

# Implementasi Sistem *Solar Tracking* Menggunakan Arduino Nano dengan Sistem Kontrol Single Axis Untuk Mendapatkan Energi Terbesar

Jeremy Pieter Hutahaean  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
pieterje@student.telkomuniversity.ac.id

Erwin Susanto  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
erwinelektro@telkomuniversity.ac.id

Irwan Purnama  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
irwanp@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** -- Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan, salah satunya melalui optimalisasi panel surya. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem *solar tracking* berbasis Arduino Nano dengan kontrol *single axis* untuk meningkatkan efisiensi penangkapan energi matahari. Sistem dirancang menggunakan dua sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya, aktuator linear 12V sebagai penggerak panel, dan algoritma logika fuzzy Mamdani untuk mengendalikan posisi panel secara optimal. Pengujian dilakukan selama 8 jam (08.00-16.00 WIB) dengan membandingkan performa solar tracker terhadap panel surya statis pada berbagai kondisi cuaca. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem solar tracker menghasilkan potensial energi yang dapat disimpan sebesar 341.21 sedangkan panel statis hanya menghasilkan 229.09 Wh. *Solar tracker* terbukti mampu meningkatkan efisiensi energi sebesar 48.94% dibandingkan panel surya statis. Sistem ini tetap mempertahankan keunggulannya bahkan dalam kondisi cuaca mendung. Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi *solar tracking* system dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya secara signifikan dan memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan.

**Kata Kunci:** Arduino Nano, Efisiensi energi, Logika fuzzy, Panel surya, Single axis, *Solar tracking*

## I. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan sehari-hari bagi manusia, dan kebutuhan energi dunia terus meningkat dari hari ke hari karena perkembangan masyarakat yang lebih lanjut, kondisi kehidupan umat manusia yang lebih baik, keinginan terus-menerus untuk industrialisasi di negara-negara berkembang, dan pertumbuhan populasi yang terus berlanjut. Energi merupakan faktor penting bagi pembangunan industri dan sosial ekonomi suatu negara. Bahan bakar fosil saat ini merupakan sumber pembangkit listrik terbesar.[1]Menurut Energi Information Administration (EIA), konsumsi energi diperkirakan masih didominasi oleh bahan bakar fosil yaitu minyak bumi, gas alam, dan batu bara hingga tahun 2025. Meskipun cadangan batu bara masih besar, penggunaan bahan bakar batu bara, yang merupakan sumber emisi karbon dioksida global, menimbulkan dampak pemanasan global. [2]

Energi surya dapat dijadikan salah satu solusi yang tepat karena tersedia dalam jumlah yang tidak terbatas di alam. Salah satu

pendekatan teknologi untuk memanfaatkan energi surya yaitu penggunaan sel surya. Sel surya merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya menghasilkan energi listrik tergantung pada intensitas cahaya yang diterimanya dari sinar matahari. Untuk memanfaatkan energi matahari secara optimal, sel surya harus mengikuti arah datangnya sinar matahari. Semakin banyak intensitas sinar matahari yang ditangkap sel surya, semakin besar pula daya yang dihasilkannya[3]. Pada umumnya peletakan posisi panel surya dibuat tetap (tidak bergerak) sehingga tidak bisa mengikuti arah datangnya matahari, kejadian ini membuat panel surya kurang maksimal menangkap cahaya matahari dan membuat energi listrik yang dihasilkan lebih kecil[4].

## II. KAJIAN TEORI

Menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul ditulis dalam abjad.

### A. Fotovoltaik

Sistem fotovoltaik mengubah sinar matahari menjadi energi listrik melalui sel semikonduktor berlapis. Ketika cahaya mengenai sel, medan listrik terbentuk di antara lapisan sehingga memungkinkan aliran listrik[5]. Daya input panel surya ditentukan oleh intensitas cahaya matahari ( $I_{rad}$ ) dan luas penampang panel ( $A$ ), dengan rumus:

$$P_{in} = I_{rad} \times A \quad (1)$$

Sedangkan daya output fotovoltaik dihitung dari tegangan dan arus yang dihasilkan:

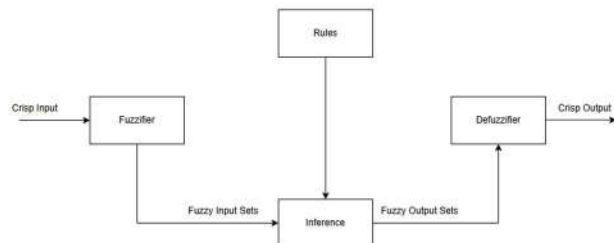
$$P_{out} = V_{pv} \times I_{pv} \quad (2)$$

### B. Sistem *Solar Tracking*

*Solar Tracking* merupakan sebuah teknologi yang mampu untuk menggerakkan sebuah panel surya agar dapat mengikuti pergerakan dari arah datangnya cahaya matahari [12]. Posisi matahari di langit terus berubah seiring waktu mengikuti sudut elevasi. Agar panel surya dapat berfungsi secara optimal, panel perlu selalu menghadap ke arah matahari. *Solar tracker* membantu mengarahkan panel surya secara efektif sesuai dengan posisi matahari yang telah ditentukan. Secara umum, terdapat dua jenis utama *solar tracker*, yaitu *single axis solar tracker* dan *dual axis solar tracker* [6].

C. Logika Fuzzy

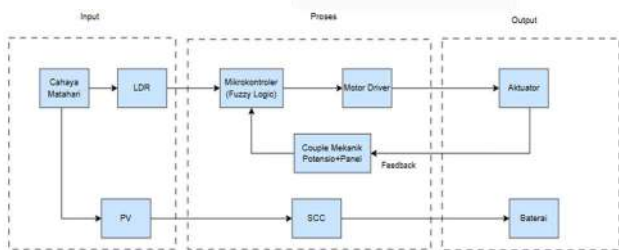
Logika fuzzy merupakan salah satu metode kendali yang dapat digunakan untuk solar tracker. Metode ini memberikan solusi dari keterbatasan logika konvensional yang hanya mengenal dua kondisi mutlak (benar dan salah), sehingga tidak dapat merepresentasikan kondisi nyata yang sering berada di antara keduanya. Logika fuzzy meniru cara manusia dalam mengambil keputusan, khususnya saat menghadapi kondisi tidak pasti atau samar, dimana nilai tidak hanya dibatasi pada 1 atau 0, melainkan dapat berada di antaranya menggunakan himpunan fuzzy dengan derajat keanggotaan tertentu. Terdapat dua metode umum dalam logika fuzzy: Mamdani dan



GAMBAR 1 Fuzzy Logic Diagram

Sugeno. Perbedaan utama terletak pada output Fuzzy Inference System (FIS), dimana Mamdani menghasilkan himpunan fuzzy sedangkan Sugeno menghasilkan konstanta atau persamaan matematis. Penelitian ini menggunakan metode Mamdani karena outputnya dapat direpresentasikan sebagai angka hasil defuzzifikasi. Berdasarkan Gambar 2.5, implementasi logika fuzzy melibatkan tiga proses utama: Fuzzification (mengubah crisp input menjadi fuzzy input sets), Inference (memproses fuzzy input menggunakan rules untuk menghasilkan fuzzy output sets), dan Defuzzification (mengubah fuzzy output menjadi crisp output).

III. METODE



GAMBAR 2 Diagram Blok

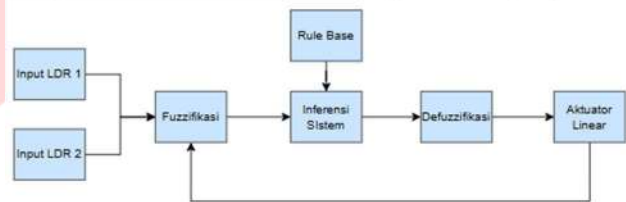
A. Diagram Blok

Berdasarkan Gambar 2, Sistem solar tracking menggunakan metode kontrol fuzzy logic dengan feedback sudut terdiri dari tiga bagian utama yang terintegrasi dalam sistem kontrol loop tertutup. Terdapat input, Proses, dan Output. Pada bagian input, sensor LDR mendeteksi intensitas cahaya matahari untuk menentukan error posisi panel, sementara panel PV menangkap cahaya dan mengubahnya menjadi energi listrik DC. Lalu ke bagian proses merupakan inti sistem dimana mikrokontroler menjalankan algoritma fuzzy logic dengan menerima dua input yaitu data sensor LDR sebagai informasi error dan data potensiometer sebagai feedback sudut aktual. Data ini akan melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi fuzzy berdasarkan rule base, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan sinyal kontrol PWM/digital ke motor driver. Pada jalur energi, Solar Charge Controller (SCC) mengatur pengisian baterai dengan melakukan regulasi tegangan dan arus serta memberikan proteksi overcharge. Pada bagian output, aktuator Linear menggerakkan panel surya ke posisi optimal yang ditentukan

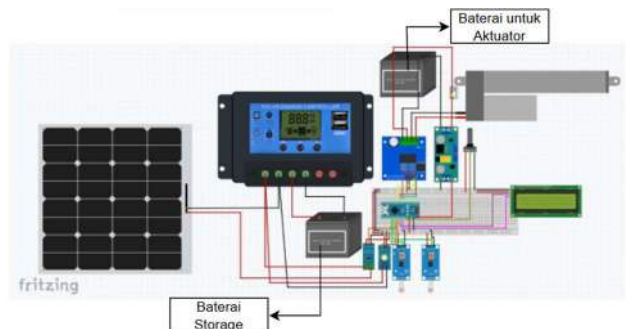
algoritma fuzzy logic, sementara SCC menyalurkan daya listrik ke baterai untuk penyimpanan energi.

B. Diagram Kontrol Sistem

Pada gambar 3, Proses kontrol sistem dimulai dari input data analog sensor LDR yang mendeteksi selisih intensitas cahaya antara dua sensor pada panel dalam bentuk nilai crisp (ADC). Pada tahap fuzzifikasi, nilai crisp dari LDR dikonversi menjadi himpunan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Nilai error cahaya dipetakan ke dalam kategori linguistik seperti Negatif Besar, Negatif Kecil, Nol, Positif Kecil, dan Positif Besar, dengan derajat keanggotaan antara 0 hingga 1 yang merepresentasikan kekuatan nilai input dalam setiap kategori. Lanjut ke tahap inferensi sistem memproses nilai fuzzy menggunakan rule base yang berisi sekumpulan aturan IF-THEN sebagai knowledge base sistem. Contohnya: "IF error cahaya adalah Negatif Kecil THEN motor bergerak counterclockwise dengan kecepatan lambat". Proses inferensi mengevaluasi semua aturan yang aktif dan menghasilkan output fuzzy. Di tahap terakhir dari Fuzzy Logic yaitu tahap defuzzifikasi mengubah output fuzzy menjadi nilai crisp berupa sinyal PWM yang menentukan kecepatan dan arah pergerakan aktuator. Sinyal PWM ini dikirim ke motor driver untuk menggerakkan linear actuator sesuai keputusan fuzzy logic.



GAMBAR 3 Diagram Kontrol Sistem



GAMBAR 4 Design Hardware

C. Design Hardware

Pada gambar 4 ditunjukkan design hardware suatu sistem menggunakan komponen-komponen antara lain dua sensor LDR, mikrokontroler Arduino Nano, motor driver BTS7960, aktuator linear 12V, terminal blok, satu Baterai aki kering, Potensiometer dan modul stepdown. Komponen ini dirangkai menjadi suatu alat untuk menggerakkan panel surya mengikuti Cahaya matahari dengan konsep single axis.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor LDR

TABEL 1  
Data Pengelompokkan Nilai Lux

No	Lux Meter	Keterangan
1	8.000-35.999	Sangat Redup
2	36.000-63.999	Redup
3	64.000-89.999	Normal
4	90.000-119.999	Cerah
5	120.000-150.000	Sangat Cerah

Pada tabel 1, sensor ldr menggunakan pendekatan pengelompokkan nilai ADC berdasarkan kategori intensitas cahaya dari lux meter. Nilai ADC dari sensor LDR dikategorikan menjadi 5 kelompok: Negatif Besar, Negatif Kecil, Zero, Positif Kecil, Positif Besar. Pengelompokkan ini dilakukan dengan mengacu pada pengukuran lux meter sebagai standar referensi, sehingga setiap rentang nilai ADC dapat merepresentasikan tingkat intensitas cahaya yang terukur secara akurat.

TABEL 1  
Data ADC dan Luxmeter

No	Target Lux	ADC1	ADC2
1	9234	68	87
2	13.456	65	85
3	17.892	63	82
4	21.345	59	78
5	26.789	57	74
6	34.567	54	71
7	43.218	52	68
8	52.345	49	60
9	61.234	46	53
10	73.456	42	45
11	86.543	40	40
12	98.765	35	36
13	115.432	21	25
14	133.456	14	18
15	148.765	10	13

Hasil pengukuran dari tabel 2 menunjukkan bahwa kedua sensor LDR (ADC1 dan ADC2) memberikan pembacaan nilai ADC yang berbeda walaupun intensitas cahaya dari lux meter sama. Hal ini terjadi karena masing-masing sensor memiliki karakteristik dan tingkat kepekaan yang tidak sama persis, dipengaruhi oleh toleransi komponen dan perbedaan sifat resistansi terhadap perubahan intensitas cahaya. Untuk mengatasi perbedaan karakteristik antar sensor, dilakukan pengelompokkan nilai ADC berdasarkan rentang intensitas cahaya dari lux meter. Tujuannya adalah membentuk kategori-kategori yang nantinya digunakan sebagai membership function pada sistem kontrol fuzzy logic. Cara ini lebih fleksibel dalam penerapannya karena tidak terpaku pada nilai ADC yang pasti untuk tiap sensor, tetapi lebih fokus pada kategori rentang yang menggambarkan kondisi pencahayaan secara keseluruhan.

B. Pengujian sensor Arus

TABEL 2  
Sensor Arus setelah di kalibrasi

No	Arus Referensi (A)	ADC Sensor	Arus Terkalibrasi (A)	Error (%)
1	1.5	521	1.5	0.03
2	3.6	567	3.59	0.28
3	0.8	506	0.81	1.19
4	4.3	584	4.41	2.56
5	2.1	534	2.09	0.48
6	0.4	497	0.39	2.5
7	3	554	3.02	0.67
8	1.9	529	1.87	1.58
9	4.8	593	4.81	0.21
10	2.6	545	2.63	1.15
Rata-rata error				1.065

Pengujian sensor arus dilakukan dengan mengambil 10 titik data pada rentang 0-5A. Setiap pengukuran mencatat arus referensi dari multimeter digital, nilai ADC sensor, dan arus terkalibrasi hasil perhitungan. Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan menggunakan persamaan kalibrasi memberikan nilai yang sangat mendekati pembacaan multimeter. Kalibrasi menggunakan metode regresi linear yang menghubungkan nilai ADC dengan arus sebenarnya (Ampere). Persamaan kalibrasi yang digunakan adalah:

$$y = mx + c \tag{3}$$

dimana y adalah arus (A), x adalah nilai ADC, m adalah slope yang menunjukkan sensitivitas sensor, dan c adalah intercept sebagai offset untuk mengkompensasi bias sensor. Rata-rata error yang didapatkan dari hasil kalibrasi nilai sensor arus sebesar 1.065%. Hal ini menunjukkan bahwa performa sensor arus yang baik dan dapat digunakan pada sistem yang dirancang.

C. Pengujian sensor Tegangan

TABEL 3  
Sensor Tegangan setelah di kalibrasi

No	MultiMeter (V)	Tegangan Kalibrasi(V)	Error (%)
1	0.8	0.93	2.50
2	2.5	2.6	4.00
3	4.7	4.6	2.13
4	6.3	6.4	1.59
5	8.9	8.7	2.25
6	11.2	11.1	0.89
7	14.5	14.5	0
8	17.1	16.9	1.17
9	19.8	19.4	2.02
10	23.2	23.6	1.72
Rata-rata error			1.827

Berdasarkan Tabel 4, kalibrasi sensor tegangan dilakukan pada 10 titik pengukuran dengan rentang 0.8-23.6V. Hasil menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan error maksimum 4.00% pada pengukuran 2.5V dan error minimum 0.00% pada 14.5V. Pada rentang tegangan rendah (0.8-2.5V), error sedikit lebih besar (2.50-4.00%) namun masih dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi praktis. Hal ini disebabkan pengaruh noise dan keterbatasan resolusi ADC yang lebih dominan pada rentang rendah.

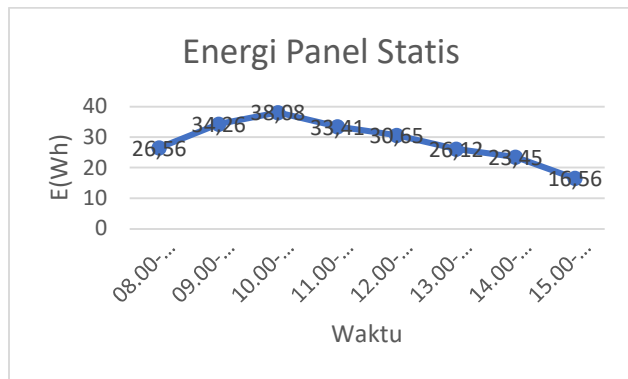
Kalibrasi menggunakan metode regresi polinomial orde 2 dengan persamaan:

$$y = ax^2 + bx + c \tag{4}$$

dimana y adalah tegangan (V), x adalah nilai ADC, a adalah koefisien kuadratik, b adalah koefisien linear, dan c adalah konstanta/intercept. Rata-rata error yang didapatkan dari hasil kalibrasi nilai sensor Tegangan sebesar 1.827%. Hal ini menunjukkan bahwa performa sensor yang baik dan dapat digunakan dalam sitem yang dirancang.

Rata-rata error yang didapatkan dari hasil kalibrasi nilai sensor Tegangan sebesar 1.827%. Hal ini menunjukkan bahwa performa sensor yang baik dan dapat digunakan dalam sitem yang dirancang.

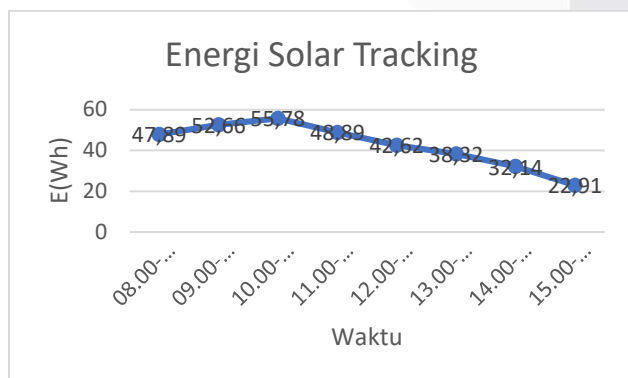
D. Pengujian Panel surya Statis



GAMBAR 5  
Energi dari Panel Statis

Berdasarkan Gambar 5, pada periode awal pukul 08.00-09.00, energi mengalami peningkatan bertahap di pagi hari, dimulai dari 26.56 Wh pada pukul 08.00-09.00, naik menjadi 34.26 Wh di jam 09.00-10.00, dan mencapai puncak produksi energi tertinggi sebesar 38.08 Wh pada pukul 10.00-11.00. Setelah mencapai puncak, grafik menunjukkan penurunan yang konsisten dan membentuk kurva menurun hingga sore hari. Energi turun menjadi 33.41 Wh di jam 11.00-12.00, kemudian mengalami penurunan yang lebih signifikan menjadi 30.65 Wh saat cuaca berubah mendung di pukul 12.00-13.00. Penurunan produksi energi cukup tajam menjadi 26.12 Wh pada pukul 13.00-14.00, 23.45 Wh di pukul 14.00-15.00, dan akhirnya mencapai titik terendah 16.56 Wh pada pukul 15.00-16.00. Total energi yang didapatkan selama 8 jam pengujian yaitu 229.09 Wh.

E. Pengujian Solar Tracking

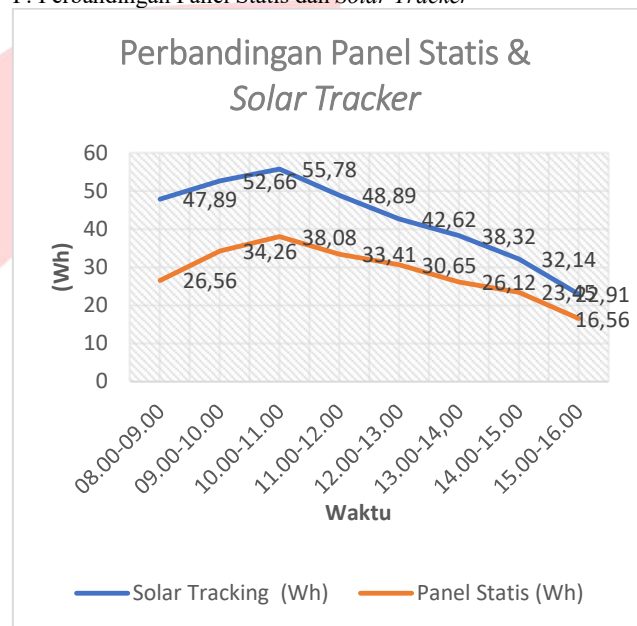


GAMBAR 6  
Grafik Energi dari Solar Tracking

Berdasarkan Gambar 6 diatas, di pagi hari sekitar pukul 08.00-09.00, sistem menghasilkan 47.89 Wh. Grafik menunjukkan tren

peningkatan produksi energi yang konsisten menuju 52.66 Wh di jam 09.00-10.00, dan mencapai puncak tertinggi 55.78 Wh pada pukul 10.00-11.00. Setelah mencapai puncak, grafik menunjukkan penurunan yang lebih signifikan dibandingkan fase kenaikan di pagi hari. Energi turun menjadi 48.89 Wh di jam 11.00-12.00, kemudian mengalami penurunan yang lebih tajam menjadi 42.62 Wh saat cuaca berubah mendung di pukul 12.00-13.00. Penurunan berlanjut dengan gradient yang konsisten menjadi 38.32 Wh, 32.14 Wh, dan mencapai titik terendah 22.91 Wh pada pukul 15.00-16.00. Penurunan ini diakibatkan kondisii cuaca yang semakin mendung dari pukul 12.00 hingga akhir periode yang mana mengurangi intensitas cahaya matahari yang berpengaruh pada produksi energi oleh panel surya meskipun sistem solar tracking sudah menyesuaikan posisi dengan sinar matahari. Total energi yang didapatkan selama 8 jam pengujian yaitu 341.21 Wh.

F. Perbandingan Panel Statis dan Solar Tracker



GAMBAR 7  
Grafik Perbandingan Sistem

Pada gambar 7, perbandingan menunjukkan perbedaan signifikan antara performa solar tracking dan panel statis sepanjang periode pengukuran. Pada periode awal pukul 08.00-09.00, solar tracking menghasilkan energi 52,2 Wh sementara panel statis hanya 32,96 Wh, menunjukkan selisih sebesar 19,24 Wh. Periode 09.00-10.00 menunjukkan pola menarik dimana kedua sistem mengalami penurunan, dengan solar tracking turun menjadi 33,91 Wh dan panel statis menjadi 23,66 Wh. Penurunan ini berhubungan dengan kondisii cuaca yang mendung. Puncak masing-masing sistem dapat memproduksi energi ada pada pukul 13.00-14.00. Terjadi penurunan setelah periode puncak dan dapat dilihat dari grafik, kedua sistem sama sama menurun dan terjadi penurunan yang signifikan

V. KESIMPULAN

Solar tracking system berhasil dirancang dan dapat bergerak otomatis mengikuti pergerakan matahari dengan baik. Hasil pengujian 8 jam menunjukkan solar tracker menghasilkan energi 341.21 Wh, atau 48.94% lebih tinggi dibandingkan panel statis (229.09 Wh). Meskipun kedua sistem terpengaruh perubahan cuaca, solar tracker tetap unggul karena kemampuannya menyesuaikan posisi untuk memaksimalkan penyerapan cahaya bahkan dalam kondisi kurang ideal.

## REFERENSI

- [1] K. Okokpujie, A. Elizabeth, A. I. Adekitan, and I. P. Okokpujie, "Efficient and Low Cost Implementation of a Single Axis Solar Tracking System." [Online]. Available: [www.jee.ro](http://www.jee.ro)
- [2] K. W. Fauzi, T. Arfianto, and N. Taryana, "Perancangan dan Realisasi Solar Tracking System Untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno," *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, vol. 4, no. 1, pp. 63–74, May 2018, doi: 10.15575/telka.v4n1.63-74.
- [3] F. Program Studi Rekayasa Sistem Komputer, "SOLAR CELL TRACKING SYSTEM DENGAN LUX METER BERBASIS ARDUINO UNO R3," vol. 7, no. 2, 2020.
- [4] E. Eko Prasetyo, G. Marausna, R. Rasmi, D. Rahmiullah, S. Tinggi, and T. Kedirgantaraan, "Analisis Perbandingan Hasil Daya Listrik Panel Surya Dengan Solar Tracker dan Tanpa Solar Tracker."
- [5] "Solar photovoltaic electricity empowering the world," 2011.
- [6] D. E. Myori, R. Mukhaiyar, and E. Fitri, "Sistem Tracking Cahaya Matahari pada Photovoltaic," *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 19, no. 1, pp. 9–16, Apr. 2019, doi: 10.24036/invotek.v19i1.548.
- [7] R. E. Laksono, "Rancang bangun solar tracker berbasis Arduino Uno dengan menggunakan metode real time clock," Undergraduate thesis, Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Univ. Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, Indonesia, 2022.
- [8] S. Widyawati Putri, G. Marausna, and E. Eko Prasetyo, "ANALISIS PENGARUH INTENSITAS CAHAYA MATAHARI TERHADAP DAYA KELUARAN PADA PANEL SURYA," *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 8, no. 1, pp. 29–37, Nov. 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.442.
- [9] W. S. Wiwin Syahputra Siregar, "Analisis perbandingan pembangkit listrik tenaga angin (generator 8 W) dan pembangkit listrik tenaga surya (polikristalin 20 WP) di Lubuk Pakam," Undergraduate thesis, Dept. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Univ. Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia, 2021.
- [10] K. F. Ullah, "Solar tracking system berbasis Arduino," Undergraduate thesis, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar, Makassar, Indonesia, 2017.
- [11] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. Retno Hastijanti, "PENGARUH PERUBAHAN INTENSITAS MATAHARI TERHADAP DAYA KELUARAN PANEL SURYA," 2015.
- [12] I. Ramli, F. Arya Samman, and S. Mawar Said, "Panel Surya dengan Sistem Pelacakan Arah Sinar Matahari." [25]
- [13] I. A. I. Saputra, I. N. S. Kumara, and W. G. Ariastina, "Perancangan single axis solar tracker menggunakan fuzzy logic berbasis Arduino guna mengoptimalkan output daya pada panel surya," in *Proc. e-Proceeding of Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 2223–, Oct. 2022.
- [14] M. Miftah, "OKTAL : Jurnal Ilmu Komputer dan Science Penerapan Fuzzy Logic Control Pada Prototype Solar Tracker Berbasis Arduino", [Online]. Available: <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/oktal>
- [15] R. A. Prasetyo, A. Stefanie, and W. N. Adzillah, "Optimasi daya pada panel surya dengan solar tracker system dual axis menggunakan metode fuzzy logic controller," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 7, no. 2, pp. [halaman], Apr. 2021, doi: 10.5281/zenodo.4657052.
- [16] L. D. Pratama and A. Soetedjo, "INTEGRASI SOLAR TRACKER DAN MPPT MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC."
- [17] L. Halim, "Initial Design of Dual-Axis Solar Tracker to Increase Efficiency of Monocrystalline Solar Panel Using Fuzzy Logic Method," *Journal FORTEI-JEERI*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, Dec. 2020, doi: 10.46962/forteijeeri.v1i2.17.
- [18] T. Elektro, U. Islam, S. Agung, and J. D. Nugroho, "LAPORAN TUGAS AKHIR RANCANG BANGUN ALAT PENGGERAK PANEL SURYA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO NANO MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY MAMDANI Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana S1 pada jurusan," 2024.
- [19] T. Alda, M. P. Siahaan, M. Bambang Bahjukit, R. Rajagukguk, E. K. A. C. Durbas, and P. A. Sitompul, "Inovasi single axis solar tracking system dengan sensor LDR sebagai alternatif energi listrik," *PASSA: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat dan Desa*, vol. 3, no. 2, pp. [halaman awal-akhir], [bulan] 2024.
- [20] Wendryanto, G. Widayana, and W. Sutapa, "Pengembangan penggerak solar panel dua sumbu untuk meningkatkan daya pada solar panel tipe polikristal," *JJTM*, vol. 5, no. 3, pp. Nov. 2017.
- [21] "Sensor Cahaya dengan LDR Light Sensor Module," SIPLah Blibli. [Online]. Available: <https://siplah.blibli.com/product/sensor-cahaya-dengan-ldr-light-sensor-module/SRCO-0023-00551>. [Accessed: Sept. 15, 2025].
- Arduino, "Arduino A000005 ARDUINO Nano," Amazon.com. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Arduino-A000005-ARDUINO-Nano/dp/B0097AU5OU>. [Accessed: Sept. 15, 2025].
- [23] Firgelli, "12VDC 12 Inch Stroke 150lb Premium Force Linear Actuator," RobotShop. [Online]. Available: <https://eu.robotshop.com/products/firgelli-12vdc-12-inch-stroke-150lb-premium-force-linear-actuator>. [Accessed: Sept. 16, 2025].
- [24] "Solar Panel Poly 100Wp," GriyaTekno. [Online]. Available: [https://www.griyatekno.com/solar-panel-c-148\\_149/solar-panel-poly-100wp-p-730.html](https://www.griyatekno.com/solar-panel-c-148_149/solar-panel-poly-100wp-p-730.html). [Accessed: Sept. 20, 2025].
- "Motor Driver BTS7960 H-Bridge 43A," Digiware Store. [Online]. Available: <https://digiwarestore.com/en/driver-modules/motor-driver-bts7960-h-bridge-43a-713514.html>. [Accessed: Sept. 20, 2025].
- [26] "Regulator Stepdown DC XL4015," Ecadio. [Online]. Available: <https://ecadio.com/regulator-stepdown-dc-xl4015>. [Accessed: Okt. 19, 2025].
- [27] "LCD Character 16x2 1602 Blue Backlight SPI I2C Module," Digiware Store. [Online]. Available: <https://digiwarestore.com/id/lcd-character/lcd-character-16x2-1602-blue-backlight-spi-i2c-module-712141.html>. [Accessed: Okt. 20, 2025].

- [28] "Baterai UPS SMT127 7.5Ah 12V 7.2Ah 12Volt AKI Kering OEM," Shopee Indonesia. [Online]. Available: <http://shopee.co.id/Baterai-UPS-SMT127-7.5Ah-12V-7.2Ah-12Volt-AKI-Kering-OEM-i.274250844.25757821178>. [Accessed: Okt. 20, 2025].
- [29] "Solar Charge Controller Waterproof 12V/24V For Boats," Alaska.it. [Online]. Available: <https://www.alaska.it/Solar-Charge-Controller-Waterproof-12V-24V-For-Boats-h-422828>. [Accessed: Okt. 24, 2025].
- [30] "ACS712 20A Sensor Arus," Aksesoris Komputer Lampung. [Online]. Available: <https://www.aksesoriskomputerlampung.com/2020/06/acs712-20a-sensor-arus.html>. [Accessed: Okt. 25, 2025].
- [31] "VOLTAGE SENSOR - Sensor Tegangan Voltage DC 0-25v Pendeteksi Volt Arduino Raspberry Pi," Lazada Indonesia. [Online]. Available: <https://www.lazada.co.id/products/voltage-sensor-sensor-tegangan-voltage-dc-0-25v-pendeteksi-volt-arduino-raspberry-pi-i5093214864.html>. [Accessed: Okt. 25, 2026].
- [32] "Potensiometer 10K," Ecadio. [Online]. Tersedia: <https://ecadio.com/jual-potensiometer-10k>. [Diakses: 14 Januari 2026].

