambar menghubungkan pin sinyal sensor ke ESP32, sementara kabel merah

digunakan untuk daya positif (VCC) dan kabel hitam untuk ground. Pada sensor LDR, kabel hijau toska terhubung ke pin AO pada sensor LDR yang membaca intensitas cahaya, dengan kabel merah untuk VCC dan hitam untuk ground. Begitu pula dengan sensor PZEM004T, di mana kabel hijau menghubungkan RX ke TX pada ESP32, kabel abu-abu untuk TX ke RX, dan kabel merah serta hitam digunakan untuk VCC dan ground. Untuk relay dan pengendalian aliran daya, kabel merah menyuplai daya positif, hitam untuk ground, dan ungu muda untuk menghubungkan Vin- pada INA219 ke COM relay. Meskipun warna kabel pada gambar memberikan gambaran yang jelas, dalam praktiknya, warna kabel bisa saja berbeda, tetapi yang paling penting adalah memastikan koneksi kabel sesuai dengan pinout dan fungsi perangkat yang terhubung, untuk menjaga kestabilan dan keamanan sistem.

Tabel 3. 1 Komponen dan Fungsi dalam Sistem

No	Komponen	Fungsi
1	Panel Surya	Mengubah energi matahari menjadi Listrik DC
2	Baterai	Menyimpan energi dari panel surya
3	ESP32	Mengontrol <i>switching</i> energi berdasarkan <i>rule</i> .
4	Relay Module	Mengatur perpindahan antara sumber energi
5	Sensor INA219	Memantau Arus yang masuk ke Baterai
6	Sensor PZEM004T	Memantau Tegangan pada Listrik konvensional
7	Sensor <i>Voltage</i>	Memantau Tegangan pada Baterai
8	Sensor LDR	Memantau Intensitas Cahaya

Dengan rincian komponen seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1, setiap perangkat memiliki peran spesifik dalam mendukung jalannya sistem secara otomatis. Komponen-komponen ini diintegrasikan melalui rangkaian dan program yang telah dirancang sedemikian rupa agar sistem dapat melakukan *switching* sumber energi dan pengisian baterai secara mandiri berdasarkan data *real-time*.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada sistem kontrol *switching* energi listrik dilakukan dengan menggunakan beberapa komponen utama, yaitu sensor tegangan dan sensor arus yang dihubungkan dengan ESP32. Sistem ini mengumpulkan data secara *real-time* untuk memantau kondisi energi yang bersumber dari PLN dan baterai cadangan. Data yang di kumpulkan yakni tegangan Listrik dari PLN, Data ini menunjukkan tegangan yang masuk dari sumber listrik konvensional (PLN). Sensor tegangan dari PZEM004t digunakan untuk memantau nilai tegangan secara terus-menerus, yang memastikan sistem mendapatkan suplai listrik yang cukup. Lalu tegangan listrik dari baterai cadangan, tegangan dari baterai cadangan ini dipantau untuk mengetahui kapan baterai berada pada kondisi yang memerlukan pengisian ulang atau siap digunakan sebagai sumber energi cadangan. Kemudian Arus yang mengalir dalam sistem, data arus yang dihasilkan oleh sensor ina219 mencerminkan jumlah arus yang masuk ke baterai dalam sistem. Arus yang diukur pada sumber PLN dan baterai membantu dalam menentukan tingkat konsumsi listrik oleh aerator dan perangkat lainnya. Data dari sensor-sensor ini dikumpulkan secara *real-time* oleh ESP32 dan disimpan untuk analisis lebih lanjut dalam sistem berbasis IoT. Hasil dari pengolahan ini dikirimkan kembali ke sistem untuk pengambilan keputusan lebih lanjut terkait penggunaan energi.

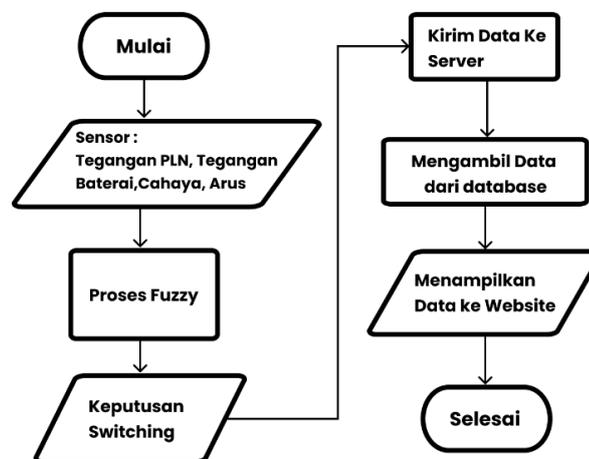
3.5 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dalam penelitian ini mencakup beberapa tahapan, mulai dari perancangan hingga pengoperasian sistem kontrol *switching* energi berbasis logika *fuzzy*. Tahapan tersebut meliputi proses *fuzzifikasi*, inferensi *fuzzy*,

dan *defuzzifikasi* yang digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan *switching* secara otomatis. Selain itu, sistem juga diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, serta terintegrasi dengan platform *Internet of Things* (IoT) untuk memantau dan mengelola penggunaan energi secara efisien dalam berbagai kondisi lingkungan. Berikut merupakan penjelasan implementasi sistem secara rinci:

3.5.1 Diagram Alur Sistem Kontrol

Gambar 3.4 Ini merupakan diagram alur dalam sistem kontrol dalam penelitian ini.

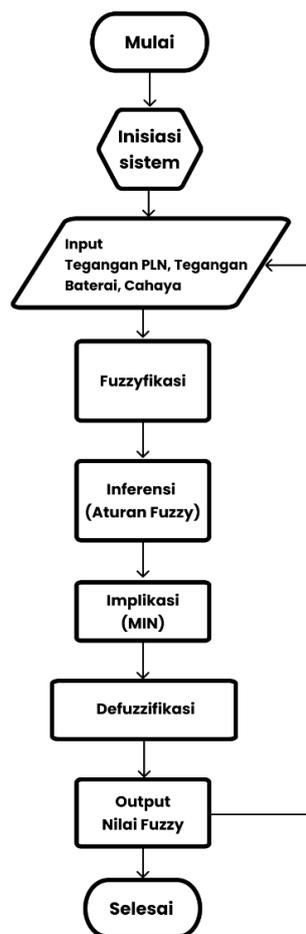


Gambar 3. 4 Diagram alur sistem

Pada gambar 3.4 menunjukkan diagram alur sistem kontrol *switching* energi berbasis metode *fuzzy sugeno* yang diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem memulai proses dengan membaca *input* dari tiga parameter utama, yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya, yang digunakan dalam proses *fuzzy* untuk menentukan aksi *switching* yakni

menggunakan listrik utama, menggunakan baterai, atau mengaktifkan pengisian daya baterai. Selain itu, data arus baterai turut dibaca untuk memantau aliran daya dan mendukung analisis performa serta efisiensi penggunaan energi.

Setelah proses *fuzzy* selesai dijalankan, hasil keputusan langsung dieksekusi oleh mikrokontroler melalui kendali relay. Selanjutnya, seluruh data sensor beserta hasil keputusan sistem dikirim ke server menggunakan protokol HTTP, disimpan dalam *database*, dan ditampilkan melalui antarmuka web IoT yang dapat diakses secara *real-time* oleh pengguna. Untuk menjelaskan lebih lanjut bagian pengambilan keputusan berbasis *fuzzy logic* sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Flowchart Proses Fuzzy Sugeno

Gambar 3.5 menampilkan flowchart proses *fuzzy sugeno* yang digunakan dalam sistem kontrol *switching* energi pada penelitian ini. Diagram ini menggambarkan tahapan inti dari penerapan logika *fuzzy sugeno* dalam pengambilan keputusan otomatis oleh mikrokontroler ESP32. Proses dimulai dari tahap inisialisasi sistem, di mana perangkat melakukan konfigurasi awal sensor dan kalibrasi. Setelah itu, sistem membaca *input* dari sensor berupa tegangan listrik PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Nilai-nilai ini dikonversi melalui proses *fuzzifikasi* menjadi derajat keanggotaan dalam masing-masing himpunan *fuzzy*. Kemudian, dilakukan inferensi *fuzzy* dengan menerapkan aturan logika IF-THEN yang telah disusun, dilanjutkan dengan tahap implikasi menggunakan metode MIN untuk menentukan tingkat kebenaran setiap *rule*. Nilai tersebut kemudian masuk ke tahap *defuzzifikasi* menggunakan metode rata-rata tertimbang (*weighted average*) pada *fuzzy Sugeno*, menghasilkan nilai *output crisp* sebagai keputusan akhir. Hasil keputusan ini digunakan untuk mengontrol *switching* antara sumber daya listrik, baik menggunakan baterai, PLN, maupun pengisian ulang baterai. Sistem ini juga menunjukkan bahwa proses berjalan secara berulang, membentuk *loop* yang memungkinkan sistem memperbarui keputusan secara *real-time* berdasarkan kondisi lingkungan yang terus berubah.

3.5.2 Fuzzifikasi

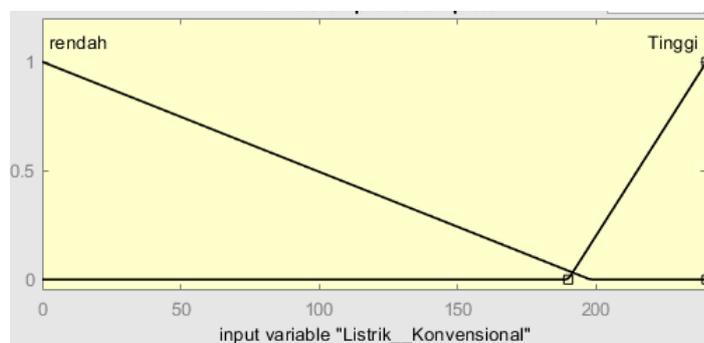
Fuzzifikasi merupakan proses mengubah data *crisp* menjadi nilai *fuzzy* yang menunjukkan tingkat keanggotaan dalam suatu himpunan linguistik. Pada tahap ini, data tegangan dan intensitas cahaya yang diperoleh dari sensor dikonversi ke dalam bentuk *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga. Pemilihan

bentuk segitiga dipertimbangkan karena kesederhanaannya, efisiensi komputasi, serta kemampuannya menghasilkan transisi halus antar kondisi. Rentang masing-masing himpunan linguistik ditentukan berdasarkan acuan standar teknis dan karakteristik kondisi nyata di lapangan, sehingga tetap merepresentasikan konteks sistem secara realistis tanpa mengabaikan kaidah standar operasional:

1. Variabel tegangan listrik konvensional

Klasifikasi *fuzzy* untuk variabel tegangan listrik konvensional disusun berdasarkan batas toleransi tegangan pada SPLN No.1:1978, yang dijelaskan dalam penelitian Rusmansyah (2020). Variabel ini dibagi menjadi dua kategori:

- a) Rendah (0 - 198 V)
- b) Tinggi (190 - 240 V)



Gambar 3. 6 Derajat Keanggotaan Tegangan Listrik Konvensional

Fungsi keanggotaan tegangan listrik konvensional

- a. Rendah (0 - 198 V)

$$\mu_{rendah}(v) = \begin{cases} 1, & v \leq 0 \\ \frac{198 - v}{198}, & 0 < v < 198 \\ 0, & v \geq 198 \end{cases}$$

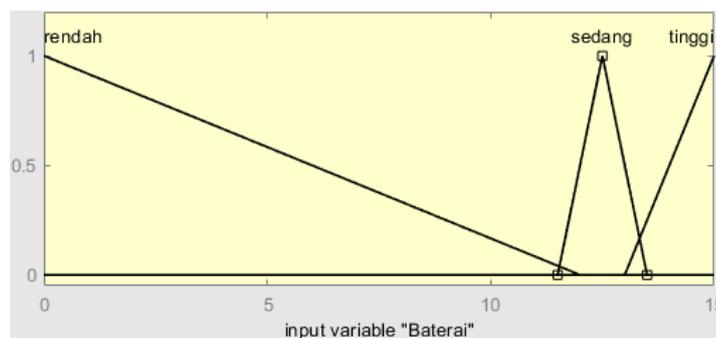
b. Tinggi (190 - 240 V)

$$\mu_{tinggi}(v) = \begin{cases} 0, & v \leq 168 \\ \frac{v - 190}{240 - 190}, & 190 < v < 240 \\ 1, & v \geq 240 \end{cases}$$

2. Variabel tegangan baterai

Klasifikasi nilai tegangan baterai dirancang berdasarkan karakteristik umum baterai bertegangan nominal 12 volt, sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Akpado (2007), di mana tegangan pengisian umumnya berada pada rentang 10 hingga 15 volt. Berdasarkan rentang tersebut, variabel *fuzzy* tegangan baterai dibagi menjadi tiga kategori sebagai berikut:

- a) Rendah (0 – 12 V)
- b) Sedang (11.5 – 13.5 V)
- c) Tinggi (13 – 15 V)



Gambar 3. 7 Derajat Keanggotaan Tegangan Baterai

Fungsi keanggotaan tegangan baterai

a. Rendah (0 – 12 V)

$$\mu_{rendah}(v) = \begin{cases} 1, & v \leq 0 \\ \frac{12 - v}{12}, & 0 < v < 12 \\ 0, & v \geq 12 \end{cases}$$

b. Sedang (11.5 – 13.5 V)

$$\mu_{sedang}(v) = \begin{cases} 0, & v \leq 11.5 \\ \frac{v - 11.5}{1}, & 11.5 < v < 12.5 \\ \frac{13.5 - v}{1}, & 12.5 < v < 13.5 \\ 0, & v \geq 13.5 \end{cases}$$

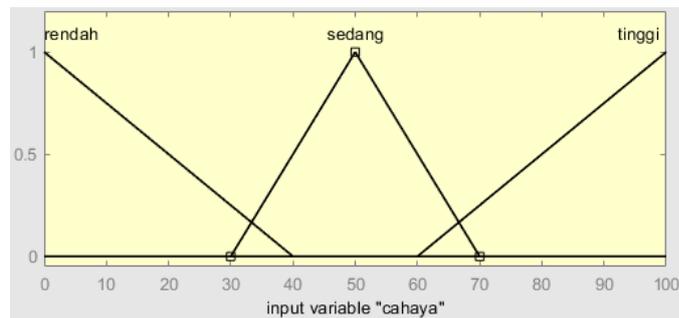
c. Tinggi (13 – 15 V)

$$\mu_{tinggi}(v) = \begin{cases} 0, & v \leq 13 \\ \frac{v - 13}{15 - 13}, & 13 < v < 15 \\ 1, & v \geq 15 \end{cases}$$

3. Variabel cahaya

Intensitas cahaya digunakan sebagai salah satu variabel *input* dalam proses *fuzzy* karena fluktuasi pencahayaan dapat memengaruhi sistem pengendalian energi, khususnya dalam kondisi lingkungan dengan intensitas cahaya yang dinamis seperti di wilayah tropis. Berdasarkan karakteristik pembacaan sensor LDR dan pendekatan logika *fuzzy* yang dijelaskan oleh Dwisaputra (2023), variabel ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori *fuzzy* sebagai berikut:

- a) Rendah (0 - 40%)
- b) Sedang (30 - 70 %)
- c) Tinggi (60 - 100 %)



Gambar 3. 8 Derajat Keanggotaan Cahaya

Fungsi keanggotaan cahaya

- a. Rendah (0 - 40%)

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{40 - x}{40}, & 20 < x < 40 \\ 0, & x \geq 40 \end{cases}$$

- b. Sedang (30 - 70 %)

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \frac{x - 30}{20}, & 30 < x < 50 \\ \frac{70 - x}{20}, & 50 < x < 70 \\ 0, & x \geq 70 \end{cases}$$

- c. Tinggi (60 - 100 %)

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 60 \\ \frac{x - 60}{100 - 60}, & 60 < x < 80 \\ 1, & x \geq 80 \end{cases}$$

4. Derajat keanggotaan listrik

- Gunakan Baterai (PLN Rendah, Baterai Rendah, Cahaya Rendah)
- Gunakan Baterai (PLN Rendah, Baterai Rendah, Cahaya Sedang)
- Gunakan Baterai, Aktifkan Pengisian Daya Baterai (PLN Rendah, Baterai Rendah, Cahaya Tinggi)

- d. Gunakan Baterai (PLN Rendah, Baterai Sedang, Cahaya Rendah)
- e. Gunakan Baterai (PLN Rendah, Baterai Sedang, Cahaya Sedang)
- f. Gunakan Baterai (PLN Rendah, Baterai Sedang, Cahaya Tinggi)
- g. Gunakan Baterai (PLN Rendah, Baterai Tinggi, Cahaya Rendah)
- h. Gunakan Baterai (PLN Rendah, Baterai Tinggi, Cahaya Sedang)
- i. Gunakan Baterai (PLN Rendah, Baterai Tinggi, Cahaya Tinggi)
- j. Gunakan Listrik Utama, Aktifkan Pengisian Daya Baterai (PLN Tinggi, Baterai Rendah, Cahaya Rendah)
- k. Gunakan Listrik Utama, Aktifkan Pengisian Daya Baterai (PLN Tinggi, Baterai Rendah, Cahaya Sedang)
- l. Gunakan Listrik Utama, Aktifkan Pengisian Daya Baterai (PLN Tinggi, Baterai Rendah, Cahaya Tinggi)
- m. Gunakan Listrik Utama, Aktifkan Pengisian Daya Baterai (PLN Tinggi, Baterai Sedang, Cahaya Rendah)
- n. Gunakan Listrik Utama, Aktifkan Pengisian Daya Baterai (PLN Tinggi, Baterai Sedang, Cahaya Sedang)
- o. Gunakan Listrik Utama, Aktifkan Pengisian Daya Baterai (PLN Tinggi, Baterai Sedang, Cahaya Tinggi)
- p. Gunakan Listrik Utama (PLN Tinggi, Baterai Tinggi, Cahaya Rendah)
- q. Gunakan Listrik Utama (PLN Tinggi, Baterai Tinggi, Cahaya Sedang)

- r. Gunakan Listrik Utama (PLN Tinggi, Baterai Tinggi, Cahaya Tinggi)



Gambar 3. 9 Derajat Keanggotaan Listrik

Pada tahap ini, fungsi dari keanggotaan (*membership function*) digunakan untuk menggambarkan derajat keanggotaan masing-masing data dalam setiap himpunan *fuzzy*.

3.5.3 Mesin Inferensi *Fuzzy*

Setelah proses *fuzzifikasi*, data *fuzzy* diproses oleh mesin inferensi *fuzzy*. Pada metode *Fuzzy Sugeno*, aturan-aturan *fuzzy* yang telah dirancang sebelumnya digunakan untuk menghasilkan *output* yang relevan dengan kondisi sistem. Aturan *fuzzy* ini berbentuk IF-THEN, yang mengkombinasikan tiga variabel *input* utama, yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya, untuk menentukan aksi sistem. Daftar lengkap tabel kebenaran *fuzzy sugeno* yang digunakan dalam sistem kontrol ini sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Tabel Kebenaran *Fuzzy Sugeno*

<i>Rule</i>	Tegangan PLN	Tegangan Baterai	Intensitas Cahaya	<i>Output Fuzzy</i>
R1	Rendah	Rendah	Rendah	Gunakan Baterai (0.5)
R2	Rendah	Rendah	Sedang	Gunakan Baterai (1.0)
R3	Rendah	Rendah	Tinggi	Gunakan Baterai + Pengisian Daya Baterai (1.5)
R4	Rendah	Sedang	Rendah	Gunakan Baterai (1.2)
R5	Rendah	Sedang	Sedang	Gunakan Baterai (1.8)
...
R18	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Gunakan Listrik Utama (4.0)

Pada tabel 3.2 menampilkan daftar lengkap aturan *fuzzy sugeno* yang digunakan dalam sistem kontrol *switching* energi listrik. Tabel ini terdiri dari 18 *rule* yang merupakan hasil kombinasi dari tiga variabel *input* utama, yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Setiap kombinasi kondisi *input* dihubungkan dengan keputusan sistem tertentu yang ditampilkan dalam bentuk aksi, serta disertai nilai *output fuzzy* (nilai *crisp*). Aksi tersebut meliputi penggunaan baterai, penggunaan listrik utama (PLN), maupun pengisian daya baterai. Nilai *output fuzzy* dituliskan dalam tanda kurung setelah deskripsi aksi, dan digunakan sebagai konstanta tetap dalam proses perhitungan *defuzzifikasi* pada metode *sugeno*.

Nilai *output fuzzy* dalam tabel memiliki rentang antara 0.5 hingga 4.0, yang menunjukkan tingkat prioritas keputusan sistem terhadap sumber energi yang digunakan. Nilai rendah, seperti 0.5 hingga 2.9, menunjukkan bahwa sistem lebih memprioritaskan penggunaan baterai, baik secara penuh maupun disertai proses pengisian daya jika intensitas cahaya mencukupi. Semakin tinggi nilainya, sistem semakin condong pada keputusan untuk melakukan pengisian daya sambil tetap menggunakan baterai. Nilai menengah hingga tinggi, sekitar 3.0 hingga 3.7,

menunjukkan bahwa sistem memilih untuk menggunakan listrik utama (PLN) sambil mengisi daya baterai, biasanya ketika PLN tersedia dan baterai dalam kondisi lemah atau sedang. Sedangkan nilai tertinggi, yaitu 3.8 dan 4.0, menunjukkan bahwa sistem sepenuhnya beralih menggunakan listrik utama tanpa mengisi daya baterai, karena kondisi baterai sudah optimal. Nilai-nilai konstanta tersebut ditetapkan berdasarkan logika kontrol dan tingkat prioritas dari masing-masing aksi, bukan berasal dari pembacaan sensor secara langsung. Dengan cara ini, proses *defuzzifikasi* dapat menghasilkan keputusan akhir yang lebih halus, bertahap, dan menyesuaikan diri secara fleksibel terhadap kondisi sistem. Pendekatan ini memungkinkan sistem memberikan respons yang tidak hanya kaku atau terbatas, tetapi juga adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga menghasilkan kontrol *switching* yang sesuai.

3.5.4 Implikasi

Setelah proses inferensi, sistem akan melanjutkan ke tahap implikasi, Implikasi merupakan salah satu tahapan penting dalam sistem logika *fuzzy*, termasuk dalam metode *fuzzy sugeno* yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah proses *fuzzifikasi* menghasilkan derajat keanggotaan dari setiap *input* terhadap himpunan *fuzzy*, maka implikasi digunakan untuk menentukan tingkat kebenaran dari masing-masing aturan *fuzzy* (*rule*) yang tersedia. Tingkat kebenaran ini dikenal sebagai *firing strength*, yaitu seberapa besar suatu *rule* dianggap *valid* untuk kondisi *input* tertentu. Dalam metode ini, digunakan fungsi implikasi minimum (MIN), yang berarti nilai *firing strength* dari suatu *rule* ditentukan oleh nilai terkecil dari derajat keanggotaan semua *input* yang terlibat dalam *rule* tersebut. Pendekatan ini

memungkinkan sistem untuk menilai kontribusi tiap *rule* berdasarkan kondisi *input* aktual, sehingga hanya *rule* yang benar-benar aktif (*valid*) yang akan mempengaruhi hasil akhir sistem. Semakin besar nilai *firing strength* suatu *rule*, semakin besar pula kontribusinya dalam proses *defuzzifikasi*.

Tahap implikasi ini sangat penting karena menjadi jembatan antara proses *fuzzifikasi* dan *defuzzifikasi*. *Output* dari implikasi akan digunakan dalam tahap *defuzzifikasi* dengan cara memberikan bobot pada *output* masing-masing *rule* sesuai dengan *firing strength*-nya. Dengan demikian, implikasi tidak hanya menyaring aturan-aturan yang aktif, tetapi juga menyesuaikan pengaruhnya terhadap *output* sistem berdasarkan tingkat kecocokan dengan kondisi nyata.

3.5.5 Defuzzifikasi

Setelah proses implikasi selesai, tahapan selanjutnya adalah *defuzzifikasi*. *Defuzzifikasi* merupakan proses penting dalam sistem kontrol berbasis *fuzzy* karena berfungsi untuk mengubah *output fuzzy* menjadi nilai *crisp* yang dapat dieksekusi langsung oleh aktuator atau sistem kendali. Penelitian ini menggunakan metode *fuzzy sugeno* dengan teknik *defuzzifikasi* rata-rata Terbobot (*Weighted average*), yang dipilih karena kesederhanaan dan efektivitasnya dalam menghasilkan keputusan yang jelas. Metode rata-rata terbobot pada *fuzzy sugeno* bekerja dengan prinsip sebagai berikut:

1. Setiap aturan *fuzzy* ini menghasilkan *output* berupa nilai konstanta.
2. Tingkat kebenaran dari setiap aturan dihitung berdasarkan *input* yang diterima.
3. *Output* akhir diperoleh dengan menghitung rata-rata tertimbang dari semua *output* aturan.

Adapun menurut Yustina Retno Wahyu Utami (2017) melakukan penelitian tentang *fuzzy* Secara matematis, metode rata rata terbobot ini bisa dirumuskan sebagaimana rumus 3.1:

$$z = \frac{\sum(ai \cdot zi)}{\sum ai} \quad (3.1)$$

Keterangan:

z adalah *Output* akhir (nilai *crisp*)

oi adalah tingkat kebenaran (*firing strength*) untuk aturan ke- i

zi adalah nilai *Output* konstan untuk aturan ke- i

Berikut merupakan perhitungan manual sistem kontrol menggunakan metode *fuzzy sugeno*. Nilai *input* yang digunakan berasal dari hasil pengukuran aktual:

Tegangan PLN: 198 V

Tegangan Baterai: 12,5 V

Intensitas Cahaya: 65 %

Fuzzifikasi

Tabel 3. 3 *Fuzzifikasi Input*

Variabel	Nilai Crisp	Himpunan Fuzzy Aktif	Fungsi Keanggotaan	μ
Tegangan PLN	198	Tinggi	$(198 - 190) / (240 - 190)$	0,16
Tegangan Baterai	12,5	Sedang	$\mu(x)=1$	1
Intensitas Cahaya	65	Sedang	$(70 - 65) / 20$	0,25
		Tinggi	$(65 - 60) / 40$	0,125

Aturan Fuzzy yang relevan

Tabel 3. 4 Aturan Fuzzy

Rule	Tegangan PLN	Tegangan Baterai	Cahaya	Output Fuzzy
R10	Tinggi	Sedang	Sedang	Gunakan listrik utama + Pengisian Daya Baterai ($z = 3,5$)

<i>Rule</i>	Tegangan PLN	Tegangan Baterai	Cahaya	<i>Output Fuzzy</i>
R13	Tinggi	Sedang	Sedang	Gunakan listrik utama + Pengisian Daya Baterai ($z = 3,5$)
R14	Tinggi	Sedang	Tinggi	Gunakan listrik utama + Pengisian Daya Baterai ($z = 3,6$)
R15	Tinggi	Sedang	Tinggi	Gunakan listrik utama + Pengisian Daya Baterai ($z = 3,8$)

Implikasi

Min(μ) dari *fuzzyfikasi*:

$$R10 = \min(0,16, 1, 0,25) = 0,16$$

$$R13 = \min(0,16, 1, 0,25) = 0,16$$

$$R14 = \min(0,16, 1, 0,125) = 0,125$$

$$R15 = \min(0,16, 1, 0,125) = 0,125$$

Defuzzifikasi

Perhitungan *output* akhir pada metode *sugeno* dilakukan menggunakan pendekatan rata-rata tertimbang, sebagaimana dirumuskan dalam Persamaan (3.1) berikut:

$$\begin{aligned} \text{Output} &= \frac{(0,16 \times 3,5) + (0,16 \times 3,5) + (0,125 \times 3,6) + (0,125 \times 3,8)}{0,16 + 0,16 + 0,125 + 0,125} \\ &= \frac{0,56 + 0,56 + 0,45 + 0,475}{0,57} = 3,59 \end{aligned}$$

Hasil akhir yang diperoleh dari *fuzzy sugeno* adalah 3.59 yakni aksi “Gunakan listrik utama dan Aktifkan Pengisian Daya Baterai”.

Hasil dari proses *defuzzifikasi* ini kemudian diinterpretasikan oleh sistem kontrol berbasis ESP32. Sistem ini menggunakan nilai *output* ini untuk mengatur komponen-komponen relay untuk listrik baterai, *charger* dan listrik konvensional, sehingga manajemen energi dapat dilakukan secara efisien sesuai dengan kondisi yang terdeteksi oleh sensor-sensor. Penggunaan metode rata-rata terbobot dalam

fuzzy sugeno ini memungkinkan sistem untuk mengambil keputusan yang cepat dan jelas berdasarkan *input* yang diterima.

3.5.6 Implementasi Kontrol dengan ESP32

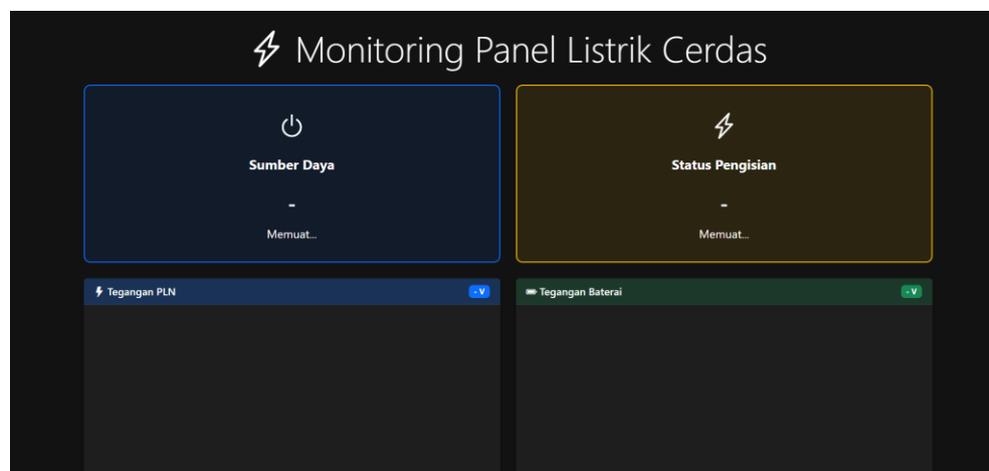
Implementasi kontrol dalam sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama yang bertanggung jawab terhadap seluruh pengambilan keputusan dan pengaktifan aktuator. ESP32 ini menerima data *input* dari berbagai sensor, yakni sensor PZEM004T untuk memantau tegangan listrik dari PLN, sensor voltage divider untuk mengukur tegangan baterai, dan sensor intensitas cahaya (LDR) untuk mendeteksi kondisi pencahayaan lingkungan. Setelah proses pengolahan data dilakukan melalui sistem logika *fuzzy sugeno*, ESP32 akan menghasilkan keputusan berupa *output* numerik yang merepresentasikan aksi yang harus diambil oleh sistem. Keputusan tersebut kemudian digunakan untuk mengontrol *switching* sumber energi secara otomatis, baik itu memilih antara listrik PLN, baterai, maupun mengaktifkan proses pengisian daya baterai. Mekanisme *switching* ini dilakukan melalui aktuator berupa modul relay yang diatur langsung oleh logika kendali dari mikrokontroler. Dengan pendekatan ini, sistem dapat berjalan secara otomatis dan responsif terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

3.5.7 Integrasi dengan IoT

Setelah sistem melakukan proses *fuzzy* dan menghasilkan keputusan *switching*, data yang mencakup status sistem dan pembacaan sensor dikirimkan ke server sebagai bagian dari integrasi dengan platform IoT. Pengiriman data

dilakukan oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan protokol HTTP dengan metode POST. Format data dikemas dalam struktur JSON, yang memuat informasi seperti tegangan PLN, tegangan baterai, arus baterai, intensitas cahaya, *output fuzzy*, serta status relay sebagai representasi aksi sistem. Data yang diterima oleh server diproses oleh backend berbasis PHP dan disimpan ke dalam *database* MySQL. Mekanisme ini memungkinkan sistem menyimpan histori data dan menyediakan endpoint bagi antarmuka *monitoring*.

Antarmuka ini ditampilkan melalui *dashboard* web yang terhubung langsung ke *database* server. *Dashboard* ini dirancang untuk menyajikan data secara *real-time* dalam bentuk visual yang informatif, mencakup informasi sumber daya aktif (PLN atau baterai), status pengisian daya, serta grafik pembacaan tegangan dari sensor.



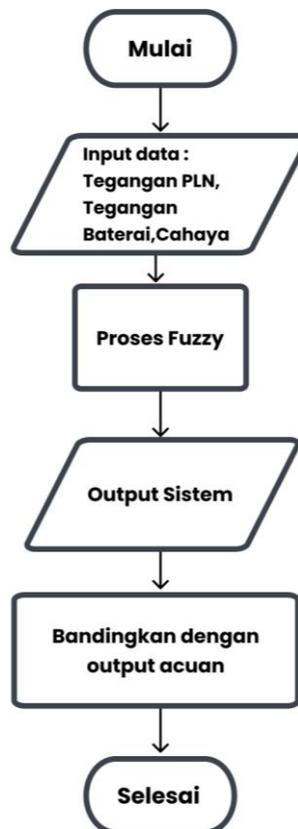
Gambar 3. 10 Antarmuka iot

Pada Gambar 3.10 tersebut memperlihatkan rancangan antarmuka yang terdiri dari dua panel utama, yaitu panel status sumber daya dan panel status pengisian, masing-masing dilengkapi dengan grafik pendukung. Desain antarmuka dikembangkan secara responsif agar dapat diakses melalui berbagai perangkat,

seperti komputer maupun smartphone. Antarmuka ini tidak hanya berfungsi sebagai tampilan informasi, tetapi juga sebagai media pemantauan berbasis web yang mendukung pengambilan keputusan jarak jauh secara efisien. Dengan integrasi ini, sistem mampu merepresentasikan konsep *Internet of Things* secara menyeluruh, mulai dari akuisisi data, pengiriman, penyimpanan, hingga visualisasi akhir.

3.6 Rancangan Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem kontrol *switching* energi listrik berbasis metode *fuzzy sugeno* yang telah dikembangkan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem mampu mengambil keputusan *switching* secara otomatis berdasarkan tiga parameter input utama, yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya, serta memvalidasi kesesuaian keputusan yang dihasilkan terhadap aturan *fuzzy sugeno* yang telah disusun dalam Tabel 3.2. Pengujian dilakukan dengan memberikan 18 kombinasi input yang merepresentasikan seluruh *rule* dalam sistem *fuzzy*. Setiap kombinasi nilai dimasukkan ke dalam sistem dan diproses menggunakan mekanisme inferensi *fuzzy sugeno*. Hasil keputusan *switching* dari sistem dicatat sebagai *output* aktual, lalu dibandingkan dengan keputusan sistem yang telah didefinisikan dalam aturan *fuzzy*:



Gambar 3. 11 Alur proses Pengujian

Gambar 3.11 menjelaskan bahwa pengujian dimulai dengan memberikan tiga parameter input, yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Ketiga data tersebut kemudian diproses oleh sistem untuk menghasilkan keputusan *switching*, seperti penggunaan sumber dari baterai, dari listrik PLN, atau pengaktifan pengisian daya baterai. Keputusan yang dihasilkan oleh sistem dicatat sebagai *output* aktual, kemudian dibandingkan dengan *output* acuan yang telah ditentukan berdasarkan Tabel 3.2, yaitu tabel inferensi *fuzzy* yang dirancang sebagai referensi utama sistem (Mukhammad, 2020). Rekapitulasi hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 3.5 berikut:

Tabel 3. 5 Rancangan Hasil Pengujian

<i>Rule</i>	<i>Input</i>			<i>Kondisi Fuzzy</i>	<i>Output Aktual</i>	<i>Keterangan</i>
	<i>Tegangan PLN</i>	<i>Tegangan Baterai</i>	<i>Cahaya (%)</i>			
R1
R2
...
R18

Tabel 3.5 digunakan untuk menyusun rancangan pengujian sistem berdasarkan 18 kombinasi *input* yang sesuai dengan aturan *fuzzy sugeno*. Setiap kombinasi terdiri dari nilai tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Ketiga *input* tersebut dikonversi menjadi bentuk linguistik melalui proses *fuzzifikasi* dan diproses oleh sistem untuk menghasilkan keputusan *switching*. Hasil keputusan dari sistem dicatat dan ditandai sebagai output aktual. Untuk setiap skenario, kondisi *fuzzy* yang terbentuk juga dituliskan agar dapat dibandingkan langsung dengan aturan *fuzzy* yang telah didefinisikan sebelumnya. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem memberikan respon yang sesuai terhadap setiap variasi input yang diuji.

3.7 Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol *switching* energi listrik berbasis metode *fuzzy sugeno* dengan membandingkan *output* yang dihasilkan oleh sistem mikrokontroler terhadap hasil referensi yang telah ditentukan. Evaluasi difokuskan pada kesesuaian keputusan yang diambil oleh sistem berdasarkan tiga parameter input, yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Seluruh kombinasi aturan *fuzzy* yang telah diuji dianalisis untuk

melihat sejauh mana sistem mampu menghasilkan *output* yang sesuai dengan logika *fuzzy* yang dirancang. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk menilai akurasi dan konsistensi sistem dalam merespons berbagai kondisi input.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dari penerapan dan pengujian sistem kontrol *switching* energi listrik yang dibuat menggunakan metode *fuzzy sugeno* dan terhubung dengan *Internet of Things* (IoT). Sistem ini bekerja dengan membaca tiga *input* utama, kemudian memprosesnya untuk menentukan keputusan *switching*. *Hardware* dan *software* yang digunakan telah diintegrasikan agar sistem dapat berjalan sesuai dengan rancangan.

Pembahasan dalam bab ini mencakup penjelasan tentang cara kerja sistem setelah diimplementasikan, serta bagaimana sistem merespons berbagai kombinasi *input* yang telah diuji. Hasil pengujian dibandingkan dengan aturan *fuzzy* yang telah dibuat sebelumnya untuk melihat apakah sistem memberikan keputusan yang sesuai. Sistem juga diuji dalam hal pengiriman data ke server dan bagaimana data tersebut ditampilkan melalui antarmuka web untuk mendukung pemantauan dari jarak jauh.

4.1 Implementasi Sistem

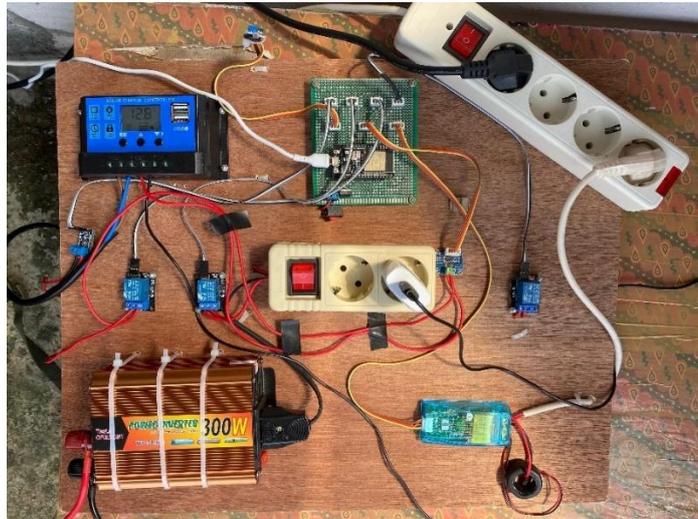
Setelah seluruh data dari sensor berhasil dikumpulkan, sistem akan memproses data tersebut menggunakan metode *fuzzy sugeno* yang telah diimplementasikan dalam mikrokontroler ESP32. Proses ini menghasilkan *output* berupa nilai z , yang menjadi dasar pengambilan keputusan untuk *switching* sumber energi. Nilai tersebut kemudian diterjemahkan ke dalam aksi pengendalian melalui

relay, sehingga sistem dapat secara otomatis memilih apakah akan menggunakan sumber PLN, baterai, atau melakukan pengisian daya ke baterai.

sistem ini juga terhubung ke internet (*Internet of Things*) untuk mendukung pengawasan jarak jauh dan pencatatan data. Seluruh informasi dari sensor dan status sistem dikirimkan ke server secara berkala untuk disimpan ke dalam *database*, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk antarmuka web *monitoring*.

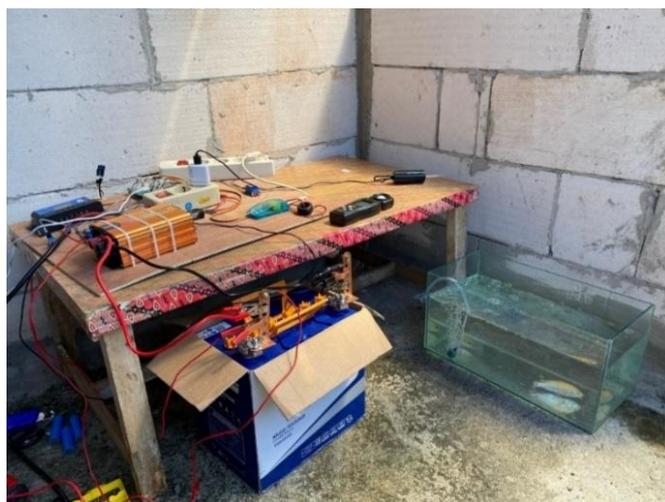
4.1.1 Implementasi Sistem *Hardware*

Perangkat keras pada sistem ini dirakit dengan menggabungkan seluruh komponen kendali dan sensor ke dalam satu unit yang terintegrasi. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali utama yang membaca data dari sensor dan menentukan keputusan *switching* berdasarkan logika *fuzzy sugeno*. Data *input* diperoleh dari sensor PZEM004T (tegangan PLN), voltage divider (tegangan baterai), INA219 (arus baterai), dan LDR (intensitas cahaya). Setelah semua komponen dirakit, sistem disusun dengan pengkabelan yang rapi untuk menjaga stabilitas operasi dan meminimalkan gangguan sinyal antar jalur. Komponen sensor dan aktuator seperti relay ditempatkan berdekatan dengan ESP32 untuk memudahkan pemrosesan dan eksekusi kendali.



Gambar 4. 1 Implementasi Sistem Kontrol *Switching* Energi Listrik

Pada gambar 4.1 memperlihatkan penataan dari sistem, mulai dari koneksi panel surya, solar charge controller, sensor-sensor, hingga modul relay yang terhubung ke ESP32. Jalur kabel disusun secara sistematis untuk memastikan kestabilan operasional dan mencegah interferensi. Penempatan sensor dan aktuator seperti LDR dan relay diatur agar dekat dengan mikrokontroler. Setelah sistem selesai dirakit, tahap berikutnya adalah penempatan unit kontrol di lokasi uji coba.



Gambar 4. 2 Foto penempatan sistem

Di Gambar 4.2 menunjukkan unit sistem yang diposisikan di sudut area kolam uji. Komponen seperti ESP32, SCC, dan sensor diletakkan di atas meja kerja agar terlindung dari kelembapan. Baterai ditempatkan di bagian bawah meja untuk keamanan. Penempatan ini mempermudah pemantauan dan mendukung kestabilan sistem selama pengujian. Selain kontrol pusat, panel surya juga memegang peranan penting dalam efisiensi pengisian energi.



Gambar 4. 3 Foto penempatan panel

Pada Gambar 4.3 memperlihatkan panel surya yang ditempatkan di area terbuka tanpa bayangan penghalang. Panel diletakkan di atas meja datar agar terhindar dari kelembapan tanah dan dapat menyerap cahaya matahari secara optimal sepanjang hari. Penempatan ini berkontribusi langsung terhadap efektivitas proses pengisian daya baterai. Sebagai beban sistem, aerator menjadi indikator nyata dari keberhasilan *switching* otomatis.



Gambar 4. 4 Foto penempatan aerator

Gambar 4.4 menunjukkan aerator yang diletakkan di dalam kolam pengujian sebagai beban akhir dari sistem. Aerator menyala atau mati secara otomatis berdasarkan hasil keputusan *fuzzy* yang diproses oleh ESP32. Penempatannya disesuaikan agar tetap aman dan tidak mengganggu ekosistem kolam. Dengan struktur dan perakitan seperti ini, sistem terbukti mampu beroperasi secara otomatis di lingkungan nyata, merespon kondisi *input* secara *real-time*, dan menjalankan fungsi *switching* energi sesuai rancangan logika *fuzzy sugeno*.

4.1.2 Implementasi *Software*

Setelah sistem berhasil membaca dan memproses data sensor menggunakan mikrokontroler ESP32, langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan kemampuan komunikasi berbasis *Internet of Things* (IoT). Integrasi ini memungkinkan sistem mengirimkan data sensor dan hasil keputusan logika *fuzzy* ke server secara *real-time*, sehingga informasi dapat dimonitor dan disimpan untuk kebutuhan evaluasi. ESP32 melakukan pembacaan terhadap empat parameter utama: tegangan PLN (melalui sensor PZEM004T), tegangan baterai (dengan voltage divider), arus pengisian baterai (INA219), dan intensitas cahaya (sensor LDR). Data ini dikemas

dalam format JSON menggunakan library ArduinoJson, termasuk juga *output fuzzy* dan status *switching* (misalnya penggunaan PLN, baterai, atau status pengisian).

Selanjutnya, data JSON dikirim ke server menggunakan metode HTTP POST melalui jaringan WiFi. Di sisi server, file `insert_data.php` menerima data tersebut dan menyimpannya ke dalam *database*. Proses ini berlangsung setiap 10 detik, menjamin bahwa sistem selalu terkini dalam menyimpan informasi.

```

===== SYSTEM STATUS =====
PLN Voltage: 220.5 V
Battery Voltage: 12.45 V
Battery Current: 0.001 A
Battery Power: 0.017 W
Light Intensity: 91.7 %
Power Source: PLN
Charger Status: ON
Fuzzy Output: 3.70
Protection: NORMAL
System Initialized: YES
=====

=== MEMBERSHIP DEGREES ===
PLN: Rendah=0.00, Tinggi=1.00
Bat: Rendah=0.00, Sedang=1.00, Tinggi=0.00
Cahaya: Rendah=0.00, Sedang=0.00, Tinggi=1.00
>> Fuzzy Output = 3.70
[Fuzzy] Output: 3.70
Server response: {
  "success": true,
  "message": "Data saved successfully",
  "data": {
    "id": 162,
    "timestamp": "2025-05-06 12:33:58",
    "tegangan_pln": 220.5,
    "tegangan_baterai": 12.455700000000000021600499167107045650482177734375,
    "arus_baterai": 0.00134099999999999996112831635031170662841759622097015380859375,
    "daya_baterai": 0.0167050000000000010980105713542798184789717197418212890625,
    "intensitas_cahaya": 92.3472000000000008412825991399586200714111328125,
  }
}

```

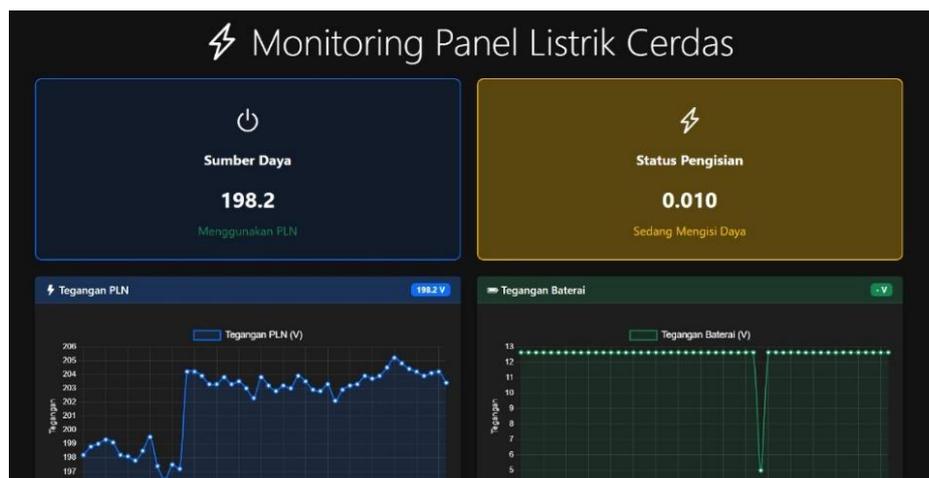
Gambar 4. 5 Data JSON pada *Serial Monitor*

Di dalam gambar 4.5 memperlihatkan data JSON yang ditampilkan pada *serial monitor* sebelum dikirim ke server. Tampilan ini berfungsi sebagai verifikasi bahwa data telah dikemas dengan benar dan siap dikirim. Informasi yang tercantum mencakup tegangan PLN, tegangan baterai, arus, daya, intensitas cahaya, hasil *output fuzzy*, serta status *switching*. Di bagian bawah juga ditampilkan respons dari server (`success: true`), yang menandakan data berhasil disimpan.

id	timestamp	tegangan_pln	tegangan_baterai	arus_baterai	daya_baterai	intensitas_cahaya	pin_status	baterai_status	charger_status
1	2025-05-06 11:54:42	220.6	12.4789	0.001338	0.010701	89.5536	1	0	1
2	2025-05-06 11:54:53	221.7	12.4843	0.001328	0.010579	89.4735	1	0	1
3	2025-05-06 11:55:04	220.3	12.483	0.001359	0.010906	89.0151	1	0	1
4	2025-05-06 11:55:15	220.1	12.4847	0.001348	0.010806	90.346	1	0	1
5	2025-05-06 11:55:26	220.2	12.4698	0.001453	0.010115	89.8242	1	0	1
6	2025-05-06 11:55:37	220.2	12.468	0.001341	0.010716	91.342	1	0	1
7	2025-05-06 11:55:47	220.4	12.4741	0.001362	0.010987	89.449	1	0	1
8	2025-05-06 11:55:58	220.9	12.4634	0.001375	0.011734	87.5079	1	0	1
9	2025-05-06 11:56:09	221.4	12.4668	0.001375	0.011739	90.596	1	0	1
10	2025-05-06 11:56:20	221.3	12.4806	0.001396	0.011457	87.5033	1	0	1
11	2025-05-06 11:56:31	220	12.4822	0.001346	0.010803	87.8436	1	0	1
12	2025-05-06 11:56:42	220.5	12.4664	0.001323	0.010449	90.4691	1	0	1
13	2025-05-06 11:56:53	219.9	12.4719	0.001359	0.010951	86.8763	1	0	1

Gambar 4. 6 Data pada tabel di *database*

Setelah data diterima, hasilnya dapat dilihat di *database* seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.6. Tabel ini mencatat seluruh data sensor dan *output fuzzy* lengkap dengan timestamp. Penyimpanan ini memungkinkan pengguna melakukan analisis lebih lanjut secara historis, seperti tren penurunan daya atau pencahayaan dalam jangka waktu tertentu. Sebagai bagian dari sistem IoT, antarmuka *web dashboard* juga dikembangkan untuk memudahkan pengguna dalam memantau sistem secara visual tanpa perlu melihat langsung perangkat.



Gambar 4. 7 Tampilan antarmuka *monitoring* Listrik

Gambar 4.7 menunjukkan halaman utama dari *dashboard* web yang menampilkan informasi kondisi sistem. Data seperti tegangan PLN, tegangan

baterai, arus pengisian, intensitas cahaya, serta status *switching* sumber daya dan pengisian daya baterai ditampilkan secara langsung dan diperbarui otomatis sesuai data dari server.



Gambar 4. 8 Grafik data *Monitoring* Listrik

Untuk mempermudah analisis performa sistem dari waktu ke waktu, *dashboard* juga menampilkan grafik dinamis seperti yang terlihat pada gambar 4.8. Grafik ini menunjukkan tren dari parameter-parameter yang penting, seperti penurunan tegangan baterai atau perubahan intensitas cahaya harian. Fitur ini sangat membantu dalam mengevaluasi kondisi sistem tanpa harus membaca angka satu per satu.

ID	Waktu	Teg. PLN (V)	Teg. Baterai (V)	Arus (A)	Cahaya (%)	Sumber Daya	Akai Fuzzy
3368	09/05/2025, 08.58.25	0.000 V	12.621 V	0.000 A	35.9%	Baterai	1.78675
3367	09/05/2025, 08.58.15	0.000 V	12.615 V	0.000 A	35.1%	Baterai	1.76117
3366	09/05/2025, 08.58.05	0.000 V	12.617 V	0.000 A	36.5%	Baterai	1.79895
3365	09/05/2025, 08.57.55	0.000 V	12.609 V	0.000 A	37.0%	Baterai	1.80835
3364	09/05/2025, 08.57.45	0.000 V	12.662 V	0.000 A	37.8%	Baterai	1.88568
3363	09/05/2025, 08.57.35	200.600 V	12.854 V	0.000 A	35.7%	PLN	3.55698
3362	09/05/2025, 08.57.26	202.400 V	12.638 V	0.000 A	36.8%	PLN	3.51125
3361	09/05/2025, 08.57.12	0.000 V	12.608 V	0.000 A	55.9%	Baterai	1.87102
3360	09/05/2025, 08.57.02	0.000 V	12.611 V	0.000 A	52.8%	Baterai	1.87304

Gambar 4. 9 Antarmuka Tabel data *Monitoring* Listrik

Pada Gambar 4.9 menampilkan tabel data historis yang mencatat seluruh pengukuran sistem secara kronologis. Tabel ini dapat diakses kapan saja melalui *dashboard* dan digunakan untuk laporan atau analisis performa sistem dalam jangka panjang. Format tabel yang tersusun rapi memudahkan pencarian nilai-nilai tertentu. dengan integrasi IoT dan pengembangan *dashboard monitoring* ini membuktikan bahwa sistem telah berhasil diimplementasikan sebagai solusi kontrol *switching* energi.

4.2 Implementasi *Fuzzy* Pada Sistem IOT

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menghasilkan keputusan *switching* secara otomatis berdasarkan tiga parameter utama yakni tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Ketiga parameter ini diperoleh dari sensor yang terpasang pada sistem, kemudian diproses untuk menentukan keputusan yang paling sesuai dengan kondisi aktual. Setiap kombinasi input diuji berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah dirancang sebelumnya. Sistem menghasilkan keputusan berupa penggunaan listrik PLN, baterai, atau

aktivasi proses pengisian daya. Keputusan tersebut dicatat sebagai *output* aktual sistem dan dibandingkan dengan keputusan yang telah ditentukan dalam tabel aturan *fuzzy* (Tabel 3.2). Hasil pengujian dari seluruh 18 kombinasi *input* ditampilkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Pengujian *Fuzzy*

<i>Rule</i>	<i>Input</i>			<i>Kondisi Fuzzy</i>	<i>Output Aktual</i>	<i>Keterangan</i>
	Tegangan PLN	Tegangan Baterai	Cahaya (%)			
R1	187,5	11,48	29	PLN: Rendah, Baterai: Rendah, Cahaya: Rendah	Gunakan Baterai	Sesuai
R2	179,7	11,37	46,4	PLN: Rendah, Baterai: Rendah, Cahaya: Sedang	Gunakan Baterai	Sesuai
R3	170,2	11,45	99,9	PLN: Rendah, Baterai: Rendah, Cahaya: Tinggi	Gunakan Baterai + Pengisian Daya Baterai	Sesuai
R4	171,5	12,85	15,9	PLN: Rendah, Baterai: Sedang, Cahaya: Rendah	Gunakan Baterai	Sesuai
R5	175	12,33	53,6	PLN: Rendah, Baterai: Sedang, Cahaya: Sedang	Gunakan Baterai	Sesuai
R6	181,5	12,04	85,6	PLN: Rendah, Baterai: Sedang, Cahaya: Tinggi	Gunakan Baterai	Sesuai
R7	178,5	14	16,4	PLN: Rendah, Baterai: Tinggi, Cahaya: Rendah	Gunakan Baterai	Sesuai
R8	177,4	14,45	49,4	PLN: Rendah, Baterai: Tinggi, Cahaya: Sedang	Gunakan Baterai	Sesuai

<i>Rule</i>	<i>Input</i>			<i>Kondisi Fuzzy</i>	<i>Output Aktual</i>	<i>Keterangan</i>
	<i>Tegangan PLN</i>	<i>Tegangan Baterai</i>	<i>Cahaya (%)</i>			
R9	178,1	13,65	94,1	PLN: Rendah, Baterai: Tinggi, Cahaya: Tinggi	Gunakan Baterai	Sesuai
R10	212,5	11,23	29,3	PLN: Tinggi, Baterai: Rendah, Cahaya: Rendah	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai	Sesuai
R11	224	10,58	42,1	PLN: Tinggi, Baterai: Rendah, Cahaya: Sedang	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai	Sesuai
R12	222,4	10,97	82,5	PLN: Tinggi, Baterai: Rendah, Cahaya: Tinggi	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai	Sesuai
R13	229,5	12,63	29,3	PLN: Tinggi, Baterai: Sedang, Cahaya: Rendah	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai	Sesuai
R14	230	12,95	58,9	PLN: Tinggi, Baterai: Sedang, Cahaya: Sedang	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai	Sesuai
R15	216,5	12,22	95,9	PLN: Tinggi, Baterai: Sedang, Cahaya: Tinggi	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai	Sesuai
R16	211	13,54	18,4	PLN: Tinggi, Baterai: Tinggi, Cahaya: Rendah	Gunakan Listrik Utama	Sesuai
R17	228	13,7	47	PLN: Tinggi, Baterai: Tinggi, Cahaya: Sedang	Gunakan Listrik Utama	Sesuai
R18	214,9	13,72	80,6	PLN: Tinggi, Baterai: Tinggi, Cahaya: Tinggi	Gunakan Listrik Utama	Sesuai

Pada Tabel 4.1, seluruh hasil pengujian menunjukkan bahwa keputusan yang dihasilkan oleh sistem konsisten dengan aturan yang telah dirancang sebelumnya dalam Tabel 3.2. Setiap kombinasi input yang diuji menghasilkan *output* yang sama dengan keputusan yang dirancang, baik itu penggunaan baterai, penggunaan listrik PLN, maupun pengisian daya baterai.

Kondisi tegangan PLN yang rendah, antara 170,2 V hingga 187,5 V, menyebabkan sistem memilih menggunakan baterai sebagai sumber daya. Jika tegangan baterai juga rendah, sekitar 11,37 V hingga 11,48 V, dan intensitas cahaya tinggi hingga 99,9%, sistem tetap menggunakan baterai dan mengaktifkan proses pengisian daya karena cahaya dianggap cukup. Tegangan PLN yang tinggi, antara 211 V hingga 230 V, membuat sistem beralih ke penggunaan listrik utama. Pada saat tegangan baterai berada dalam kondisi rendah hingga sedang, sekitar 10,58 V hingga 12,95 V, dan intensitas cahaya bervariasi, sistem akan tetap menggunakan listrik utama sambil mengisi ulang baterai. Ketika tegangan PLN tinggi dan tegangan baterai juga sudah tinggi, antara 13,54 V hingga 13,72 V, sistem hanya menggunakan listrik utama tanpa mengisi daya baterai. Sistem tidak mengaktifkan proses pengisian karena kapasitas baterai dianggap cukup. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keputusan yang diambil sesuai dengan kondisi *input* dan aturan *fuzzy* yang telah dibuat.

4.3 Pembahasan

Bagian ini membahas hasil dari implementasi sistem kontrol *switching* energi listrik yang dirancang menggunakan metode *fuzzy sugeno* dan dihubungkan dengan *Internet of Things* (IoT). Pembahasan dilakukan untuk melihat apakah

sistem sudah berjalan sesuai dengan logika *fuzzy* yang diterapkan dan apakah proses pemantauan data melalui jaringan internet berfungsi sebagaimana tujuan awal. Setiap bagian dibahas berdasarkan hasil implementasi dan pengujian lapangan.

Sistem dirancang untuk dapat mengambil keputusan *switching* berdasarkan data dari sensor. Proses pengambilan keputusan menggunakan metode *fuzzy sugeno* yang sebelumnya sudah ditentukan melalui aturan berbasis kombinasi tiga parameter input. Selain itu, sistem juga dibangun untuk dapat mengirimkan data ke server dan ditampilkan melalui antarmuka web agar bisa dipantau dari jarak jauh.

4.3.1 Sistem *Hardware dan Software*

Hasil implementasi menunjukkan sistem beroperasi secara otomatis setelah integrasi *hardware* dan *software*. Data sensor (PZEM004T, voltage divider, INA219, dan LDR) diproses oleh mikrokontroler ESP32. Sistem menjalankan fungsinya tanpa intervensi manual. Proses pembacaan, pemrosesan, dan pengambilan keputusan berlangsung berkelanjutan sesuai alur desain. Peran *hardware* dan *software* dalam sistem mendukung proses *switching*. Desain sistem yang diterapkan memungkinkan otomatisasi penuh. Otomatisasi ini berkontribusi pada efisiensi operasional dan mengurangi potensi kesalahan manual dalam pengelolaan energi listrik.

4.3.2 Evaluasi Pengambilan Keputusan

Sistem mengambil keputusan berdasarkan tiga parameter input yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Pengujian melibatkan 18 kombinasi input yang merepresentasikan aturan *fuzzy* yang telah dirancang. Semua

keputusan yang dihasilkan sesuai dengan aturan *fuzzy* tersebut. Proses pengambilan keputusan dengan metode *fuzzy sugeno* menunjukkan konsistensi. Sistem memberikan keputusan yang sesuai dengan kondisi input tanpa pengaturan tambahan. Ini memvalidasi bahwa logika *fuzzy sugeno* efektif dalam menafsirkan kondisi *input* kompleks dan menghasilkan output yang relevan untuk kontrol otomatis. Metode ini mampu beradaptasi terhadap perubahan kondisi, seperti fluktuasi tegangan atau intensitas cahaya.

4.3.3 Pemantauan Sistem melalui IoT

Sistem mampu mengirimkan informasi ke server agar kondisi dapat dipantau dari jarak jauh. Selama operasional, data yang dikirimkan ditampilkan melalui halaman web. Pengguna dapat melihat kondisi sistem tanpa akses langsung ke perangkat. Proses pemantauan berlangsung sesuai kebutuhan. Data sensor dan status sistem dikirim secara *real-time* ke server menggunakan protokol HTTP POST dan disimpan dalam *database*. Antarmuka web menyajikan data secara visual dan memungkinkan akses historis. Implementasi IoT ini meningkatkan kapabilitas pengawasan dan respon terhadap kondisi operasional sistem.

4.4 Integrasi Islam

Penelitian ini sejalan dengan nilai-nilai Islam yang menekankan prinsip keseimbangan, tanggung jawab, dan keberlanjutan dalam mengelola sumber daya alam. Integrasi Islam dalam penelitian ini dapat dibagi menjadi tiga aspek berikut:

4.4.1 Muamalah ma'a Allah

Di dalam Al-Qur'an, Allah berfirman:

وَالَّذِينَ إِذَا أَنْفَقُوا لَمْ يُسْرِفُوا وَلَمْ يَقْتُرُوا وَكَانَ بَيْنَ ذَلِكَ قَوَامًا

"Dan, orang-orang yang apabila berinfak tidak berlebihan dan tidak (pula) kikir. (Infak mereka) adalah pertengahan antara keduanya." (QS. Al-Furqan [25]: 67)

Ayat ini menegaskan prinsip efisiensi (*qawwam*) dalam pemanfaatan sumber daya, termasuk energi matahari atau energi fosil. Menurut Ibnu Katsir dalam tafsirnya menjelaskan bahwa "*qawwam*" (seimbang) mencakup semua bentuk pengelolaan harta, waktu, dan alam, dengan menghindari sikap boros (*israf*) maupun kikir (I. Katsir, 2000). Dalam konteks penelitian, penggunaan panel surya sebagai energi terbarukan adalah wujud ketaatan terhadap prinsip ini, karena teknologi ini memaksimalkan pemanfaatan sumber daya (cahaya matahari) tanpa eksploitasi berlebihan. sistem ini tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga bernilai ibadah karena tunduk pada perintah Allah untuk menjaga kelestarian alam.

4.4.2 Muamalah ma'a an-Nas

Manusia tak lepas dari berbagai tantangan dan keterbatasan, termasuk dalam hal memenuhi kebutuhan energi. Agama Islam mengajarkan bahwa di balik setiap kesulitan selalu ada jalan kemudahan. Dalam Al-Qur'an, Allah berfirman:

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan." (QS. Al-Insyirah [94]:6).

Ayat ini memberikan pesan bahwa setiap kesulitan yang dihadapi manusia, termasuk tantangan dalam memenuhi kebutuhan hidup, akan diiringi dengan jalan

kemudahan. Dalam tafsir Al-Misbah, Quraish Shihab menjelaskan bahwa kemudahan tersebut dapat hadir dalam bentuk solusi yang bertanggung jawab, termasuk melalui inovasi dan teknologi yang digunakan untuk membantu kehidupan (Shihab, 2024).

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan cerminan dari prinsip *taysīr* (kemudahan), karena memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi energi secara *real-time* dari jarak jauh. Pengguna dapat mengetahui status tegangan PLN, kapasitas baterai, dan intensitas cahaya tanpa harus datang langsung ke lokasi. Fitur ini memberikan kemudahan dalam mengambil keputusan dengan cepat dan tepat, terutama dalam menjaga ketersediaan energi untuk kebutuhan penting. Dengan memberikan kemudahan bagi pengguna dan lingkungan sekitar, sistem ini secara tidak langsung mencerminkan nilai *muamalah ma'a an-Nas*, yakni mempermudah urusan sesama dan menghadirkan manfaat dalam kehidupan bersama. Hal ini sejalan dengan semangat ayat di atas, bahwa di balik tantangan dalam mengelola energi, terdapat kemudahan yang dapat diwujudkan melalui teknologi yang digunakan secara bijak.

4.4.3 *Muamalah ma'a al-Alam*

Allah SWT berfirman:

هُوَ أَنشَأَكُم مِّنَ الْأَرْضِ وَاسْتَعْمَرَكُمْ فِيهَا

"Dia-lah (Allah) yang menciptakan kamu dari bumi (tanah) dan menjadikan kamu sebagai 'umara (pengelola/pemberdaya)." (QS. Hud [11]: 61).

Ayat ini menegaskan bahwa manusia diberi amanah sebagai pengelola bumi ('umara) yang wajib memakmurkan alam dengan prinsip keberlanjutan. Dan

menurut Imam Al-Baghawi dalam Ma'alim At-Tanzil berarti pemberdayaan sumber daya alam secara bertanggung jawab dan berkelanjutan (Al-Baghawi, 2002). Dalam penelitian ini, penggunaan energi surya sebagai pengganti bahan bakar fosil merupakan bentuk pemanfaatan sumber daya alam yang selaras dengan nilai-nilai tersebut. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi konvensional dan mendukung penggunaan energi terbarukan secara efisien.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan Penelitian ini menghasilkan sistem kontrol *switching* energi listrik yang bekerja secara otomatis dengan menggunakan metode *fuzzy sugeno* dan terhubung ke platform *Internet of Things* (IoT). Sistem mengambil keputusan berdasarkan tiga parameter *input*, yaitu tegangan PLN, tegangan baterai, dan intensitas cahaya. Data dari masing-masing sensor digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan *switching* untuk menentukan sumber energi yang akan digunakan atau kapan proses pengisian daya perlu dilakukan.

Sistem dirancang dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama. Seluruh proses dilakukan di mikrokontroler, termasuk pembacaan data sensor, penerapan logika *fuzzy sugeno*, dan penentuan keputusan *switching* berdasarkan 18 aturan inferensi yang telah dirancang. Hasil keputusan tersebut dikirimkan secara berkala ke server dan disajikan dalam antarmuka pemantauan berbasis web. Pengujian dilakukan dengan 18 kombinasi input yang merepresentasikan seluruh aturan *fuzzy*. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem dapat memberikan respon yang sesuai terhadap setiap kombinasi *input*. Keputusan *switching* yang diambil sesuai dengan logika inferensi yang telah dirancang sebelumnya, dan proses berjalan secara otomatis tanpa perlu interaksi manual. Dari sisi pemantauan, sistem dapat mengirimkan data kondisi secara *real-time* ke server dan ditampilkan dalam bentuk yang dapat diakses melalui jaringan. Hal ini memberikan kemudahan

bagi pengguna untuk mengetahui status sistem dari lokasi lain. Jika ditinjau dari sudut pandang nilai-nilai Islam, kemampuan sistem dalam memberikan kemudahan pemantauan mencerminkan prinsip *taysir* (kemudahan), yang mendorong kemudahan dalam urusan manusia. Selain itu, sistem ini juga mendukung pengelolaan energi yang lebih teratur dan tidak berlebihan, yang sejalan dengan pesan QS. Al-A'raf ayat 31 tentang pentingnya tidak berlebih-lebihan dalam menggunakan sumber daya. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya memenuhi tujuan teknis dalam pengambilan keputusan *switching* dan pemantauan jarak jauh, tetapi juga sejalan dengan prinsip etis dalam penggunaan teknologi secara bertanggung jawab.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti sadar bahwa penelitian ini masih banyak kekurangan dan tentunya masih bisa dikatakan belum sempurna, maka diharapkan agar penelitian ini bisa dikembangkan lagi, sehingga menjadi semakin lebih baik, dan agar harapan tersebut bisa terwujud, peneliti ingin menyampaikan beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem ini adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini daya maksimum panel surya yang digunakan dalam sistem ini adalah 20 Wp yang masih tergolong kecil, Yang membatasi jumlah energi yang dapat dikumpulkan dalam satu hari. Untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem, disarankan menggunakan panel dengan kapasitas yang lebih besar agar proses pengisian daya lebih optimal.

2. Pada penelitian ini untuk penyimpanan energi saat ini masih terbatas karena kapasitas baterai yang digunakan tergolong kecil. Peningkatan kapasitas baterai sangat disarankan agar sistem mampu menyimpan energi dalam jumlah lebih besar dan digunakan dalam rentang waktu yang lebih panjang.
3. Untuk pengembangan skala sistem, sistem ini sangat potensial untuk diterapkan dalam skala yang lebih luas untuk industri dan yang membutuhkan listrik selama 24 jam. Untuk itu, diperlukan pengembangan desain sistem yang lebih modular dan tangguh terhadap kondisi lingkungan luar.
4. Untuk meningkatkan akurasi dan fleksibilitas sistem, disarankan mengganti sensor INA219 dengan INA226 serta mengganti LDR dengan BH1750 yang lebih akurat dalam membaca intensitas cahaya. Penambahan sensor suhu lingkungan, kelembaban, dan suhu baterai juga direkomendasikan untuk meningkatkan pemantauan kondisi sekitar dan mencegah *overheat* saat pengisian. Selain itu, sensor arus beban dapat ditambahkan untuk memantau konsumsi daya secara *real-time*, sehingga sistem dapat mengelola energi dengan lebih efisien dan adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, B. (2023). *Fuzzy Logic of Sugeno Method for Controlling Line Follower Mobile Robot*. 15(2), 283–289.
- Akpado, K., Aririguzo, M., & Okwaraoka, C. (2007). Design and Implementation of Battery Charge Controller Using Embedded Fuzzy Logic System. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* (An ISO, 3297, 10177–10185. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2017.0606008>
- Al-Azam, M. N., Rizaludin, D., Raharjo, Y. S., & Nugroho, A. (2019). Message Queuing Telemetry Transport dalam Internet of Things menggunakan ESP-32. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 3(3), 159. <https://doi.org/10.30865/mib.v3i3.1160>
- Al-Baghawi. (2002). *Ma'alim At-Tanzil fi Tafsir Al-Qur'an (Vol. 3)*. Dar Ibn Hazm.
- Amalia Putri, R., Tannya Yanwar, S., Maula Everlin, S., & Ali Herupratama, S. (2024). *Studi efisiensi panel surya dalam menghasilkan listrik di berbagai kondisi cuaca study of the efficiency of solar panels in generating electricity in various weather conditions*. 5–6. <https://ejurnal.stkipddipinrang.ac.id/index.php/wjpe/article/download/99/82>
- Andriana, -, Zuklarnain, -, & Baehaqi, H. (2019). Sistem kWh Meter Digital Menggunakan Modul PZEM-004T. *Jurnal TIARSIE*, 16(1), 29. <https://doi.org/10.32816/tiarsie.v16i1.43>
- Arfamaini, R. (2016). Rancang Bangun. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 2071–2079.
- Azam, M. H., Hasan, M. H., Hassan, S., & Abdulkadir, S. J. (2020). Fuzzy Type-1 Triangular Membership Function Approximation Using Fuzzy C-Means. *2020 International Conference on Computational Intelligence, ICCI 2020, November*, 115–120. <https://doi.org/10.1109/ICCI51257.2020.9247773>
- Azmi, M. T., Candra, O., Hastuti, H., & Habibullah, H. (2023). Sistem Kontrol instalasi Rumah Menggunakan HMI Berbasis Internet of Things. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(2), 983–992. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.526>
- Bahtiar, A. (2023). Pemasangan Panel Surya sebagai Sumber Energi Listrik Pompa Sirkulasi Air untuk Budidaya Ikan Mas. *Dharma Saintika: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.24198/saintika.v1i1.44663>
- Denny Haryanto Sinaga, Wanapri Pangaribuan, M. A. R. S., & Syahrir, A. H. (2023). Desain Sistem Cadangan Energi Listrik Menggunakan Tenaga Surya Pada Gedung Teknik Elektro FT. *Jurnal Insinyur ...*, 2(2), 38–47.

<https://www.academia.edu/download/105462558/20317.pdf>

- Dewi, A. K., Sugirto, I., Nurin, C., Septiani, N. A., & Akamigas, E. M. (2024). *JurnalPolimesin*. 22(1), 125–130.
- Dwisaputra, I., Sahita, S. F., & Rizky, M. D. (2023). Energy Efficiency In Lighting Systems Using Fuzzy Logic Control. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Environment, Agriculture and Tourism (ICOSEAT 2022)*, 26, 465–469. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-086-2_63
- Elektro, J. T., Teknik, F., & Sriwijaya, U. (2024). *Skripsi analisis daya keluaran prototype hybrid panel surya dan thermoelectric generator dengan*.
- Espressif Systems. (2021). ESP32 Series. *Esp32*, 1–65. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2_datasheet_en.pdf
- Hajar, I., Pasra, N., & Rusmansyah, D. (2020). Analisis Voltage Drop Pada Jaringan Tegangan Rendah Dengan Metode Pecah Beba Pada Gardu KH 007 Di PT PLN (Persero) UP3 Pamekasan. *Sutet*, 10(2), 99–111. <https://doi.org/10.33322/sutet.v10i2.1306>
- Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors*, 23(15). <https://doi.org/10.3390/s23156739>
- Hou, X., Wen, D., Li, F., Ma, C., Zhang, X., Feng, H., & Ren, J. (2019). Influence of light and its temperature on solar photovoltaic panels. *E3S Web of Conferences*, 118, 10–12. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911801047>
- Imamguluyev, R., Imanova, T., Nabiyeva, C., Poladova, U., & Amirova, R. (2024). *Fuzzy logic-based energy management in IoT-Enabled buildings*. 01009, 1–7.
- Indra Rizkianto, A., Suprianto, B., Wanarti Rusimamto, P., & Endryansyah. (2022). Rancang Bangun Sistem Kontrol Tracking Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic Controller Berbasis ESP32. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 126–135.
- Jokanan, J. W., Widodo, A., Kholis, N., & Rakhmawati, L. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase dan Aplikasi. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 47–55. <https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p47-55>
- Katsir, I. bin U. bin. (2000). *Tafsir Ibnu Katsir*. Pustaka Imam Asy-Syafi'i. <https://tafsirweb.com/8852-surat-nuh-ayat-16.html>
- Katsir, I. (2000). *Tafsir Al-Qur'an Al-'Azhim (Vol. 6)*. Dar Tayyibah.
- Lasera, A. B., & Wahyudi, I. H. (2020). Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 5(2), 112–120. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i2.34261>

- Malona, O. L. (2020). *Penerapan Metode Fuzzy Inference System (Fis) Sugeno Dalam Menentukan Nilai Inflasi (Studi Kasus Pada Data Inflasi Medan)*. 6(3), 33–38.
- Muhammad Afdhal, Dhio Saputra, & Wifra Safitri. (2021). Sistem Informasi Prediksi Angka Produksi Pada Nila Cake Berbasis Web Metoda Fuzzy. *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang*, 9(1), 9–16. <https://doi.org/10.21063/jtif.2021.v9.1.9-16>
- Mukhammad, Z. (2020). *Perancangan Sistem Pembersih Udara Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Untuk Kontrol Kipas Berbasis Iot (Internet of Things)*. 1–59.
- Nadziroh, F., Syafira, F., & Nooriansyah, S. (2021). Alat Deteksi Intensitas Cahaya Berbasis Arduino Uno. *Indonesian Journal of Intellectual Publication*, 1(3), 142–149. <https://doi.org/10.51577/ijpublication.v1i3.92>
- Nisa, A. K., Abdy, M., & Zaki, A. (2020). Penerapan Fuzzy Logic untuk Menentukan Minuman Susu Kemasan Terbaik dalam Pengoptimalan Gizi. *Journal of Mathematics Computations and Statistics*, 3(1), 51. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v3i1.19902>
- Nugraha, S., Notosudjono, D., & Rijadi, B. B. (2024). *Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Back-Up pada Prototipe Pemanenan Ikan Lele Secara Otomatis dengan Menggunakan Internet of Things (IoT)*. 1–12.
- Nurul Achmadiyah, M., Rifai, M., & Vadila, M. I. (2023). Rancang bangun dc converter sebagai pengisian cadangan baterai tenaga panel surya pada budidaya ikan nila bioflok. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 10(3), 369–378. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i3.4403>
- Pambudi, wahyu setyo, Firmansyah, riza agung, Suheta, T., & Wicaksono, nur kukuh. (2023). Analisis Penggunaan Baterai Lead Acid dan Lithium Ion dengan Sumber Solar Panel. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(2), 392. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i2.392>
- Putri, O. R., Sudarwati, W., Wardah, S., & Marfuah, U. (2024). *Aplikasi Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani Untuk Memprediksi Jumlah Produksi Pakaian Pada Industri Kreatif Fesyen*. April.
- Rahman, B., Mantoro, T., Andryana, S., & Wicaksono, S. B. (2024). Optimizing Plant Watering Efficiency via IoT: Fuzzy Sugeno Method with ESP8266 Microcontroller. *TEM Journal*, 13(3), 1849–1857. <https://doi.org/10.18421/tem133-13>
- Rumokoy, S. N., Dodie, S. B., Atmaja, I. G. P., Beatrix, S., Pangemanan, D. D. G., Lahinta, F. C., Junaedy, S. P., Listrik, T., Elektro, T., & Manado, P. N. (2024). *Rancangan Sistem Kontrol Alat Pencegah Kematian Ikan Pada Usaha Ikan Hias Dengan Sistem Kolam Akuarium Berbasis IoT Terintegrasi PLTS*.

- Setiyawan, D., Arbansyah, A., & Latipah, A. J. (2023). Fuzzy Inference System Metode Tsukamoto Untuk Penentuan Program Studi Fakultas Sains Dan Teknologi Di Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur. *JIKO (Jurnal Informatika Dan Komputer)*, 7(1), 23. <https://doi.org/10.26798/jiko.v7i1.657>
- Shihab, Q. (2024). *No Title*. TafsirQ. <https://tafsirq.com/7-al-araf/ayat-31#tafsir-quraish-shihab>
- Soambaton, M. F., Djuniadi, D., & Al-Azhari, A. H. (2024). Monitoring kolam ikan nila berbasis IOT dengan sensor amonia, suhu, ketinggian, dan ph. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2), 919–926. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i2.4021>
- Somantri, S., Insany, G. P., Olis, S., & Kamdan, K. (2023). Perancangan Sistem Otomatisasi Pemberi Pakan Ikan Lele Berdasarkan Suhu Air Menggunakan Logika Fuzzy Sugeno. *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 9(2), 289. <https://doi.org/10.26418/jp.v9i2.65823>
- Srikandina, D., Anwar, R. K., & Rohman, A. S. (2024). Analisis Bibliometrik tentang Penerapan Internet of Things (IoT) dalam Bisnis. *Palimpsest: Jurnal Ilmu Informasi Dan Perpustakaan*, 15(1), 37–55. <https://doi.org/10.20473/pjil.v15i1.57459>
- Studi, P., Fakultas, P., Kelautan, I., & Padjadjaran, U. (2024). *Mimbar Agribisnis : Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis Analisis Produktivitas Perikanan Budidaya Kolam Tanah Pembenihan Ikan Nila (Oreochromis niloticus) (Studi Kasus : Pembudidaya di Kecamatan Wanayasa , Kabupaten Purwakarta) An. 10*, 3505–3521.
- Sutikno, T., Alfahri, J., & Purnama, H. S. (2023). Monitoring Tegangan dan Arus Pada Panel Surya Menggunakan IoT. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 22(1), 153. <https://doi.org/10.24843/mite.2023.v22i01.p20>
- Wisnawa, I. P. O., Prasetya, I. P. W., & Lahallo, C. A. S. (2021). Arsitektur Internet of Things (IoT) Berskala Industri Dengan Fitur Auto Provisioning. *TIERS Information Technology Journal*, 2(2), 24–30. <https://doi.org/10.38043/tiers.v2i2.3312>
- Yustina Retno Wahyu Utami, S. R. A. K. (2017). Implementasi Fuzzy Logic Dalam Sistem Pakar Untuk Mendeteksi Penyakit Kanker Serviks. *Jurnal Ilmiah SINUS*, 15(1), 27–38. <https://doi.org/10.30646/sinus.v15i1.259>

LAMPIRAN

Lampiran 1

Link Website Monitoring
amirulm.my.id/listrik_panel

Lampiran 2

Berikut adalah link video uji coba

https://drive.google.com/file/d/1TEHAE7Am8xg-tUji_XNVmum4Vcm6n4u/view?usp=sharing

Lampiran 3

Tabel Kebenaran Fuzzy Sugeno

<i>Rule</i>	Tegangan PLN	Tegangan Baterai	Intensitas Cahaya	<i>Output Fuzzy</i>
R1	Rendah	Rendah	Rendah	Gunakan Baterai (0.5)
R2	Rendah	Rendah	Sedang	Gunakan Baterai (1.0)
R3	Rendah	Rendah	Tinggi	Gunakan Baterai + Pengisian Daya Baterai (1.5)
R4	Rendah	Sedang	Rendah	Gunakan Baterai (1.2)
R5	Rendah	Sedang	Sedang	Gunakan Baterai (1.8)
R6	Rendah	Sedang	Tinggi	Gunakan Baterai (2.3)
R7	Rendah	Tinggi	Rendah	Gunakan Baterai (2.5)
R8	Rendah	Tinggi	Sedang	Gunakan Baterai (2.9)
R9	Rendah	Tinggi	Tinggi	Gunakan Baterai (3.2)
R10	Tinggi	Rendah	Rendah	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai(3.3)
R11	Tinggi	Rendah	Sedang	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai (2.6)
R12	Tinggi	Rendah	Tinggi	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai (3.0)
R13	Tinggi	Sedang	Rendah	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai (3.4)
R14	Tinggi	Sedang	Sedang	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai (3.5)
R15	Tinggi	Sedang	Tinggi	Gunakan Listrik Utama + Pengisian Daya Baterai (3.7)
R16	Tinggi	Tinggi	Rendah	Gunakan Listrik Utama (3.6)
R17	Tinggi	Tinggi	Sedang	Gunakan Listrik Utama (3.8)
R18	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Gunakan Listrik Utama (4.0)