

Implementasi Fuzzy Logic Pada Kontrol Solar Tracker Dual Axis Berbasis Haiwel Clouds Scada

Implementation of Fuzzy Logic in Dual Axis Solar Tracker Control Based on Haiwel Clouds Scada

Alief Hidayah¹, Denny Irawan²

^{1, 2}Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Gresik
E-mail: ¹ Alifhidayah018@gmail.com, ²den2mas@umg.ac.id

Abstrak

Energi matahari sebagai sumber energi tak terbatas, memainkan peran penting sebagai sumber daya terbarukan. Keberlimpahan energi matahari, terutama di wilayah Indonesia, menjadikannya potensi besar untuk menghasilkan energi listrik melalui pemanfaatan panel surya. Sehingga pada penelitian ini perlu adanya sebuah perancangan sistem pemanfaatan energi matahari menggunakan panel surya dengan sistem tracking dual axis agar posisi panel surya selalu menghadap matahari dan juga untuk mengoptimalkan produksi daya pada panel surya. Dalam penelitian ini, digunakan metode Fuzzy Logic Mamdani sebagai sistem kendali untuk solar tracking yang akan diimplementasikan melalui mikrokontroler ESP32. Selain itu, hasil pemantauan (output monitoring) dapat ditampilkan pada Haiwel Cloud Scada dengan menggunakan protokol Modbus.

Kata kunci : Sistem Tracking dual Axis, ESP32, Fuzzy Logic Mamdani, Haiwel.

Abstract

Solar energy as an unlimited source, plays a crucial role as a renewable resource. The abundance of solar energy, especially in Indonesia, makes it a significant potential for generating electricity through the utilization of solar panels. Therefore, this study necessitates the design of a solar energy utilization system using solar panels with a dual-axis tracking system to ensure that the solar panels consistently face the sun, optimizing power production. In this research, the Fuzzy Logic Mamdani method is employed as the control system for solar tracking, processed through the ESP32 microcontroller. Additionally, the monitoring results (output monitoring) can be displayed on Haiwel Cloud Scada using the Modbus protocol.

Keywords: Dual Axis Tracking System, ESP32, Fuzzy Logic Mamdani. Haiwel.

1. PENDAHULUAN

Kemajuan zaman pada era global saat ini mengakibatkan konsumsi energi meningkat secara signifikan yang diakibatkan oleh peningkatan populasi di setiap tahunnya, hal tersebut berdampak pada energi fosil yang semakin berkurang hari demi hari. Oleh karena itu, salah satu untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan cara memanfaatkan energi terbarukan. [1]

Matahari adalah salah satu dari beberapa sumber energi yang tidak memiliki batasan, dan perannya sebagai energi yang dapat diperbarui. Hal ini menyatakan bahwa energi matahari memiliki jumlah yang sangat melimpah di bumi, terutama di wilayah Indonesia. Dalam penerapan untuk menghasilkan energi listrik, energi matahari dapat diubah dengan cara memanfaatkan panel surya sebagai media untuk mengonversi dari energi matahari menjadi energi listrik yang bersifat ramah lingkungan. [2]

Teknologi fotovoltaik (PV) adalah salah satu teknologi yang dapat menghasilkan arus DC (Direct Current) dengan cara menggunakan komponen semikonduktor atau seringkali disebut

panel surya. Adapun berbagai faktor yang dapat mempengaruhi performa panel surya, meliputi tingkat intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan dan material yang digunakan dalam pembuatan panel surya. Pada umumnya panel surya dipasang secara tegak lurus sehingga tidak memiliki kemampuan untuk memaksimalkan kinerja dari panel surya itu sendiri, dikarenakan panel surya tidak mendapatkan *supply* energi pada jam – jam tertentu. [3]

Oleh sebab itu, untuk mencapai hasil yang optimal, maka dibutuhkanlah penyesuaian panel surya yang dapat mengikuti arah matahari dengan sistem *tracking dual axis*. Untuk mengatur sistem *dual axis* ini diperlukan pengendali yang digunakan untuk memastikan agar panel selalu berada diposisi arah datangnya matahari. Salah satu metode yang digunakan adalah memanfaatkan metode *Fuzzy Logic Controller (FLC)*, metode ini memiliki keunggulan yaitu tidak memerlukan model matematis dari objek yang dikendalikan, dan mekanisme pengambilan keputusan yang terintegritas dalam aturan dasar selama proses berlangsung.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, sistem tracking pada panel surya telah menjadi fokus perhatian. Dari penelitian sebelumnya oleh [4] dengan judul "Rancang Bangun Sistem Kontrol Solar Tracking Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic", dilakukan percobaan dengan sistem tracking dan tanpa sistem tracking. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem tracking meningkatkan produksi daya pada panel surya secara signifikan, namun pada penelitian ini tidak dilengkapi dengan data *report*. Penelitian lainnya, seperti yang dijabarkan dari [2] dengan judul "Optimasi Daya Pada Panel Surya Dengan Solar Tracker System Dual Axis Menggunakan Metode Fuzzy Logic Controller", menunjukkan peningkatan produksi daya hingga 27,75% dibandingkan dengan pemasangan panel secara statis. Penelitian lainnya, seperti [5] yang berjudul "Panel PV Berpenjejak Single Axis Menggunakan Kendali Fuzzy Logic", menggunakan model simulasi MATLAB Simulink yang berkomunikasi dengan Arduino Uno untuk mengendalikan servo, namun pada penelitian ini masih menggunakan sistem tracking single axis dimana dinilai kurang maksimal. Penelitian [6] berjudul "Rancang Bangun Monitoring Tracking System Menggunakan Arduino Dan Nodemcu ESP8266 Berbasis IOT" tetap menggunakan sistem tracking single axis dan menampilkan hasil monitoring melalui platform Thinger.io. Terakhir, penelitian [7] dengan judul "Rancang Bangun Dual Axis Solar Tracker Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno" menunjukkan peningkatan produksi daya dari 1.311 Wh menjadi 2.196 Wh dengan sistem tracking dual axis, meskipun tidak menggunakan logika fuzzy untuk menentukan arah cahaya matahari.

Dari latar belakang diatas serta berdasarkan penelitian terdahulu, maka penulis melakukan inovasi dan pengembangan. Dari penelitian terdahulu masih banyak penelitian yang menggunakan arduino uno sebagai mikrokontrollernya dan masih banyak penelitian yang tidak menyertakan pencatatan data pada sistemnya. Oleh karena itu penulis menilai masih bisa dikembangkan dengan merancang sebuah sistem solar tracking dual axis menggunakan ESP32 dengan menggunakan metode Fuzzy Logic Mamdani, dan hasil produksi panel surya dapat ditampilkan melalui HMI Haiwel Clouds Scada dengan protokol Modbus RTU serta dilengkapi dengan pencatatan data sebagai fitur data report.

2. METODE PENELITIAN

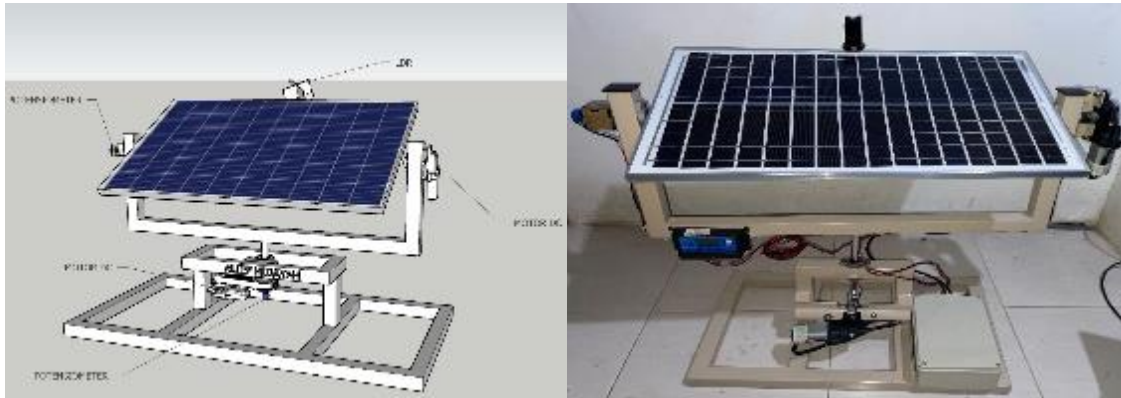
Pada tahap penelitian ini akan membahas mengenai perancangan Solar tracker dual axis dengan kendali fuzzy logic mamdani serta dilakukan pengumpulan referensi yang relevan. Data yang dihimpun melalui dari beberapa sumber, termasuk jurnal, buku, skripsi dan berbagai informasi mengenai penelitian sebelumnya. Setelah itu dilakukanlah perancangan sistem dalam bentuk prototype. Kemudian melakukan pengujian serta evaluasi terhadap data yang didapat. Jika dari data yang diambil tidak terdapat kesalahan maka dapat diambil kesimpulan.

2.1 Perancangan Sistem

Pada perancangan ini menggunakan ESP32 sebagai sistem kendali utama, memanfaatkan sensor LDR sebagai penentu arah cahaya matahari, dan gearbox dc sebagai penggeraknya. Selain itu pada sistem monitoring sistem ini menggunakan Haiwel Clouds Scada, dimana Haiwel Clouds

2.3 Desain Perancangan Solar Tracker Dual Axis

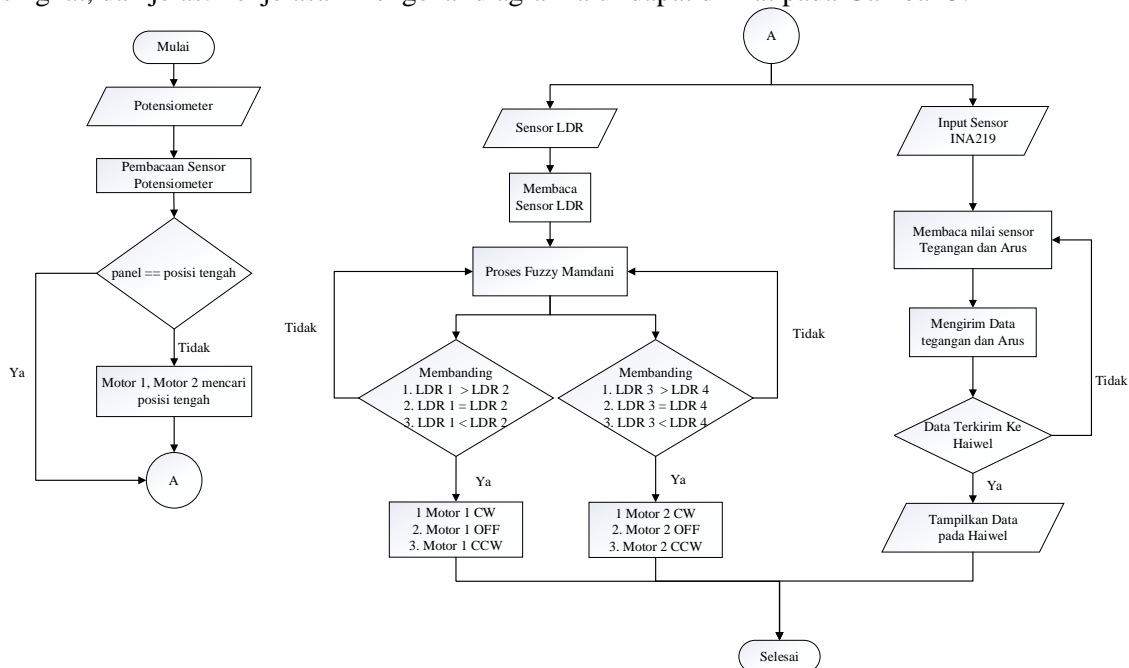
Pada penelitian ini digunakan panel surya bertipe Polycrystasline untuk produksi daya pada perancangan solar tracker dual axis. Spesifikasi panel surya yang digunakan pada perancangan solar tracker dual axis ini adalah panel surya dengan daya 30 Wp (watt peak). Desain rancangan dapat dilihat pada Gambar 4, dimana perancangan rangka akan menggunakan material besi hollow berukuran 4 cm x 4 cm dengan tebal 1 mm.



Gambar 4 Desain Perancangan Solar Tracker Dual Axis

2.4 Diagram Alur Proses Kerja Sistem

Diagram alur adalah sebuah rangkaian proses petunjuk tentang bagaimana sebuah sistem tersebut berjalan. Secara umum diagram alur memberikan gambaran yang terperinci mengenai urutan proses kerja dari sistem yang telah dibuat. Tujuan utama dari pembuatan diagram alur ini adalah menjelaskan secara rinci langkah – langkah penyelesaian masalah secara terstruktur, singkat, dan jelas. Penjelasan mengenai diagram alur dapat dilihat pada Gambar 5.



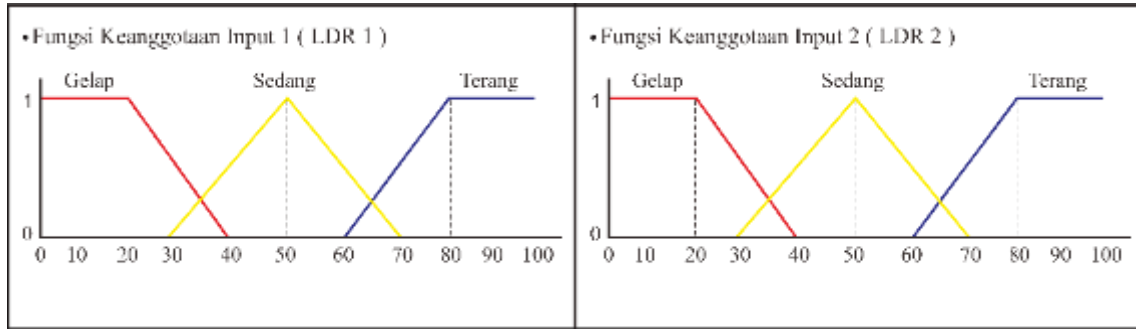
Gambar 5 Diagram Alur Proses Kerja Sistem

2.5 Perencanaan Metode Fuzzy Mamdani

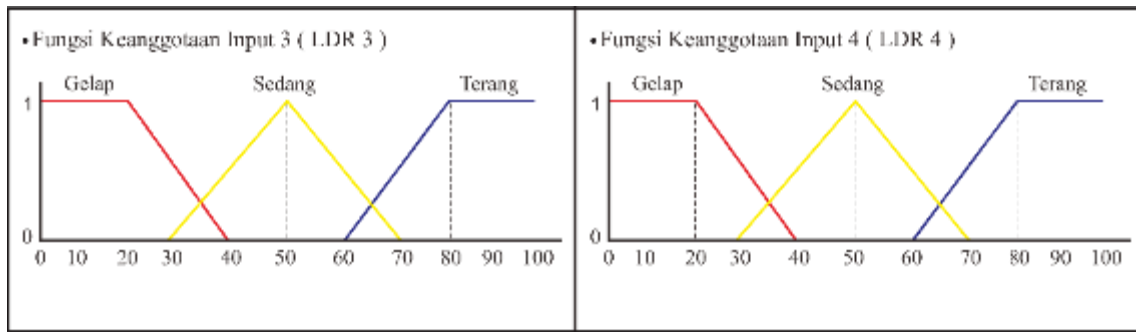
Dalam rancangan logika fuzzy mamdani, terdapat tiga komponen utama, yaitu fuzzifikasi, rule base, dan proses defuzzifikasi. Pada penelitian ini logika fuzzy digunakan sebagai penentu jalannya sebuah sistem yang diimplementasikan menggunakan ESP-32.

2.5.1 Fuzzifikasi

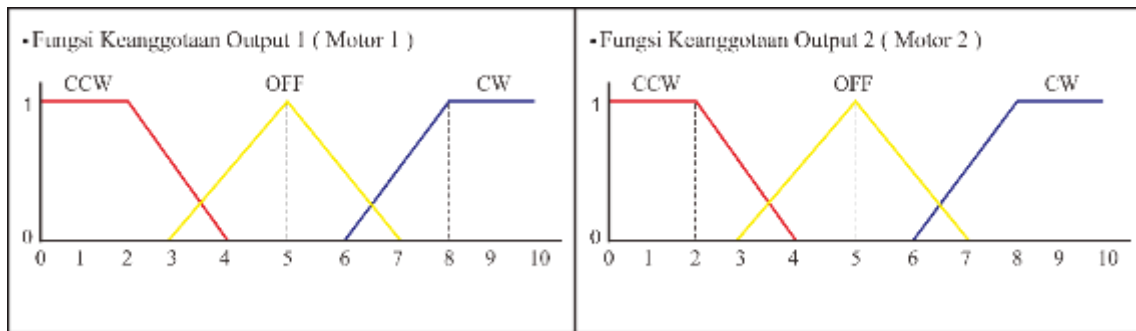
Proses fuzzifikasi adalah tahapan sistem logika fuzzy dimana variabel numerik diubah menjadi variabel *linguistik* atau fuzzy [8]. Ini dilakukan dengan cara menentukan fungsi keanggotaan yang menghubungkan nilai numerik input dengan himpunan – himpunan fuzzy yang ada, pada fungsi keanggotaan input dan output dapat dilihat pada Gambar 6 - Gambar 8.



Gambar 6 Fungsi Keanggotaan Input 1 dan Input 2



Gambar 7 Fungsi Keanggotaan Input 3 dan Input 4



Gambar 8 Fungsi Keanggotaan Output 1 dan Output 2

2.5.2 Rule Base

Rule base fuzzy adalah kumpulan aturan yang menghubungkan kondisi input dengan tindakan atau keputusan yang diambil berdasarkan logika fuzzy. Aturan-aturan ini membantu sistem logika fuzzy untuk menginterpretasikan input fuzzy menjadi output fuzzy yang relevan [9]. Pada sistem solar tracker dual axis ini didapatkan 18 rules atau aturan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Rule Base Fuzzy

No.	IF	LDR1	AND	LDR2	AND	LDR3	AND	LDR4	THEN	MOTOR1	THEN	MOTOR2
1	IF	GELAP	AND	GELAP	AND	NONE	AND	NONE	THEN	OFF	THEN	NONE
2	IF	SEDANG	AND	GELAP	AND	NONE	AND	NONE	THEN	CCW	THEN	NONE
3	IF	TERANG	AND	GELAP	AND	NONE	AND	NONE	THEN	CW	THEN	NONE

No.	IF	LDR1	AND	LDR2	AND	LDR3	AND	LDR4	THEN	MOTOR1	THEN	MOTOR2
4	IF	GELAP	AND	SEDANG	AND	NONE	AND	NONE	THEN	CW	THEN	NONE
5	IF	SEDANG	AND	SEDANG	AND	NONE	AND	NONE	THEN	OFF	THEN	NONE
6	IF	TERANG	AND	SEDANG	AND	NONE	AND	NONE	THEN	CCW	THEN	NONE
7	IF	GELAP	AND	TERANG	AND	NONE	AND	NONE	THEN	CW	THEN	NONE
8	IF	SEDANG	AND	TERANG	AND	NONE	AND	NONE	THEN	CW	THEN	NONE
9	IF	TERANG	AND	TERANG	AND	NONE	AND	NONE	THEN	OFF	THEN	NONE
10	IF	NONE	AND	NONE	AND	GELAP	AND	GELAP	THEN	NONE	THEN	OFF
11	IF	NONE	AND	NONE	AND	GELAP	AND	SEDANG	THEN	NONE	THEN	CCW
12	IF	NONE	AND	NONE	AND	GELAP	AND	TERANG	THEN	NONE	THEN	CCW
13	IF	NONE	AND	NONE	AND	SEDANG	AND	GELAP	THEN	NONE	THEN	CW
14	IF	NONE	AND	NONE	AND	SEDANG	AND	SEDANG	THEN	NONE	THEN	OFF
15	IF	NONE	AND	NONE	AND	SEDANG	AND	TERANG	THEN	NONE	THEN	CCW
16	IF	NONE	AND	NONE	AND	TERANG	AND	GELAP	THEN	NONE	THEN	CW
17	IF	NONE	AND	NONE	AND	TERANG	AND	SEDANG	THEN	NONE	THEN	CW
18	IF	NONE	AND	NONE	AND	TERANG	AND	TERANG	THEN	NONE	THEN	OFF

2.5.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah langkah dalam sistem logika fuzzy yang akan mengubah output fuzzy menjadi nilai konkret yang digunakan dalam pengambilan keputusan atau pengendalian sistem. Pada penelitian ini, defuzzifikasi yang digunakan adalah defuzzifikasi dengan penalaran metode mamdani, dimana dalam metode mamdani ini digunakanlah metode centeroid. [10]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian awal adalah tahap evaluasi dari rancangan program yang bertujuan untuk mengetahui algoritma yang telah diprogram telah berjalan sesuai atau tidak, yang dimana mampu untuk mengendalikan motor dc sesuai datangnya cahaya matahari. Pada pengujian ini diambil dua metode pengujian, yaitu pengujian dengan sistem kendali fuzzy logic dan pengujian tanpa menggunakan sistem kendali fuzzy logic. Tujuan diambil dua metode ini untuk menguji apakah penggunaan sistem kendali fuzzy logic dapat meningkatkan efisiensi panel surya dibandingkan tanpa sistem kendali fuzzy logic. Pengujian dilakukan di waktu yang sama, dimulai dari pukul 07.00 hingga pukul 16.00 WIB, namun dilakukan pada hari yang berbeda dalam bulan Februari 2024. Lokasi pengujian adalah di rumah peneliti yang berada di Desa Cerme Kidul, Kota Gresik, Jawa Timur.



Gambar 9 Solar Tracker Tampak Depan dan Tampak Samping

3.1 Pengujian Sensor LDR

Pada pengujian sensor ini dilakukan pengambilan data tegangan yang dihasilkan dari output pembacaan sensor LDR yang didapatkan melalui pemrograman ESP32 yang ditampilkan melalui LCD dan hasil pembacaan dari alat ukur yaitu multimeter.



Gambar 10 Pengujian sensor LDR

Dari hasil pengujian diatas didapatkan data sebagai berikut :

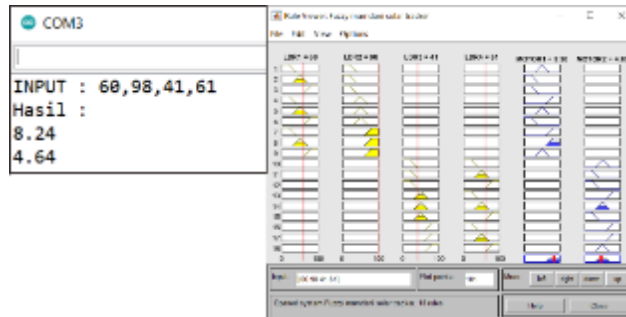
Tabel 2 Hasil Pengujian Output Tegangan Pada Sensor LDR

No.	Kondisi	Tegangan dari ADC (V)	Tegangan dari multimeter	Error (%)
1	Gelap	0.09 V	0.09 V	0%
2	Redup	2.02 V	2.03 V	0.49%
3	Terang	4.09 V	4.09 V	0%

Dari hasil data diatas dilakukan pembacaan output tegangan dari sensor ldr yang ditampilkan melalui lcd dan dibandingkan dengan pembacaan tegangan menggunakan multimeter. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan persentase error yaitu, Gelap 0%, Redup 0,49 %, dan Terang 0%.

3.2 Pengujian Fuzzy Mamdani

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian data dari empat sensor LDR yang akan dibandingkan dengan hasil dari proses menggunakan matlab dengan program menggunakan ESP-32 yang ditampilkan melalui serial monitor.



Gambar 11 Pengujian Fuzzy Mamdani

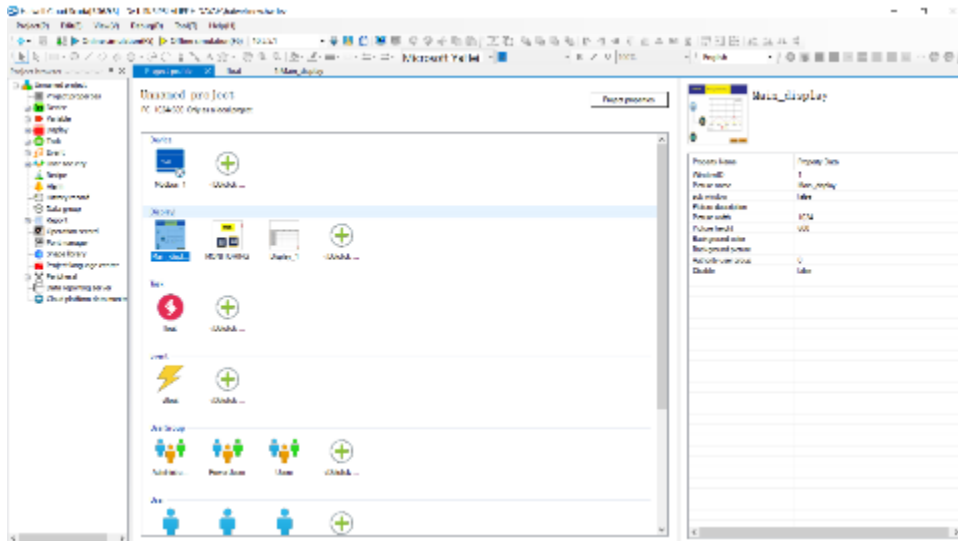
Tabel 3 Data Pengujian Fuzzy Mamdani

No.	Nilai Sensor LDR (LDR1, LDR2, LDR3, LDR4)	Output Sistem ESP-32		Output Matlab		ERROR (%)	
		Motor 1	Motor 2	Motor 1	Motor 2	Motor 1	Motor 2
1	LDR 1 = 60, LDR 2 = 98, LDR 3 = 41, LDR 4 = 61	8,24	4,64	8,26	4,65	0,24 %	0,21 %
2	LDR 1 = 9, LDR 2 = 54, LDR 3 = 56, LDR 4 = 4	8,37	8,33	8,39	8,35	0,23 %	0,24 %

Dari hasil pengujian diatas diambil dua kali percobaan dengan membandingkan nilai output yang dihasilkan oleh sistem fuzzy pada program ESP32 dengan hasil matlab. Pengujian pertama didapatkan persentase error pada output motor 1 sebesar 0,24 % dan pada output motor 2 sebesar 0,21 %, pada percobaan kedua didapatkan error pada output motor 1 sebesar 0,23 % dan pada output motor 2 sebesar 0,24 %.





3.3 Pengujian Tampilan

Pada tahap ini akan diambil pengujian output tampilan monitoring HMI dengan mengambil data tegangan dan arus yang akan dibandingkan dengan multimeter. Dilakukan pengujian ini untuk mengetahui kesesuaian antara output yang dihasilkan oleh panel surya dengan output yang ditampilkan pada software haiwel clouds scada atau monitoring HMI.



Gambar 12 Pengujian Output Tampilan HMI

Tabel 4 Pengujian Output Tampilan HMI dengan Multimeter

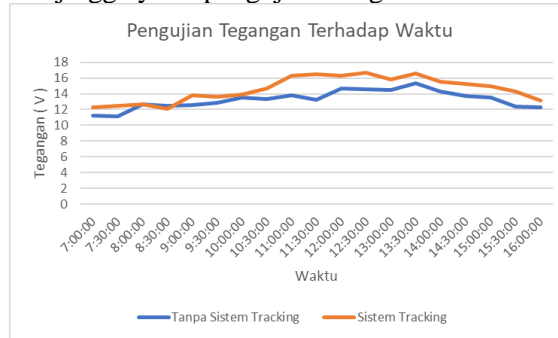
Output Tampilan HMI	Multimeter		Kesesuaian	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Ya	Tidak
 Gambar 13 Pengujian Tampilan Pertama	 Gambar 14 Pengujian Pertama Dengan Multimeter	✓		
 Gambar 15 Pengujian Tampilan Kedua	 Gambar 16 Pengujian Kedua Dengan Multimeter	✓		

Dari hasil pengujian tampilan diatas diambil dua kali pengujian, pengujian pertama output tampilan HMI menampilkan tegangan sebesar 12,02 V dan arus sebesar 0,89 A kemudian hasil dari pengukuran menggunakan multimeter didapatkan tegangan sebesar 12,02 V dan arus sebesar 0,89 A, Pengujian kedua dari output tampilan HMI menampilkan tegangan sebesar 16,03 V dan arus sebesar 1,19 A kemudian hasil pengukuran dari multimeter didapatkan tegangan sebesar 16,03 V dan arus sebesar 1,19 A, dimana pada sistem pengujian ini tampilan HMI sudah sesuai dengan hasil yang telah dibandingkan dengan multimeter.

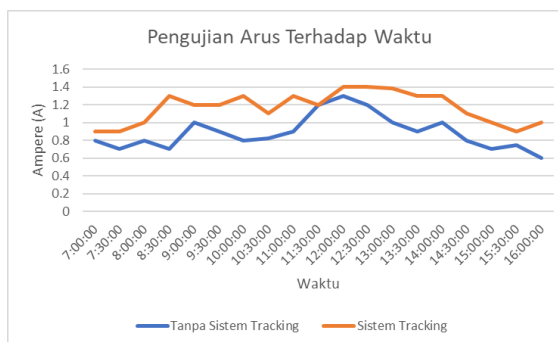
3.4 Pengujian Sistem Solar Tracking

Pada tahap pengujian ini dilakukan dengan dua metode pengambilan data tegangan dan arus yaitu, pengambilan data menggunakan sistem tracking dan pengambilan data tanpa sistem tracking. Dilakukan dua metode pengambilan data ini bertujuan untuk mengetahui apakah panel surya dengan sistem tracking lebih efisien daripada panel surya tanpa sistem tracking.

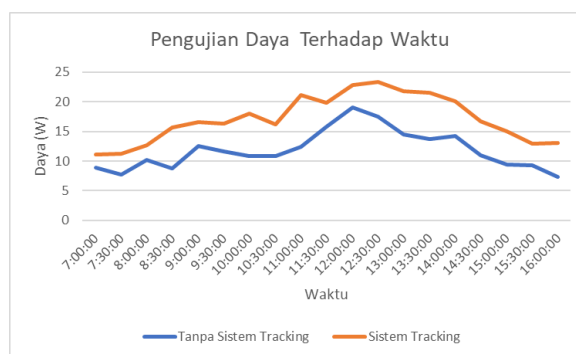
Untuk pengambilan data dilakukan di waktu yang sama pada pukul 07.00 WIB – 16.00 WIB dengan hari yang berbeda, dimana pencatatan data diambil setiap 30 menit sekali. Pada pengambilan data ini diambil tiga parameter yaitu, tegangan, arus, dan daya. Pada pengujian ini ditampilkan dalam sebuah grafik dimana grafik yang berwarna biru yaitu pengujian tanpa sistem tracking dan yang berwarna jingga yaitu pengujian dengan sistem tracking.



Gambar 17 Grafik Tegangan Panel Surya dengan Sistem Tracking dan Tanpa Sistem Tracking



Gambar 18 Grafik Arus Panel Surya dengan Sistem Tracking dan Tanpa Sistem Tracking



Gambar 19 Grafik Daya Panel Surya dengan Sistem Tracking dan Tanpa Sistem Tracking

Pada hasil pengujian panel surya tanpa menggunakan sistem tracking ditampilkan dalam tiga grafik yang dapat dilihat pada Gambar 17 hingga Gambar 19. Tanpa adanya sistem tracking, tegangan rata – rata yang terukur adalah 13,3 V, arus rata-rata 0,9 A, dan daya rata-rata 12,15 Watt. Saat data panel surya diambil dengan menggunakan sistem tracking yang dikendalikan oleh fuzzy mamdani, tegangan rata-ratanya meningkat menjadi 14,6 V, arus rata-ratanya menjadi 1,2 A, dan daya rata-ratanya menjadi 17,4 Watt.

Dari analisa Gambar 17 hingga Gambar 19, terlihat bahwa penggunaan sistem tracking, khususnya dengan kendali fuzzy mamdani, meningkatkan efisiensi panel surya dengan menjaga posisi panel secara optimal menghadap matahari. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan daya sebesar 43,21% ketika panel surya menggunakan sistem tracking dengan kendali fuzzy mamdani.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari pembahasan diatas maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem solar tracker dual axis dengan kendali fuzzy mamdani yang menggunakan ESP 32 telah sukses dilakukan dan berjalan dengan baik. Hal ini menunjukkan dimana potensi implementasi algoritma fuzzy logic dapat meningkatkan efisiensi produksi daya dengan memanfaatkan sistem tracking.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan sistem tracking fuzzy logic mengalami peningkatan sebesar 43,21% dibandingkan tanpa menggunakan sistem tracking.
3. Tegangan, arus dan daya dapat dimonitoring menggunakan haiwel clouds scada. Pada sistem ini juga sudah dilengkapi dengan pencatatan data secara realtime.

Saran yang diberikan penulis kepada peneliti selanjutnya untuk dilakukan pengembangan dengan sistem yang berbeda, seperti dapat ditambahkannya sebuah sistem pembersih debu pada panel surya secara otomatis. Langkah ini dirasa penulis dapat meningkatkan efisiensi panel surya dengan memastikan bahwa permukaan panel tetap bersih dan mampu menghasilkan daya secara maksimal dalam kondisi apapun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Musta'al Rahmatullah, "Rancang Bangun Dan Analisa Unjuk Kerja Single Axis Solar Tracker Berbasis Logika Rancang Bangun Dan Analisa Unjuk Kerja Single Axis Solar Tracker Berbasis Logika," pp. 1–57, 2021.
- [2] R. Andika *et al.*, "Optimasi Daya Pada Panel Surya Dengan Solar Tracker System Dual Axis Menggunakan Metode Fuzzy Logic Controller," vol. 7, no. 2, 2021, doi: 10.5281/zenodo.4657052.
- [3] A. I. Saputra, I. Hidayat, and W. Priharti, "Perancangan Single Axis Solar Tracker Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Arduino Guna Mengoptimalkan Output Daya Pada Panel Surya," *e-Proceeding Eng.*, vol. 9, no. 5, pp. 2225–2233, 2022.
- [4] A. I. Rizkianto, E. Endryansyah, B. Suprianto, and P. W. Rusimamto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Tracking Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic Controller Berbasis ESP32," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 126–135, 2022, doi: 10.26740/jte.v11n1.p126-135.
- [5] P. Sudibyo, Y. Shalahuddin, and M. Yahya, "Panel Pv Berpenjejak Single Axis Menggunakan Kendali Fuzzy Logic," *JTECS J. Sist. Telekomun. Elektron. Sist. Kontrol Power Sist. Komput.*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [6] M. A. Prasetyo and H. K. Wardana, "Rancang Bangun Monitoring Solar Tracking System Menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis IoT," *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 4, no. 2, p. 163, 2021, doi: 10.24853/resistor.4.2.163-168.
- [7] G. B. Ardina, "Rancang Bangun Dual Axis Solar Tracker Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Semin. Has. Elektro S1 ITN Malang*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2019.
- [8] E. Anggita, Denda Dewatama, and Mila Fauziyah, "Pengimplementasian Tegangan Keluaran Panel Surya Dengan Topologi Zeta Konverter Menggunakan Kontrol Logika

- Fuzzy,” *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 25, no. 1, pp. 92–102, 2023, doi: 10.24912/tesla.v25i1.23307.
- [9] A. N. Achadiyah and M. S. A. Sari, “Perancangan Solar Tracker Photovoltaic Cells Dengan Metode Fuzzy Logic,” *J. Teknol. Terap. G-Tech*, vol. 2, no. 2, pp. 134–139, 2020, doi: 10.33379/gtech.v2i2.333.
- [10] R. T. Jurnal, “Implementasi Logika Fuzzy Untuk Sistem Otomatisasi Pengaturan Pengisian Baterai Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 111–119, 2018, doi: 10.33322/energi.v9i2.41.
- [11] R. Nuraeni *et al.*, *PEMANFAATAN ENERGI MATAHARI MELALUI PANEL SURYA DENGAN BEBAN MESIN PENERING LARVA BSF SKRIPSI*, vol. 2, no. 1. 2017.
- [12] R. A. Nadialista Kurniawan, *RANCANG BANGUN SOLAR TRACKER BERBASIS ARDUINO UNO MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY METODE MAMDANI*, vol. 3, no. 1. 2021.
- [13] M. T. Setiawan, I. Winarno, and B. Y. Dewantara, “Implementasi Internet Of Things Dalam Rancang Bangun Sistem Monitoring Pada Solar Cell Berbasis Web,” *JEECOM J. Electr. Eng. Comput.*, vol. 3, no. 1, pp. 34–38, 2021, doi: 10.33650/jecom.v3i1.1981.
- [14] L. Arini and P. P. Chrisna, “Rancang Bangun Solar Tracker Satu Axis Dengan Media Pemberat Air,” 2019, [Online]. Available: http://repository.polman-babel.ac.id/id/eprint/167/1/ARINI_CHRISNA_PA2019.pdf
- [15] M. Mungkin, H. Satria, J. Yanti, G. B. A. Turnip, and S. Suwarno, “Perancangan Sistem Pemantauan Panel Surya Polycrystalline Menggunakan Teknologi Web Firebase Berbasis IoT,” *INTECOMS J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 319–327, 2020, doi: 10.31539/intecom.v3i2.1861.