

ID: 56

Desain dan Pengembangan Solar Tracker Otomatis Berbasis ESP32 dengan Algoritma Astronomis untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya

Design and Development of an Automatic Solar Tracker Based on ESP32 with Astronomical Algorithm for Improving Solar Panel Efficiency

Nanang Rohadi

Electrical Engineering, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Padjadjaran
Sumedang 45363, Indonesia
Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Padjadjaran
nanang.rohadi@unpad.ac.id

Abstrak – Efisiensi panel surya statis terbatas akibat perubahan sudut datang sinar matahari sepanjang hari. Penelitian ini merancang dan mengembangkan sistem solar tracker otomatis satu sumbu berbasis mikrokontroler ESP32 dengan algoritma astronomis untuk mengoptimalkan penyerapan energi surya. Posisi matahari dihitung secara matematis berdasarkan koordinat geografis dan waktu lokal, kemudian dikonversi menjadi sudut azimut dan elevasi yang menggerakkan aktuator linear. Sensor inersia MPU6050 digunakan sebagai umpan balik sudut untuk mempertahankan posisi panel yang presisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti pergerakan matahari dengan rata-rata kesalahan pelacakan $\pm 0,4^\circ$, menghasilkan peningkatan daya keluaran sebesar 28,1%, serta efisiensi konversi energi meningkat dari 13,8% menjadi 17,6%. Dengan konsumsi daya rendah dan akurasi tinggi, sistem ini efektif dalam meningkatkan efisiensi panel surya dan layak diterapkan pada instalasi energi surya skala kecil hingga menengah.

Kata Kunci: Energi surya, solar tracker, ESP32, algoritma astronomis, efisiensi energi.

Abstract – The efficiency of static solar panels is limited by the varying incidence angle of sunlight throughout the day. This study presents the design and development of a single-axis automatic solar tracker based on an ESP32 microcontroller employing an astronomical algorithm to optimize solar energy absorption. The sun's position is mathematically determined from geographic coordinates and local time, converted into azimuth and elevation angles to drive a linear actuator. An MPU6050 inertial sensor provides angular feedback for precise panel alignment. Experimental results show that the system achieves an average tracking error of $\pm 0.42^\circ$, increases output power by 28.1%, and improves energy conversion efficiency from 13.8% to 17.6%. With low power consumption and high positional accuracy, the proposed system effectively enhances photovoltaic efficiency and is suitable for small- to medium-scale solar energy applications.

Keywords: Solar energy, solar tracker, ESP32, astronomical algorithm, energy efficiency.

1. Pendahuluan

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial karena ketersediaannya yang melimpah dan sifatnya yang berkelanjutan. Di Indonesia, intensitas rata-rata penyinaran matahari mencapai lebih dari 4,8 kWh/m² per hari [1], [2] sehingga menjadikannya alternatif strategis dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar

SENTER 2025, 04 November 2025, pp. 425-432

ISSN (p): 2985-4903

ISSN (e): 2986-2477

425



fosil. Namun demikian, efisiensi sistem fotovoltaik (PV) konvensional masih terbatas karena orientasi panel surya bersifat statis dan tidak dapat mengikuti perubahan posisi matahari sepanjang hari. Kondisi ini menyebabkan sudut datang cahaya tidak selalu tegak lurus terhadap permukaan panel, sehingga daya keluaran dapat menurun.

Salah satu solusi untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah dengan menggunakan sistem *solar tracker* yang mampu mengatur posisi panel surya agar selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari. Sistem pelacak berbasis *Light Dependent Resistor* (LDR) telah banyak digunakan karena strukturnya sederhana dan biayanya rendah. Namun, sistem ini kurang efektif pada kondisi cuaca berawan atau intensitas cahaya rendah [3]. Sebagai alternatif, pendekatan berbasis algoritma astronomis menawarkan keunggulan dalam hal akurasi dan ketahanan terhadap variasi lingkungan, karena posisi matahari dihitung secara matematis berdasarkan lintang, bujur, serta waktu lokal [4].

Kemajuan teknologi mikrokontroler seperti ESP32 memungkinkan penerapan sistem *solar tracker* berbasis algoritma astronomis dengan kemampuan komputasi tinggi, konsumsi daya rendah, serta konektivitas nirkabel yang terintegrasi. Dengan dukungan sensor inersia seperti MPU6050 dan aktuator linear, sistem ini dapat mengatur orientasi panel secara presisi dan adaptif terhadap perubahan posisi matahari secara waktu nyata. Pendekatan ini menjadikan sistem *solar tracker* lebih efisien dan stabil tanpa bergantung pada sensor cahaya eksternal.

Penelitian ini membahas perancangan dan pengembangan sistem *solar tracker* otomatis satu sumbu berbasis mikrokontroler ESP32 yang diintegrasikan dengan algoritma astronomis untuk mengoptimalkan penyerapan energi surya. Sistem ini menghitung sudut elevasi dan azimut matahari untuk menentukan posisi optimal panel, kemudian mengoreksi sudut kemiringan berdasarkan umpan balik dari sensor MPU6050. Metode penelitian menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* melalui tahapan perancangan, pembuatan prototipe, serta pengujian lapangan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti pergerakan matahari dengan rata-rata kesalahan sudut $\pm 0,6^\circ$ serta meningkatkan daya keluaran sebesar 30–40% dibandingkan dengan panel statis. Temuan ini membuktikan bahwa integrasi algoritma astronomis dengan sistem kendali berbasis ESP32 dapat meningkatkan akurasi pelacakan dan efisiensi konversi energi surya secara signifikan. Dengan demikian, sistem ini berpotensi diterapkan pada pembangkit energi surya skala kecil hingga menengah untuk mendukung efisiensi energi yang berkelanjutan.

2. Tinjauan Penelitian Terkait

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sistem fotovoltaik melalui pengembangan teknologi *solar tracker*. Sistem ini bertujuan menjaga posisi panel surya agar selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari, sehingga intensitas radiasi yang diterima dapat dimaksimalkan. Secara umum, pendekatan yang dikembangkan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pelacakan berbasis sensor cahaya dan pelacakan berbasis algoritma astronomis.

Sistem pelacak berbasis *Light Dependent Resistor* (LDR) bekerja dengan prinsip mendeteksi perbedaan intensitas cahaya pada beberapa titik sensor. Mikrokontroler kemudian mengatur motor penggerak agar panel bergerak ke arah dengan intensitas cahaya tertinggi [5]. S. Guduru. [6] melaporkan peningkatan daya keluaran menggunakan sistem pelacakan satu sumbu berbasis LDR dan motor servo. Namun, metode ini memiliki kelemahan dalam kondisi cuaca berawan atau ketika terdapat pantulan cahaya dari lingkungan sekitar, yang dapat menyebabkan kesalahan pelacakan. Secara teoritis, hubungan antara intensitas cahaya I yang diterima panel terhadap sudut datang sinar matahari (θ_i) mengikuti hukum kosinus sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) [7]):

$$I = I_0 \cos(\theta_i) \quad (1)$$

dengan I_0 adalah intensitas maksimum radiasi matahari (W/m^2), I adalah intensitas efektif pada permukaan panel, dan θ_i merupakan sudut datang sinar terhadap bidang panel. Persamaan ini menunjukkan bahwa semakin besar deviasi sudut, semakin kecil energi yang diterima, sehingga dibutuhkan sistem yang mampu menjaga posisi panel agar selalu tegak lurus terhadap matahari.

Sebagai alternatif dari metode sensor cahaya, pelacakan berbasis algoritma astronomis dikembangkan untuk menentukan posisi matahari secara matematis tanpa bergantung pada kondisi lingkungan. Sistem ini menghitung posisi matahari berdasarkan parameter lintang (ϕ), hari ke- n dalam tahun (DOY), serta waktu lokal (t). Beberapa parameter utama yang dihitung meliputi sudut deklinasi (δ), sudut elevasi (α), dan sudut azimut (Az). Perhitungan posisi matahari dirumuskan sebagai berikut [8]:

$$\delta = 23,44^\circ \times \sin\left(\frac{360}{365}(DOY - 81)\right) \quad (2)$$

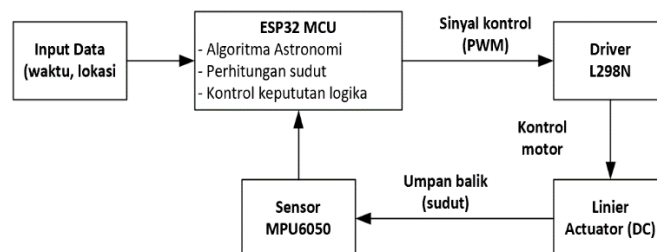
$$\alpha = \arcsin(\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H) \quad (3)$$

$$Az = \arccos\left(\frac{\sin \delta - \sin \alpha \sin \phi}{\cos \alpha \cos \phi}\right) \quad (4)$$

dengan $H = 15^\circ(t - 12)$ s adalah sudut waktu yang menunjukkan posisi matahari terhadap meridian lokal. Melalui kombinasi persamaan (2)–(4), sistem dapat menentukan posisi optimal panel surya pada setiap waktu dalam satu hari secara presisi.

Chowdhury et al. [9] menerapkan *Sun Position Algorithm (SPA)* untuk sistem pelacakan dua sumbu dan memperoleh peningkatan efisiensi energi hingga 32%. Meski demikian, penelitian tersebut masih menggunakan mikrokontroler dengan kemampuan komputasi terbatas dan tanpa umpan balik posisi waktu nyata, sehingga presisi pelacakan belum optimal.

Integrasi algoritma astronomis dengan mikrokontroler modern seperti ESP32 menawarkan potensi signifikan karena perangkat ini memiliki prosesor cepat, konsumsi daya rendah, serta konektivitas nirkabel yang mendukung pemantauan dan kendali jarak jauh. Selain itu, penerapan sensor inersia seperti MPU6050 memungkinkan sistem untuk memperoleh umpan balik sudut yang lebih akurat dalam menjaga posisi panel. Konsep umum sistem pelacak surya berbasis algoritma astronomis yang dikembangkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram blok pada Gambar 1 menunjukkan ESP32 sebagai pusat kendali yang menerima input waktu dan lokasi untuk menghitung posisi matahari (azimut dan elevasi), menggerakkan aktuator linear melalui driver L298N, serta menerima umpan balik sudut dari sensor MPU6050 untuk koreksi posisi panel.

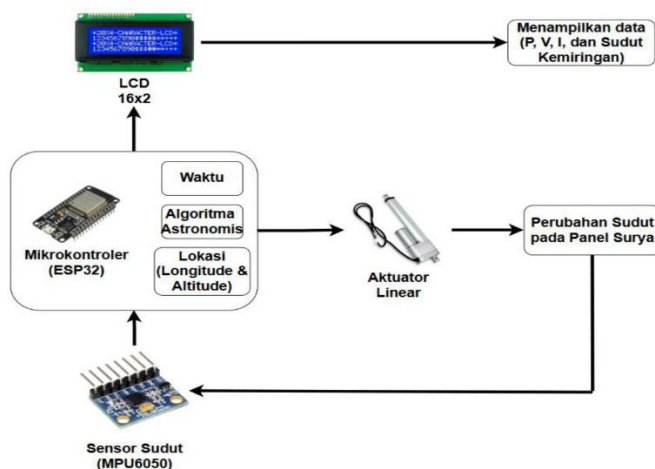


Gambar 1. Diagram Konseptual Sistem Pelacak Surya Berbasis Algoritma Astronomis

Dari hasil kajian terhadap penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa metode pelacakan berbasis algoritma astronomis memiliki keunggulan dalam hal akurasi, efisiensi, dan ketahanan terhadap perubahan kondisi cuaca dibandingkan metode berbasis sensor cahaya. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem *solar tracker* satu sumbu berbasis ESP32 dan algoritma astronomis dengan umpan balik posisi, guna meningkatkan presisi pelacakan dan efisiensi konversi energi surya secara optimal.

3. Desain dan Implementasi Sistem

Sistem *solar tracker* berbasis algoritma astronomis ini dirancang untuk mengatur orientasi panel surya agar selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari. Secara fungsional, sistem terdiri dari tiga tahap utama: (1) perhitungan posisi matahari menggunakan algoritma astronomis, (2) pengendalian posisi panel melalui aktuator linear, dan (3) koreksi posisi menggunakan umpan balik dari sensor MPU6050. Diagram blok konseptual sistem ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan konektivitas perangkat keras seperti dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Koneksitas perangkat keras sistem

Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari empat komponen utama, yaitu mikrokontroler ESP32 [10] sebagai unit pengendali utama, sensor MPU6050 [11] sebagai pengukur sudut orientasi, driver motor L298N [12] sebagai penggerak, dan aktuator linier sebagai mekanisme pelacak. ESP32 menjalankan algoritma astronomis untuk menghitung posisi matahari berdasarkan lintang, bujur, waktu lokal, dan *day of year (DOY)* sesuai persamaan (2)–(4). Hasil perhitungan berupa sudut azimut dan elevasi digunakan sebagai referensi untuk menggerakkan aktuator linear.

ESP32 berkomunikasi dengan sensor MPU6050 melalui antarmuka I²C dan dengan driver motor melalui sinyal PWM. Driver L298N mengatur rotasi motor DC aktuator untuk menyesuaikan kemiringan panel, sementara sensor MPU6050 memberikan umpan balik orientasi guna meminimalkan kesalahan sudut. Seluruh rangkaian mendapat catu daya DC yang dikondisikandari yaitu untuk menghasilkan tegangan 5 V dan 12 V bagi ESP32 dan driver motor.

Prinsip Kerja Sistem

Diagram alir sistem dimulai dengan inisialisasi waktu dan koordinat lokasi. Algoritma astronomis kemudian menghitung posisi matahari (azimut dan elevasi), yang dibandingkan dengan posisi aktual panel dari MPU6050. Perbedaan sudut dihitung menggunakan Persamaan (5):

$$e_{\theta} = \theta_{ref} - \theta_{act} \quad (5)$$

Jika nilai $|e_\theta|$ lebih besar dari ambang batas tertentu, sistem mengaktifkan motor melalui driver L298N untuk menggerakkan aktuator hingga posisi panel sejajar dengan arah matahari. Pembaruan posisi dilakukan secara periodik setiap lima menit agar sistem tetap adaptif terhadap perubahan posisi matahari.

Implementasi Perangkat Keras dan Lunak

Sistem direalisasikan pada mekanisme pelacak satu sumbu dengan tumpuan rotasi di bagian bawah panel. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa C++ pada lingkungan Arduino IDE. Algoritma utama terdiri atas tiga bagian: (1) perhitungan posisi matahari menggunakan model astronomis, (2) pengendalian posisi panel berbasis kesalahan sudut, dan (3) kompensasi umpan balik dari sensor MPU6050.

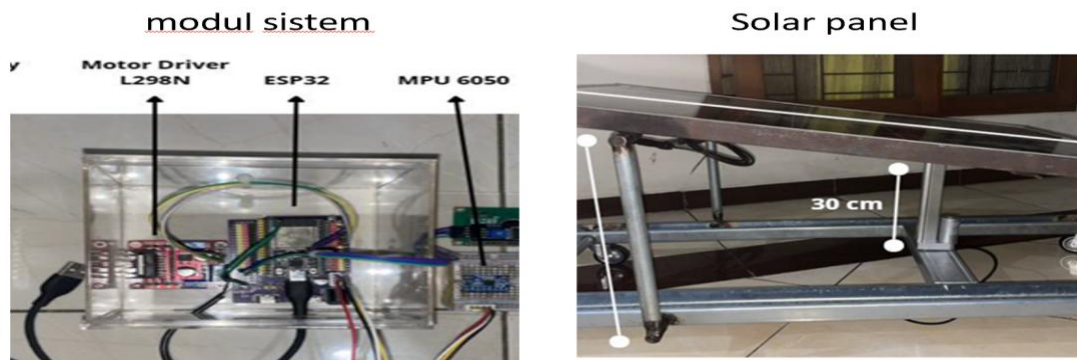
Estimasi sudut aktual diperoleh melalui *complementary filter* sebagaimana pada Persamaan (6) [13]:

$$\theta_{act} = \alpha \times (\theta_{act} + \omega \Delta t) + (1 - \alpha) \times \theta_{acc} \quad (6)$$

dengan ω adalah kecepatan sudut dari giroskop, θ_{acc} adalah sudut hasil perhitungan dari akselerometer, dan α adalah koefisien penyaring (biasanya antara 0.9–0.98). Persamaan ini memungkinkan sistem mendapatkan estimasi sudut panel yang stabil dan cepat untuk proses koreksi posisi.

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja mekanik, akurasi pelacakan, serta efisiensi energi panel surya yang dikendalikan menggunakan algoritma astronomis berbasis ESP32. Pengujian dilaksanakan di ruang terbuka selama tiga hari (07.00–17.00 WIB) dengan membandingkan dua konfigurasi: panel statis dan sistem pelacak satu sumbu. Parameter yang diukur meliputi tegangan keluaran, arus beban, sudut orientasi panel, serta konsumsi daya sistem kendali. Data diambil setiap lima menit menggunakan *data logger* internal ESP32 yang terhubung ke sensor tegangan–arus INA219.



Gambar 3. Rangkaian fisik dan Implementasi sistem solar tracker

Gambar 3 memperlihatkan rangkaian fisik dari sistem *solar tracker* yang telah direalisasikan. Rangkaian ini terdiri dari modul mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor MPU6050 yang berfungsi sebagai sensor umpan balik sudut, driver motor L298N sebagai pengendali aktuator linier, serta sensor INA219 untuk pengukuran tegangan dan arus panel. Panel surya dipasang pada struktur berporos tunggal yang dapat berputar secara horizontal, digerakkan oleh aktuator linier yang dikontrol secara otomatis berdasarkan hasil perhitungan sudut azimut dan elevasi dari algoritma astronomis. Catu daya sistem dibagi menjadi dua jalur, yaitu 5 V untuk ESP32 dan sensor, serta 12 V untuk driver dan aktuator. Penataan fisik komponen dilakukan secara modular untuk memudahkan proses kalibrasi, pengujian, dan pemeliharaan sistem.

Efisiensi pelacakan dihitung menggunakan rasio deviasi sudut harian 60° dengan kesalahan rata-rata $0,6^\circ$, menghasilkan:

$$\eta_{track} = (1 - |0,6|/60) \times 100\% = 99\%.$$

Nilai tersebut menegaskan kemampuan sistem menjaga orientasi panel hampir sejajar dengan posisi matahari. Akurasi tinggi ini didukung oleh mekanisme *closed-loop feedback* dari sensor MPU6050 yang secara otomatis mengoreksi penyimpangan kecil akibat faktor mekanik maupun gangguan angin.

Secara mekanis, sistem menunjukkan respons dinamis yang stabil dengan waktu tanggap sekitar 0,5 s untuk perubahan sudut kecil ($<2^\circ$). Mekanisme pergerakan berkala setiap lima menit terbukti lebih efisien dibanding sistem berbasis sensor cahaya yang bekerja setiap kali terjadi fluktuasi iradiasi.

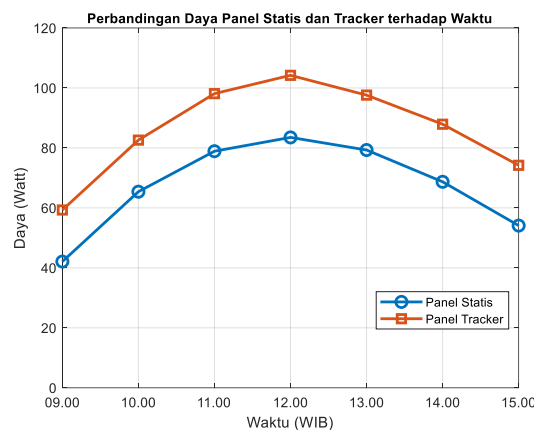
Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran daya rata-rata pada kondisi cerah, sedangkan Gambar 4 memperlihatkan perbandingan keluaran energi antara panel statis dan sistem pelacak. Rata-rata peningkatan daya mencapai 28,1%, dengan peningkatan tertinggi terjadi pada pagi dan sore hari ketika sudut datang cahaya terhadap panel statis besar.

Tabel 1. Perbandingan daya keluaran panel surya statis dan solar tracker otomatis.

Waktu (WIB)	Daya Panel Statis (W)	Daya Panel Tracker (W)	Peningkatan (%)
09.00	42.1	59,3	40,9
10.00	65.4	82,6	26,3
11.00	78.9	98,1	24,4
12.00	83.5	104,2	24,8
13.00	79.3	97,6	23,0
14.00	68.7	87,9	27,9
15.00	54.1	74,2	37,1
Rata-rata	67.4	86,3	28,1

Tabel 2. Hasil keluaran panel surya (diukur pada: 4 september 2025).

No	Waktu (WIB)	Sudut ($^\circ$)	Iradiasi (W/m ²)	I_o (A)	V_o (Volt)	P (W)
1	09.00	25,59	860,6	2,26	21,43	48,43
2	10.00	10,97	881,5	2,36	21,51	49,90
3	11.00	-3,79	884,7	2,34	22,48	52,60
4	12.00	-18,67	858,2	2,28	21,44	48,88
5	13.00	-33,53	884,4	2,35	21,62	50,80
6	14.00	-48,40	854,3	2,23	21,11	47,07
7	15.00	-63,29	832,6	2,19	20,91	45,79



Gambar 4. Perbandingan daya keluaran antara panel statis dan solar tracker

Secara keseluruhan, integrasi algoritma astronomis, ESP32, dan sensor inersia MPU6050 terbukti meningkatkan kinerja sistem fotovoltaik secara signifikan. Dengan konsumsi daya rendah dan akurasi pelacakan tinggi, sistem ini layak diterapkan pada instalasi energi surya skala kecil hingga menengah yang menuntut efisiensi dan reliabilitas tinggi.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem *solar tracker* otomatis berbasis ESP32 dengan algoritma astronomis yang mampu mengarahkan panel surya secara presisi menggunakan umpan balik dari sensor MPU6050. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan daya keluaran rata-rata sebesar 28,1%, serta kesalahan pelacakan hanya $\pm 0,42^\circ$. Sistem menunjukkan stabilitas mekanis yang baik dan konsumsi daya rendah, sehingga tetap efisien secara keseluruhan. Integrasi algoritma astronomis dengan ESP32 dan sensor inersia terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi pelacakan dan efisiensi energi. Desain ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut ke sistem pelacakan dua sumbu dan integrasi jaringan nirkabel untuk pemantauan energi secara real-time.

Referensi

- [1] R. Alfanz, M. F. Fauzy, Felycia, T. Firmansyah and Alimuiddin, "Error Angle Sun Earth Geometry Analysis on Fuzzy Logic Method in Dual-Axis Solar Tracking Mounting Design," 2024 FORTEI-International Conference on Electrical Engineering (FORTEI-ICEE), Badung, Indonesia, 2024, pp. 199-204, doi: 10.1109/FORTEI-ICEE64706.2024.10824433.
- [2] M. N. Hidayat, A. Nugroho, A. F. Munir and R. I. Putri, "Charging Time Prediction for E-bike Station Battery Using Coulomb Counting Approach," 2023 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT), Malang, Indonesia, 2023, pp. 145-151, doi: 10.1109/IEIT59852.2023.10335570.
- [3] F. R. A. Bukit, S. Rambe and R. Dinzi, "Comparison Of Single Axis Solar Tracking System Without Sensor with LDR Sensor And Real Time Clock (RTC)," 2023 7th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM), Medan, Indonesia, 2023, pp. 254-259, doi: 10.1109/ELTICOM61905.2023.10443161.
- [4] M. Mirdanies and R. P. Saputra, "Dual-axis solar tracking system: A combined astronomical estimation and visual feedback," 2016 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), Jakarta, Indonesia, 2016, pp. 88-94, doi: 10.1109/ICSEEA.2016.787357.3

- [5] M. I. Neacă, "Solar Tracking System for Several Groups of Solar Panels," 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, Romania, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICATE49685.2021.9465057.
- [6] S. Guduru, P. CH, A. P. M and K. Vijayan, "Smart Solar Tracking System for Optimal Power Generation Using Three LDR's," 2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI), Chennai, India, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/RAEEUCCI57140.2023.10134521.
- [7] M.A.M. Al-Alwani, et al, "Dye-Sensitised Solar Cells: Developent, Structure, Operation Principles, Electron Kinetics, Characterisation, Synthesis Materials and Natural Photosensitisers". Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 65, 2016, pp.183-283,doi:10.1016/j.rser.2016.06.045.
- [8] I. Reda, "Solar Position Algorithm for Solar Radiation Application", Solar Energy, vol. 76, 2004, pp.577-589,doi:10.1016/j.solener.2003.12.003.
- [9] M.E.H. Chowdhury, et al., " A Low-Cost Closed-Loop Solar Tracking System Based on The Sun Position Algorithm", Journal of Sensors, vol.2019, issue 1,2019, doi: 10.1155/2019/3681031.
- [10] Espressif, "ESP32 Series", Datasheet version 5.1, 2021, [Online].Availabel: https://www.mouser.com/catalog/specsheets/Espressif%20Systems_01292021_esp32.pdf?srsId=AfmBOoaSQgKmp9SArzbf6seFk1op7ocPpMZIKGZL-EBPwmyZ1FPMmk [Accessed: Oct 28, 2025].
- [11] InvenSense Inc, "MPU-6000 and MPU-6050", Product Specification Revision 3.4, 2013,[Online].Availabel:<https://invensense.tdk.com/wpcontent/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf> [Accessed: Oct 28, 2025].
- [12] Hanson Technology, "L298N Dual H-Bridge Motor Driver", User Guide, 2013,[Online].Availabel: InvenSense Inc, "MPU-6000 and MPU-6050", Product Specification Revision 3.4, 2013, [Online]. Availabel: <https://invensense.tdk.com/wpcontent/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf> [Accessed: Oct 28, 2025].
- [13] S. Colton, " The Balance Filter a Simple Solution for Integrating Accelerometer and Gyroscope Measurements for a Balancing Platform", Rev.1, 2007, [Online]. Availabel: https://dl.amobbs.com/bbs_upload782111/files_35/ourdev_608933JR01FI.pdf [Accessed: Oct 28, 2025].