

Optimasi Manajemen Energi pada *Oven Hybrid* Surya dan Gas Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*

Farah Santy^{1*}, Yudi Wijanarko², dan Sabilal Rasyad³

¹ Politeknik Negeri Sriwijaya; email : Farahsanty1000@gmail.com

² Politeknik Negeri Sriwijaya; email : wijanarko_yudi@polsri.ac.id

³ Politeknik Negeri Sriwijaya; email : sabilal_rasyad@polsri.ac.id

*Penulis Korespondensi: Farah Santy

Abstract: The increasing global demand for energy and the environmental impact caused by fossil fuel consumption have encouraged the development of renewable energy technologies, particularly solar photovoltaic (PV) systems. However, the intermittent nature of solar energy creates challenges in maintaining a stable energy supply, especially for thermal applications such as ovens. Therefore, this study proposes an energy management system for a hybrid solar–gas oven integrated with a Battery Energy Storage System (BESS) using a Fuzzy Logic Controller (FLC). The proposed system combines solar energy, battery storage, and gas as a backup energy source to ensure a stable thermal energy supply under various operating conditions. The fuzzy logic method is applied to determine the most optimal energy source in real time based on solar radiation intensity, battery state of charge, and thermal load demand. The system is designed to improve energy distribution efficiency, reduce excessive battery usage, and maintain stable oven operation. The results show that the fuzzy logic-based energy management strategy can optimize renewable energy utilization while maintaining system reliability and stability. Therefore, the developed hybrid energy management system has strong potential to reduce dependence on fossil fuels and support sustainable energy applications in thermal processing systems.

Keywords: Fuzzy Logic Mamdani; Energy Management; Hybrid Solar-Gas Oven; Renewable Energy; Battery Energy Storage System (BESS)

Abstrak: Meningkatnya kebutuhan energi global serta dampak lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil telah mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya sistem fotovoltaik (PV) tenaga surya. Namun, sifat energi surya yang intermiten menjadi tantangan dalam menjaga kestabilan pasokan energi, terutama pada aplikasi termal seperti oven. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sistem manajemen energi pada oven hybrid surya–gas yang terintegrasi dengan Battery Energy Storage System (BESS) menggunakan pengendali logika Fuzzy. Sistem yang dikembangkan menggabungkan energi surya, baterai penyimpanan, dan gas sebagai sumber energi cadangan untuk memastikan suplai energi termal tetap stabil pada berbagai kondisi operasi. Metode logika Fuzzy diterapkan untuk menentukan sumber energi yang paling optimal secara real-time berdasarkan parameter intensitas radiasi matahari, tingkat pengisian baterai, dan kebutuhan beban termal oven. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi distribusi energi, mengurangi penggunaan baterai yang berlebihan, serta menjaga kestabilan operasi oven. Penerapan logika Fuzzy memberikan fleksibilitas dalam menangani kondisi nonlinier dan ketidakpastian tanpa memerlukan model matematika yang sangat kompleks. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi manajemen energi berbasis logika Fuzzy mampu mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan sekaligus

Diterima: June 25, 2026
Direvisi: June 30, 2026
Diterima: July 17, 2026
Diterbitkan: July 15, 2026
Versi sekarang: July 30, 2026



Hak cipta: © 2026 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan
publikasi akses terbuka
berdasarkan syarat dan ketentuan
lisensi Creative Commons
Attribution (CC BY SA) (
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

mempertahankan keandalan dan stabilitas sistem. Dengan demikian, sistem manajemen energi hybrid yang dikembangkan memiliki potensi besar dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mendukung penerapan energi berkelanjutan pada sistem pemrosesan termal.

Kata kunci: Logika Fuzzy Mamdani; Manajemen Energi; Oven Hybrid Surya-Gas; Energi Terbarukan; Battery Energy Storage System

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi yang terus meningkat pada sektor industri maupun rumah tangga mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi surya karena tersedia secara melimpah dan dapat dimanfaatkan melalui teknologi panel fotovoltaik (PV) [1]. Pemanfaatan energi surya pada sistem pemanas dan oven menjadi alternatif yang menarik karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi konvensional serta mendukung penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan [2].

Namun, energi surya memiliki karakteristik keluaran yang dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan kondisi cuaca sehingga daya yang dihasilkan bersifat fluktuatif [3]. Kondisi tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan pasokan energi pada beban yang memerlukan operasi kontinu, seperti oven pemanas. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu mengelola penggunaan berbagai sumber energi secara optimal untuk menjaga kontinuitas operasi dan meningkatkan efisiensi energi [4], [5]. Sistem energi hybrid yang mengombinasikan sumber energi terbarukan, sistem penyimpanan energi, dan sumber energi cadangan telah banyak diterapkan untuk meningkatkan keandalan pasokan energi [6]. Dalam sistem oven hybrid surya-gas, energi listrik yang dihasilkan panel surya dapat disimpan dalam baterai dan digunakan untuk mengoperasikan heater sebagai sumber panas utama, sedangkan burner gas berfungsi sebagai sumber panas cadangan ketika energi yang tersedia tidak mencukupi [7]. Penggunaan beberapa sumber energi tersebut memerlukan strategi manajemen energi yang mampu menentukan mode operasi yang paling sesuai berdasarkan kondisi sistem secara real-time.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengelola distribusi energi pada sistem hybrid, mulai dari metode berbasis aturan hingga metode kecerdasan buatan. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah Fuzzy Logic karena mampu menangani sistem nonlinier dan ketidakpastian tanpa memerlukan model matematika yang kompleks [8]. Selain itu, Fuzzy Logic mampu mengubah variabel linguistik menjadi keputusan kontrol yang menyerupai proses pengambilan keputusan manusia sehingga sesuai diterapkan pada sistem manajemen energi [9].

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan keberhasilan penerapan Fuzzy Logic pada sistem energi hybrid. Alfred dkk. [1] mengembangkan model manajemen energi berbasis Fuzzy Logic pada sistem PV-Wind dengan penyimpanan baterai. Boubaker dan Jouili [2] menerapkan Fuzzy Logic Energy Management System pada sistem DC microgrid untuk meningkatkan stabilitas sistem. Nivolianiti dkk. [3] mengembangkan strategi manajemen energi berbasis Fuzzy Logic pada sistem propulsi kapal listrik hybrid, sedangkan Alankrita dkk. [4] berhasil meningkatkan efisiensi distribusi energi pada sistem hybrid photovoltaic menggunakan

pendekatan Fuzzy Logic. Penelitian lain oleh Olaleye dkk. [7] menunjukkan bahwa Fuzzy Logic Controller mampu mengoptimalkan penggunaan sumber energi pada sistem hybrid.

Penerapan Fuzzy Logic juga telah dilakukan pada sistem manajemen baterai dan aplikasi termal. Magsumbol dkk. [9] mengembangkan sistem manajemen baterai cerdas berbasis Fuzzy Logic pada sistem fotovoltaik hybrid, sedangkan Utami dkk. [8] mengimplementasikan metode Fuzzy Mamdani pada smart oven berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan kualitas pengendalian suhu. Selain itu, penelitian mengenai pengendalian proses pengisian baterai menggunakan Fuzzy Logic menunjukkan peningkatan performa dibandingkan metode konvensional [10].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem manajemen energi penyimpanan baterai pada oven hybrid surya-gas menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani. Sistem yang dikembangkan menggunakan tegangan baterai dan suhu oven sebagai variabel masukan untuk menentukan mode pemanasan yang optimal sehingga efisiensi penggunaan energi dapat ditingkatkan dan kontinuitas operasi oven dapat terjaga.

2. Tinjauan Literatur

2.1. Manajemen Energi Sistem Hybrid

Sistem Energi Terbarukan Hybrid (Hybrid Renewable Energy System, HRES) didefinisikan sebagai sistem yang menggabungkan dua atau lebih sumber energi terbarukan, atau perpaduan sumber terbarukan dengan sistem penyimpanan energi, untuk menciptakan pasokan energi yang lebih stabil [11]. Dalam penelitian ini, sistem hybrid mencakup panel surya fotovoltaik sebagai sumber utama, bank baterai untuk penyimpanan energi, MPPT Solar Charge Controller, pemanas listrik sebagai beban panas utama, dan burner gas LPG sebagai sumber panas cadangan.

Pendekatan manajemen energi secara umum dibagi menjadi tiga kategori: (1) metode berbasis aturan tetap (Rule-Based), (2) metode berorientasi optimasi seperti Model Predictive Control dan Dynamic Programming, serta (3) metode kecerdasan buatan seperti Fuzzy Logic, Jaringan Saraf Tiruan, dan Algoritma Genetik [12]. Metode kecerdasan buatan, terutama Fuzzy Logic, unggul dalam mengatasi ketidakpastian dari variabel sensor dan variasi kondisi sistem tanpa memerlukan model matematis yang eksak.

2.2 Metode Fuzzy Logic Mamdani

Logika Fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 sebagai perluasan dari logika Boolean klasik. Metode Mamdani yang dikemukakan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 merupakan salah satu pendekatan inferensi Fuzzy yang paling banyak digunakan karena menghasilkan output berupa himpunan Fuzzy yang lebih intuitif dan sesuai dengan cara berpikir manusia [13]. Proses dalam Fuzzy Logic Mamdani terdiri dari empat tahap utama.

Fuzzifikasi merupakan proses transformasi nilai input crisp menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan Fuzzy. Derajat keanggotaan $\mu_A(x)$ bernilai antara 0 dan 1, di mana nilai 1 menunjukkan keanggotaan penuh dan nilai 0 menunjukkan bukan anggota. Fungsi

keanggotaan yang digunakan dapat berbentuk segitiga, trapesium, maupun Gaussian tergantung karakteristik variabel yang dimodelkan.

Rule base merupakan kumpulan aturan berbentuk IF-THEN yang menghubungkan kondisi input dengan aksi output. Setiap aturan dinyatakan dalam bentuk: IF x is A AND y is B THEN z is C . Nilai α -predikat setiap aturan dihitung menggunakan operator minimum: $\alpha_i = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$.

Komposisi aturan dilakukan menggunakan metode Max, di mana nilai keanggotaan output diperoleh dengan mengambil nilai maksimum dari seluruh aturan yang aktif: $\mu(z) = \max(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$. Defuzzifikasi kemudian mengonversi himpunan Fuzzy output menjadi nilai crisp menggunakan metode Centroid: $z^* = \int z \cdot \mu(z) dz / \int \mu(z) dz$.

2.3 Panel Surya

Panel surya adalah bagian yang bisa dipakai untuk mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik dengan cara memakai prinsip yang dinamakan efek fotovoltaiik. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya biasanya digunakan untuk kebutuhan sehari-hari dan sebagian dari listrik tersebut disimpan pada battery. Panel surya terbagi menjadi tiga jenis, yaitu polikristalin, monokristalin, dan thin film[14].

2.4 Baterai

Baterai yang digunakan pada panel surya berperan sebagai sumber listrik untuk kebutuhan saat pasokan listrik dari panel surya tidak tersedia, sebagai penyangga untuk mengimbangi perbedaan antara daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan kebutuhan pengguna, serta sebagai sumber energi cadangan saat cuaca berawan, mendung, hujan, atau dalam kondisi darurat lainnya. Battery yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua battery dengan kapasitas 120 Ah yang berfungsi untuk menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum digunakan untuk mengoperasikan beban. Beban bisa mencakup heater serta komponen kontrol yang lainnya[14]

2.5 Gas LPG

Gas LPG, singkatan dari Liquefied Petroleum Gas, adalah campuran dari dua jenis gas, yaitu propane dan butana, yang dipadatkan menjadi bentuk cair dengan menggunakan tekanan yang cukup tinggi. LPG digunakan secara luas sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, bisnis, dan industri. Di rumah tangga, LPG digunakan untuk memasak, memanaskan air, dan menghangatkan ruangan. Di bidang komersial, LPG digunakan di restoran, hotel, dan industri makanan. Di industri, LPG digunakan sebagai bahan bakar untuk proses pemanasan, pengeringan, dan pengolahan. Selain itu, LPG juga digunakan dalam kendaraan sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan[15].

2.6 Komponen Sistem Oven Hybrid

Komponen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat utama sistem hybrid, perangkat kontrol, serta komponen pendukung lainnya. Sistem dirancang untuk mengatur penggunaan energi pada oven hybrid surya-gas menggunakan metode Fuzzy Mamdani berbasis tegangan baterai.

Tabel 2. 1 Komponen Sistem Oven Hybrid

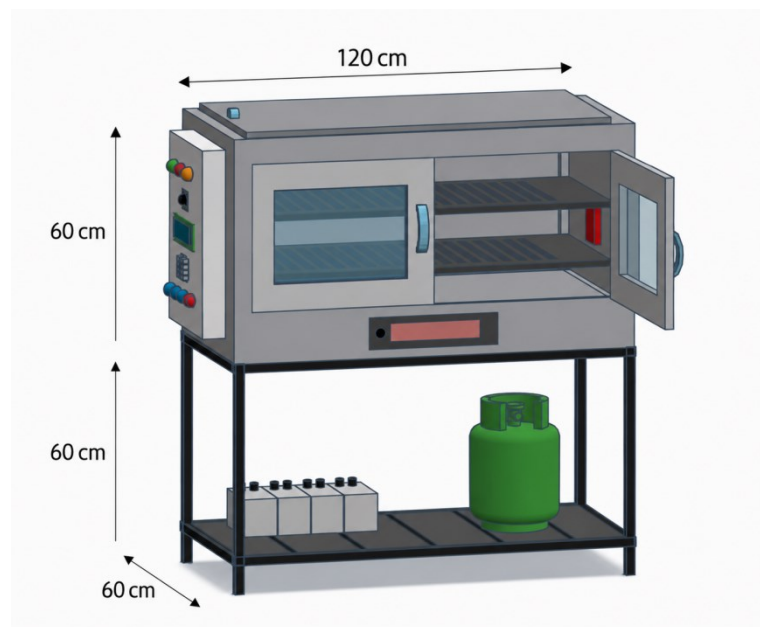
No	Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Panel Surya	100 Wp	4 Unit
2	Baterai	12V 120Ah	2 Unit
3	Inverter	Pure Sine Wave 1200W	1 Unit
4	Heater	220V 120W	3 Unit
5	Heater	220V 200W	2 Unit
6	ESP32	WiFi NodeMCU	1 Unit
7	Relay Module	5V 4 Channel	1 Unit
8	Sensor Tegangan	DC 0–25V	1 Unit
9	Thermocouple	MAX6675 Type-K	1 Unit
10	Servo Valve Gas	5V	1 Unit
11	Solar Charge Controller	MPPT	1 Unit

3. Metode

Penelitian ini mengikuti metodologi terpadu yang mencakup studi literatur, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan lunak, serta pengujian dan evaluasi.

3.1. Perancangan Mekanik

Struktur mekanik oven hybrid dirancang dengan dimensi 120 cm × 60 cm menggunakan pemodelan 3D untuk memastikan integrasi fisik yang optimal antar subsistem. Oven dibagi menjadi dua bagian vertikal: bagian atas berfungsi sebagai ruang bakar utama yang dilengkapi panel isolasi termal dan jendela kaca temper, sedangkan bagian bawah digunakan sebagai kompartemen penyimpanan tabung gas LPG. Panel surya dipasang di bagian atas struktur untuk mengoptimalkan penerimaan iradiasi matahari. Box panel elektronik berukuran 60×40 cm dipasang di sisi oven untuk menampung seluruh komponen kontrol.

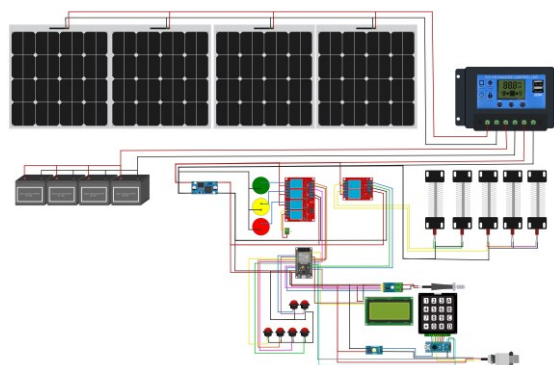


Gambar 3. 1 3D Oven Hybrid

3.2. Perancangan Elektronik

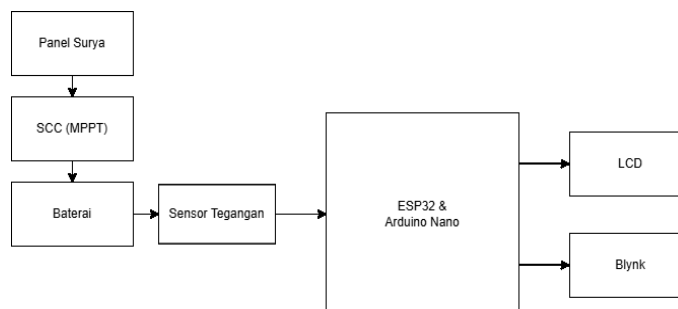
Diagram blok sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2. Energi yang dihasilkan panel surya dialirkan ke baterai melalui SCC MPPT, kemudian didistribusikan ke beban melalui pengendali ESP32. Sensor tegangan membaca kondisi baterai setiap 1 detik, sedangkan sensor Thermocouple Type-K memantau suhu oven secara kontinu. Arduino Nano V3 digunakan sebagai co-processor untuk mengelola input keypad 4×4 dan output LCD 20×4. Modul relay SSR-50DD mengontrol aktivasi heater listrik, sementara servo control valve MG996R mengatur bukaan katup gas LPG berdasarkan sinyal PWM dari ESP32.

Wiring diagram sistem menunjukkan keterhubungan komponen sebagai berikut: output positif dan negatif panel surya dihubungkan ke terminal PV SCC, output baterai SCC terhubung ke terminal baterai, dan output beban SCC menyuplai daya 12V DC ke seluruh sistem elektronik melalui modul step-down. Heater DC 12V/120W (3 unit) dan elemen heater DC 200W (2 unit) dihubungkan melalui relay SSR yang dikontrol oleh ESP32.



Gambar 3. 2 Wiring Diagram Oven Hybrid

3.3 Diagram Blok

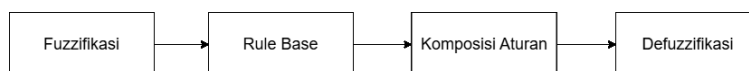


Gambar 3. 3 Diagram Blok Optimasi Manajemen Energi

Sistem oven hybrid berbasis energi surya yang dikendalikan secara cerdas menggunakan mikrokontroler ditunjukkan pada diagram blok tersebut. Energi utama yang dihasilkan oleh panel surya diatur oleh pengontrol pengisian surya (SCC) yang berbasis MPPT untuk mengoptimalkan proses pengisian baterai dan melindungi baterai dari overcharge dan overdischarge. Setelah itu, energi ini disimpan dalam baterai sebagai sumber daya sistem. Untuk memantau kondisi, sensor tegangan membaca kondisi baterai. ESP32 dan Arduino Nano, sebagai pusat pengendali pengambilan keputusan, mengolah data ini. Dengan mempertimbangkan hasil pengolahan tersebut, sistem mengatur kerja oven agar sesuai kondisi optimal. Selain itu, sistem dapat berjalan secara otomatis, stabil, dan efisien dengan memantau informasi sistem secara langsung melalui LCD dan melalui aplikasi Blynk.

3.4 Metode Fuzzy Logic Mamdani

Metode *Fuzzy Logic* Mamdani sebagai algoritma utama dalam sistem pengambilan keputusan. Berdasarkan diagram proses yang tertera pada Gambar



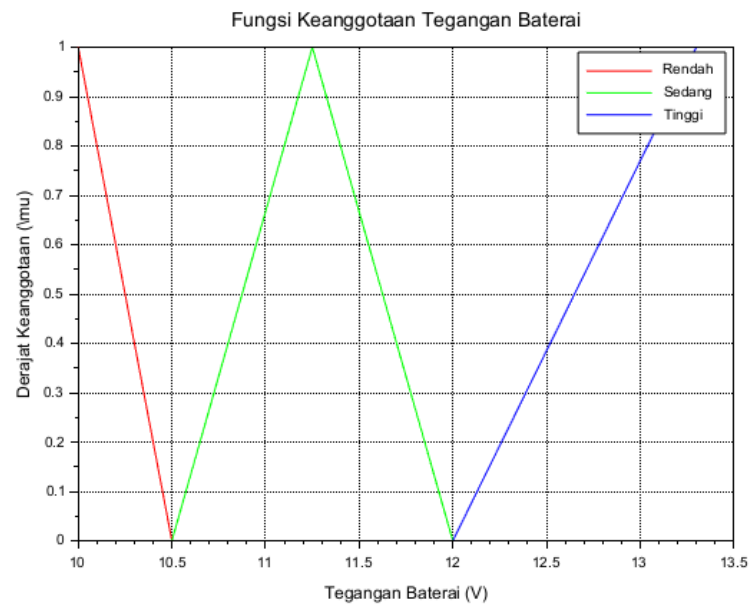
Gambar 3. 4 Logika Fuzzy

– Fuzzifikasi

Menentukan variabel input dan output, fungsi keanggotaan dan grafik keanggotaan.

Tabel 3. 1 Variabel Input Fuzzy

Himpunan <i>Fuzzy</i>	Domain (V)
Rendah	10,0 – 10,5
Sedang	10,5 – 12,0
Tinggi	12,0 – 13,5

**Gambar 3. 5** Grafik Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan

- Tegangan rendah

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 10 \\ \frac{10.5 - x}{0.5} & 10 < x < 10.5 \\ 0 & x \geq 10.5 \end{cases}$$

- Tegangan sedang

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10.5 \\ \frac{x - 10.5}{0.75}, & 10.5 < x < 11.25 \\ \frac{12 - x}{0.75}, & 11.25 < x < 12 \\ 0, & x \geq 12 \end{cases}$$

- Tegangan tinggi

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 12 \\ \frac{x - 12}{1.3}, & 12 < x < 13.5 \\ 1, & x \geq 13.5 \end{cases}$$

Tabel 3. 2 Variabel Output Fuzzy

Kondisi	Heater Aktif
Rendah	0 Heater
Sedang	3 Heater

Tinggi

5 Heater

– Rule base

Rule base yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga aturan yang masing-masing menggambarkan kondisi baterai rendah, sedang, dan tinggi.

Tabel 3. 3 Rule Base Fuzzy

Rule	Aturan
R1	IF Tegangan Rendah THEN 0 Heater
R2	IF Tegangan Sedang THEN 3 Heater
R3	IF Tegangan Tinggi THEN 5 Heater

– Komposisi aturan

Pada penelitian ini digunakan metode MAX untuk menentukan nilai keluaran *fuzzy* berdasarkan nilai α -predikat terbesar yang dihasilkan oleh aturan-aturan yang aktif.

$$\mu(z) = \max(\dots, \dots, \dots) \quad (1)$$

– Defuzzifikasi

$$Z = \frac{z1\mu1 + z2\mu2 + z3\mu3}{\mu1 + \mu2 + \mu3} \quad (2)$$

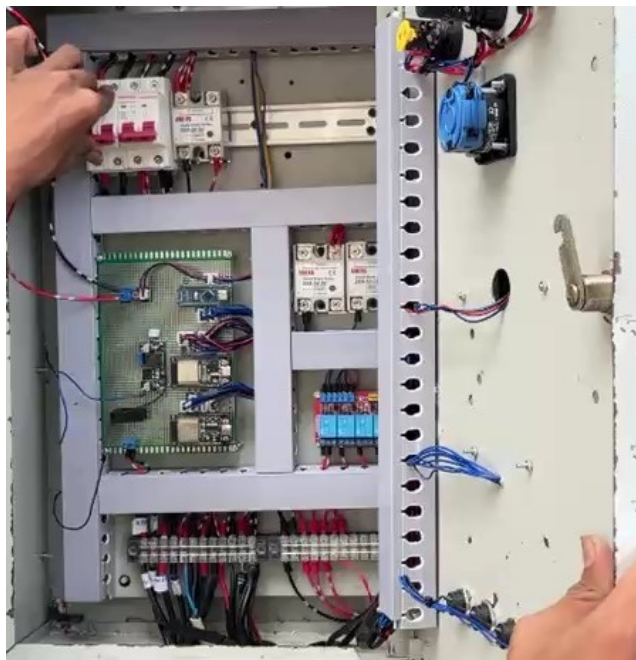
4. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan implementasi dan pengujian sistem manajemen energi pada oven hybrid surya–gas yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Implementasi meliputi pembuatan perangkat keras berdasarkan desain mekanik dan elektronik yang telah dibuat, integrasi komponen sistem, serta penerapan metode Fuzzy Logic Mamdani sebagai algoritma pengambilan keputusan. Hasil implementasi kemudian dievaluasi melalui beberapa pengujian untuk mengetahui kinerja sistem dalam mengelola penggunaan energi dari panel surya dan gas.



Gambar 4. 1 Realisasi Oven Hybrid

Gambar 4.1 menunjukkan hasil realisasi fisik oven hybrid surya–gas yang telah dibangun sesuai dengan desain 3D yang dirancang sebelumnya. Sistem terdiri dari ruang oven sebagai tempat proses pemanasan, rangka penopang, kompartemen penyimpanan baterai dan tabung gas, serta panel kontrol yang berfungsi untuk mengoperasikan dan memantau kondisi sistem. Integrasi sumber energi surya, dan gas.



Gambar 4. 2 Panel Kontrol Oven Hybrid

Gambar 4.2 menunjukkan susunan komponen kelistrikan dan sistem kontrol yang ditempatkan di dalam panel kontrol. Komponen utama yang terlihat meliputi mikrokontroler ESP32, relay, kontaktor, MCB, terminal distribusi, catu daya, serta rangkaian pengkabelan yang menghubungkan sensor dan aktuator. Panel kontrol ini berfungsi sebagai pusat pengendalian sistem manajemen energi berbasis Fuzzy Logic Mamdani untuk mengatur aktivasi heater dan penggunaan sumber energi secara otomatis berdasarkan kondisi tegangan baterai.

4.1 Hasil Implementasi Fuzzy Logic Mamdani

Sistem manajemen energi menggunakan tegangan baterai sebagai variabel masukan (input) untuk menentukan jumlah heater yang akan diaktifkan. Nilai tegangan baterai merepresentasikan ketersediaan energi yang tersimpan pada sistem, sehingga semakin tinggi tegangan baterai maka semakin banyak heater yang dapat dioperasikan. Sebaliknya, ketika tegangan baterai menurun, sistem akan mengurangi jumlah heater yang aktif untuk menghemat penggunaan energi dan menjaga kondisi baterai.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Fuzzy

No	Tegangan Baterai (V)	Kondisi Fuzzy	Heater
1.	13.5 V – 12 V	Tinggi	5 Heater
2.	12 V – 10,5 V	Sedang	3 Heater
3.	10,5 V – 10 V	Rendah	0 Heater

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa sistem Fuzzy Logic dapat mengelompokkan kondisi tegangan baterai ke dalam tiga kategori: rendah, sedang, dan tinggi. Setiap kategori menghasilkan jumlah pemanas yang berbeda berdasarkan kondisi energi yang tersedia pada baterai.

Sistem mengidentifikasi kondisi baterai sebagai tinggi pada tegangan 13,5 V hingga 12 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mengaktifkan lima pemanas pada kondisi ini, menunjukkan bahwa logika fuzzy memberikan keluaran maksimum karena kapasitas baterai masih berada pada kondisi optimal, yang memungkinkan seluruh elemen pemanas untuk mendapatkan daya yang dibutuhkannya.

Sistem mengklasifikasikan kondisi baterai sebagai sedang ketika tegangan baterai antara 12 V dan 10,5 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mengaktifkan tiga heater dalam situasi ini, dan penurunan tegangan baterai dilakukan untuk menghemat lebih banyak daya. Oleh karena itu, energi yang tersimpan dapat digunakan lebih lama tanpa mengurangi fungsi pemanasan.

Selanjutnya, sistem mengidentifikasi kondisi baterai sebagai rendah pada rentang tegangan dari 10,5 V hingga 10 V. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada heater aktif, atau seluruh heater dinonaktifkan. Keputusan ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy dapat melindungi baterai dari pengosongan berlebih (deep discharge) dengan menghentikan beban pemanas ketika jumlah energi yang tersedia telah mencapai batas minimum.

4.2 Hasil Pembagian Energi

Tabel 4. 2 Hasil Pembagian Energi

Kondisi Baterai	Surya	Gas
Tinggi	Dominan	Tidak digunakan
Sedang	Dominan	Cadangan
Rendah	Terbatas	Membantu pemanasan

Berdasarkan tabel di atas, strategi pengelolaan energi pada oven hybrid surya–gas dibuat untuk mengatur penggunaan sumber energi sesuai dengan kondisi baterai. Tujuannya adalah menggunakan energi surya sebaik mungkin sebagai sumber energi utama dan memastikan pasokan energi tetap tersedia agar oven tetap dapat dipanaskan secara stabil.

Dalam kondisi baterai yang masih penuh, energi yang tersimpan cukup untuk memenuhi kebutuhan, sehingga sumber daya utama yang digunakan adalah energi surya untuk memasok tenaga ke heater. Dalam kondisi ini, sistem tidak membutuhkan bantuan dari sumber energi gas karena energi listrik yang berasal dari panel surya dan baterai masih cukup untuk memenuhi kebutuhan beban. Pengoperasian pada kondisi menunjukkan tingkat pendapatan terbaru terbaru terbaru terbaru terbaru terbaru terbaru terbaru terbaru terbaru tinggi apa apa seperti terhada.

Ketika baterai dalam kondisi sedang, energi dari matahari tetap digunakan sebagai sumber tenaga utama atau yang paling banyak digunakan. Namun, sistem mulai mengisi gas sebagai energi cadangan jika kapasitas baterai menurun atau kebutuhan panas oven meningkat. Strategi ini bertujuan memastikan operasi tetap berjalan lancar tanpa menghabiskan baterai terlalu cepat, sehingga daya tahan baterai tetap terjaga.

Selanjutnya, ketika baterai hampir kosong, energi yang tersisa di baterai sudah sangat sedikit, sehingga kemampuan sistem untuk menggerakkan heater dengan tenaga matahari semakin menurun. Dalam situasi ini, gas membantu memanaskan oven agar suhu tetap stabil sesuai yang diperlukan. Menggunakan gas sebagai sumber energi tambahan memastikan oven tetap bisa berjalan meskipun energi listrik dari panel surya dan baterai tidak cukup.

4.3 Hasil Pengujian Pengisian Baterai

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Pengisian Baterai

No	Waktu	Tegangan Panel Surya (V)	Arus Panel (A)	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (A)
1.	09.00	14	4.3	12	4.6
2.	10.00	14	3.7	12.7	4.0
3.	11.00	14	5.3	13.2	5.7
4.	12.00	14	5.1	13.3	5.2
5.	13.00	15	4.9	13.5	5.3
6.	14.00	14	4.3	13.2	4.3
7.	15.00	14	3.7	13.2	4.0
8.	16.00	14	3.5	13.1	3.7

55. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil membuat dan menerapkan sistem pengelolaan energi pada oven campuran solar dan gas dengan menggunakan pendekatan Fuzzy Logic Mamdani. Sistem yang dibuat bisa membagi kondisi tegangan baterai menjadi tiga golongan, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, untuk menentukan berapa banyak heater yang bekerja secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika tegangan berada antara 12 hingga 13,5 volt, sistem menghidupkan 5 heater. Ketika tegangan berada antara 10,5 hingga 12 volt, sistem menghidupkan 3 heater. Dan ketika tegangan berada antara 10 hingga 10,5 volt, semua heater dimatikan. Mekanisme itu memungkinkan penggunaan energi lebih efisien sekaligus melindungi baterai dari kondisi baterai kosong terlalu parah.

Selain itu, hasil uji panel surya menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan tegangan yang tetap dalam rentang 14–15 volt. Saat proses pengisian berlangsung, tegangan baterai meningkat dari 12 volt menjadi 13,5 volt. Hal ini menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik sistem secara efektif. Penerapan logika fuzzy Mamdani terbukti mampu meningkatkan penggunaan energi terbarukan, mempertahankan kestabilan kerja oven, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, serta membantu pengembangan teknologi pemrosesan termal yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan.

Referensi

- [1] N. Alfred, V. Guntreddi, A. N. Shuaibu, and M. S. Bakare, "A fuzzy logic based energy management model for solar PV-wind standalone with battery storage system," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–21, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-09662-z.
- [2] S. Boubaker and K. Jouili, "Fuzzy Logic Energy Management Systembased Nonlinear Sliding Mode Controller for the Stabilization of DC Microgrids," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 14, no. 4, pp. 15408–15414, 2024, doi: 10.48084/etasr.7658.
- [3] E. Nivolianiti, Y. L. Karnavas, and J. F. Charpentier, "Fuzzy Logic-Based Energy Management Strategy for Hybrid Fuel Cell Electric Ship Power and Propulsion System," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 10, 2024, doi: 10.3390/jmse12101813.
- [4] Alankrita, A. Pati, N. Adhikary, S. K. Mishra, B. Appasani, and T. S. Ustun, "Fuzzy logic based energy management for grid connected hybrid PV system," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 751–758, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.05.217.
- [5] Y. B. Koca, "Fuzzy logic-based simulation and modelling of grid integration renewable energy systems for sustainable energy," *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 14, no. 1, pp. 80–89, 2024, doi: 10.28948/ngumuh.1438625.
- [6] H. Abdillah, T. Asrori, M. A. Baihaqi, D. H. T. Prasetyo, and A. Muhammad, "Sistem Monitoring dan Manajemen Energi pada Pembangkit Hybrid PLTS, PLTB, dan PLN berbasis Internet of Things," *JASIEK (Jurnal Apl. Sains, Informasi, Elektron. dan Komputer)*, vol. 5, no. 2, pp. 41–50, 2023, doi: 10.26905/jasiek.v5i2.10920.
- [7] T. A. Olaleye, L. Olatomiwa, O. M. Longe, and K. E. Jack, "An Energy Management Scheme for Hybrid Energy System Using Fuzzy Logic Controller," *Niger. J. Technol. Dev.*, vol. 20, no. 1, pp. 66–78, 2023, doi: 10.4314/njtd.v20i1.1292.
- [8] P. S. Utami, A. Aryanti, L. Lindawati, and I. Asrafi, "Smart Oven berbasis IoT menggunakan Fuzzy Mamdani untuk Pengeringan Cepat Kerupuk Kemplang," *Edumatic J. Pendidik. Inform.*, vol. 9, no. 3, pp. 669–678, 2025, doi: 10.29408/edumatic.v9i3.32099.
- [9] J. A. V. Magsumbol *et al.*, "Intelligent Battery Management in a Hybrid Photovoltaic Using Fuzzy Logic System," *Technologies*, vol. 13, no. 6, pp. 1–35, 2025, doi: 10.3390/technologies13060214.
- [10] A. Boukerche and S. Lekhchine, "Performances analysis of a classical charge controller and a modified fuzzy logic charge controller applied to a PV system," *Alger. J. Renew. Energy Sustain. Dev.*, vol. 4, no. 2, pp. 154–164, 2022, doi: 10.46657/ajresd.2022.4.2.5.
- [11] J. C. León Gómez, S. E. De León Aldaco, and J. Aguayo Alquicira, "A Review of Hybrid Renewable Energy Systems: Architectures, Battery Systems, and Optimization Techniques," *Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 1446–1467, 2023, doi: 10.3390/eng4020084.
- [12] M. Nur-E-Alam *et al.*, "Optimization of energy management in Malaysian microgrids using fuzzy logic-based EMS scheduling controller," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–15, 2025, doi: 10.1038/s41598-024-82360-4.
- [13] Y. Nurfaury, A. Stefanie, and I. Ibrahim, "Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Anggrek Otomatis Menggunakan Matlab Metode Fuzzy Logic Mamdani," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 4, pp. 2542–2547, 2024, doi: 10.36040/jati.v7i4.7118.
- [14] S. W. Putri, G. Marausna, and E. E. Prasetyo, "ANALISIS PENGARUH INTENSITAS CAHAYA MATAHARI TERHADAP DAYA vol. 8, no. 1.
- [15] S. Tambunan and A. Stefanie, "MONITORING KEBOCORAN GAS LPG MENGGUNAKAN SENSOR MQ-2 PADA RUMAH DENGAN NOTIFIKASI BOT TELEGRAM," vol. 7, no. 2, pp. 1423–1428, 2023.

