

Rancang Bangun Sistem Kontrol Solar Tracker Menggunakan Regresi Linear Untuk Meningkatkan Produksi Energi Panel Surya

Wildan¹, Mohamad Kharis², Rohmat Setiawan³.

Prodi Teknik Informatika, STMIK Adhi Guna, Indonesia

Info Articles

Abstrak

Keywords:

*Energy Efficiency;
ESP32; IoT; Linear
Regression; Solar
Tracker*

Efisiensi energi panel surya sangat dipengaruhi oleh orientasi panel terhadap posisi matahari. Untuk meningkatkan efisiensi tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem kontrol solar tracker berbasis regresi linear menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem dilengkapi dengan sensor LDR, MPU6050, dan RTC untuk mendeteksi arah cahaya matahari dan orientasi waktu, serta menggerakkan panel secara otomatis menggunakan motor linear. Algoritma regresi linear digunakan untuk memprediksi sudut optimal panel berdasarkan waktu dan intensitas cahaya. Sistem pemantauan dan kendali dilakukan secara real-time melalui dashboard berbasis web dengan komunikasi protokol MQTT. Pengujian dilakukan dengan metode black-box untuk mengevaluasi fungsi sistem secara menyeluruh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti pergerakan matahari secara otomatis dan meningkatkan efisiensi penyerapan energi panel surya dibandingkan dengan sistem statis. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan sistem kontrol prediktif yang sederhana, efisien, dan dapat diterapkan pada skala kecil, serta menjadi solusi terjangkau dalam pemanfaatan energi terbarukan.

Abstract

The efficiency of solar panels is significantly influenced by their orientation toward the sun's position. To enhance this efficiency, this study aims to design and develop a solar tracker control system based on linear

regression using the ESP32 microcontroller. The system integrates LDR, MPU6050, and RTC sensors to detect sunlight direction and time orientation, and it automatically adjusts the panel using a linear motor. A linear regression algorithm is employed to predict the panel's optimal angle based on time and light intensity. Real-time monitoring and control are implemented via a web-based dashboard using the MQTT communication protocol. Testing was conducted using the black-box method to evaluate the system's overall functionality. The results show that the system can automatically follow the sun's movement and improve solar energy absorption efficiency compared to a static system. This research contributes to the development of a simple and efficient predictive control system that is cost-effective and applicable on a small scale, supporting the wider use of renewable energy.

[□] Alamat Korespondensi:

p-ISSN 2621-9484

E-mail: rsetiawannn1@gmail.com

e-ISSN 2620-8415

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi fokus utama dalam mengatasi permasalahan global seperti krisis energi dan perubahan iklim. Di antara berbagai sumber energi terbarukan, energi surya merupakan salah satu yang paling potensial karena ketersediaannya yang melimpah dan ramah lingkungan. Namun demikian, efisiensi panel surya dalam mengubah sinar matahari menjadi energi listrik sangat dipengaruhi oleh orientasi panel terhadap posisi matahari. Panel surya statis hanya optimal saat matahari berada pada posisi tertentu, sehingga energi yang diserap menjadi tidak maksimal sepanjang hari.

Penelitian ini menawarkan pendekatan alternatif melalui penerapan regresi linear sebagai metode prediksi posisi matahari berdasarkan waktu. Pendekatan ini bersifat sederhana, dan mudah diimplementasikan pada mikrokontroler berdaya rendah seperti ESP32. Sistem dikembangkan dengan integrasi RTC DS3231 sebagai sumber data waktu, MPU6050 untuk mendeteksi sudut kemiringan, serta INA219 untuk memantau tegangan dan arus panel. Pergerakan panel dilakukan secara otomatis menggunakan motor linear berdasarkan sudut yang dihitung oleh algoritma regresi linear. Berbeda dengan pendekatan umum yang bergantung pada sensor cahaya secara penuh atau kontrol berbasis cloud, penelitian ini menggabungkan kontrol prediktif otomatis dengan sistem pemantauan lokal berbasis web menggunakan protokol MQTT.

Dengan kombinasi ini, sistem menjadi lebih efisien, responsif, hemat biaya, dan dapat diterapkan dalam skala kecil seperti rumah tangga atau institusi pendidikan. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun sistem kontrol solar tracker berbasis regresi linear untuk meningkatkan efisiensi produksi energi panel surya secara otomatis dan terjangkau. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan yang adaptif, prediktif, dan mudah diakses secara luas.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan metode pengembangan sistem berbasis prototipe yang dirancang untuk menguji efektivitas kontrol solar tracker berbasis regresi linear. Prototipe diuji pada area terbuka yang mendapatkan paparan sinar matahari langsung. Pengamatan dilakukan dari pukul 07.00 hingga 17.00 untuk memastikan variasi posisi matahari tercakup dalam pengujian sistem. Perangkat utama yang digunakan dalam sistem meliputi mikrokontroler ESP32-S3 sebagai unit kontrol pusat, sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya, sensor MPU6050 untuk membaca orientasi panel, serta modul RTC DS3231 sebagai referensi waktu. Sensor INA219 digunakan untuk mengukur arus dan tegangan keluaran dari panel surya. Pergerakan panel dilakukan menggunakan dua motor linear untuk sumbu X dan Y, yang dikendalikan

melalui driver relay 4 chanel. Sistem pemantauan dibangun menggunakan dashboard web berbasis HTML, CSS, dan JavaScript, dengan backend Node.js dan database MySQL, serta komunikasi data real-time menggunakan protokol MQTT. Algoritma regresi linear yang digunakan berbentuk:

$$y = m x + c$$

dengan y sebagai sudut kemiringan panel, x sebagai variabel waktu, m sebagai slope, dan c sebagai konstanta. Data sensor diolah secara lokal oleh ESP32 untuk menentukan sudut optimal yang kemudian dijadikan acuan dalam penggerakan motor linear. Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode Black-Box Testing untuk mengevaluasi fungsi sistem tanpa melihat struktur internal kode, meliputi pengujian pembacaan sensor, kontrol aktuator, dan transmisi data. Efisiensi sistem diukur dengan membandingkan daya listrik yang dihasilkan saat sistem aktif dan saat panel dibiarkan statis, menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{\text{tracker}} - P_{\text{static}}}{P_{\text{static}}} \times 100 \%$$

dengan η adalah efisiensi, P_{tracker} adalah daya dari sistem solar tracker, dan P_{static} adalah daya dari panel statis dalam kondisi yang sama. Data pengukuran dianalisis untuk menilai tren peningkatan daya dan efektivitas sistem prediktif dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

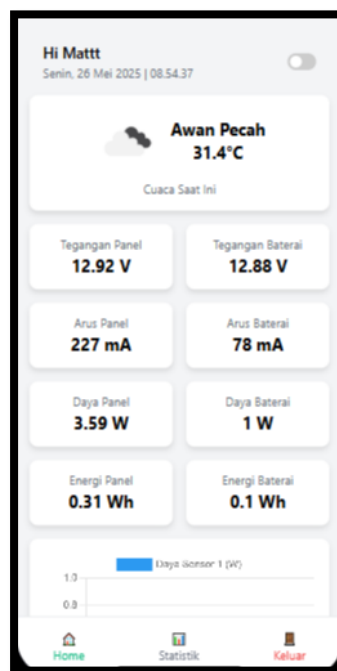
Penelitian ini berhasil membangun sistem solar tracker berbasis regresi linear yang dapat mengatur posisi panel surya secara otomatis berdasarkan prediksi waktu. Data hasil pengamatan dianalisis untuk menilai pengaruh penggunaan sistem terhadap efisiensi energi panel.

a. Prototype

Implementasi sistem direalisasikan dalam bentuk prototipe fisik yang terdiri atas panel surya, rangka penyangga, serta sistem kendali berbasis ESP32. Perangkat ini dilengkapi dengan sensor dan aktuator yang disusun dalam satu kesatuan modul. Selain itu, dashboard monitoring berbasis web dikembangkan untuk menampilkan data sensor secara real-time serta memungkinkan pemantauan kinerja panel secara visual



Gambar 1. Prototype Solar Tracker



Gambar 2. Tampilan Web Monitoring

a. Validasi Regresi Linear

Implementasi Rumus *regresi linear* yang digunakan adalah:

$$y = m x + c$$

Langkah-langkah:

Hitung jumlah data $n = 21$

Hitung: $\sum x = 6300$, $\sum y = 39$, $\sum x^2 = 2394000$, $\sum xy = 64380$

Hitung *slope* m dan *intercept* c :

$$m = \frac{n\sum(xy) - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$m = \frac{21 \cdot 64380 - 6300 \cdot 39}{21 \cdot 2394000 - 6300^2} = 0,1045$$

$$c = \frac{\sum y - m \cdot \sum x}{n} = \frac{39 - 0,1045 \cdot 6300}{21} = -29,49$$

Jadi, persamaan *regresi* untuk *Pitch*: $y = 0,1045 \cdot x - 29,49$

Perhitungan untuk *Roll*:

Hitung: $\sum y = 105$, $\sum xy = 30150$

Hitung *slope* m dan *intercept* c :

$$m = \frac{21 \cdot 30150 - 6300 \cdot 105}{21 \cdot 2394000 - 6300^2} = -0,0027$$

$$c = \frac{105 - (-0,0027 \cdot 6300)}{21} = 5,81$$

Jadi, persamaan *regresi* untuk *Roll*: $y = -0,0027 \cdot x + 5,81$

Perhitungan di jam 09:00 :

Pitch: $y = 0,1045 \cdot 120 - 29,49 = 12,54 - 29,49 = -16,95$

Roll: $y = -0,0027 \cdot 120 + 5,81 = -0,324 + 5,81 = 5,49$

Tabel 4.6.

Perbandingan Hasil *Regresi* dan Nilai Aktual

Sumbu	Prediksi di 09:00	Nilai Aktual	Selisih
Pitch	-16,95	-17	0,05
Roll	5,49	7	1,51

b. Perbandingan Solar Tracker dan Statis

Jam	Solar Tracker			Statis		
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya
07:00	12.1	0.40	4.84	12.0	0.30	3.60
07:30	12.5	0.55	6.88	12.2	0.42	5.12
08:00	12.8	0.70	8.96	12.6	0.54	6.80
08:30	13.2	0.80	10.56	12.9	0.62	8.00
09:00	13.5	0.95	12.83	13.1	0.73	9.56
09:30	13.7	1.05	14.39	13.3	0.80	10.64
10:00	13.8	1.10	15.18	13.4	0.85	11.39
10:30	13.9	1.15	15.99	13.5	0.89	12.02
11:00	14.0	1.20	16.80	13.6	0.92	12.51
11:30	13.9	1.18	16.40	13.4	0.90	12.06
12:00	13.8	1.15	15.87	13.3	0.87	11.57
12:30	13.6	1.10	14.96	13.1	0.84	11.00
13:00	13.5	1.05	14.18	13.0	0.80	10.40
13:30	13.3	0.98	13.03	12.9	0.75	9.68
14:00	13.1	0.90	11.79	12.8	0.70	8.96
14:30	12.9	0.80	10.32	12.6	0.62	7.81
15:00	12.7	0.70	8.89	12.4	0.55	6.82
15:30	12.5	0.60	7.50	12.2	0.48	5.86
16:00	12.3	0.45	5.54	12.0	0.36	4.32
16:30	12.1	0.35	4.24	11.8	0.28	3.30
17:00	12.0	0.30	3.60	11.7	0.22	2.57

Dari hasil tersebut dapat di simpulkan:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Total Daya Tracker} - \text{Totaal Daya Statis}}{\text{Total Daya Statis}} \times 100 \%$$

$$= \frac{238,35 - 185,99}{185,99} \times 100 \% = 28.14\%$$

Efisiensi peningkatan daya sistem Solar Tracker dibandingkan sistem Statis adalah

28.14%

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol solar tracker berbasis regresi linear berhasil dirancang dan mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi panel surya. Sistem ini bekerja secara otomatis mengikuti posisi matahari dengan pendekatan waktu dan intensitas cahaya, serta dapat dipantau secara real-time melalui dashboard. Simpulan ini menunjukkan bahwa metode regresi linear dapat menjadi solusi sederhana dan efektif untuk pengoptimalan panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, M. R. S. (2024). Penerapan Sistem Lampu Otomatis untuk Penghematan Energi Listrik di Jalan Umum. *Electronics and Material Engineering for New Applications*, 12-16.
- Bukhari (2024). *Mekatronika Dalam Industri Manufaktur*. Penerbit Andi.
- Febriansyah, A. (2024). Perancangan Solar Cell Cleaner Otomatis Berbasis Tekanan Udara di Area Penerangan Jalan Perimeter Bandara. *Skripsi, Poltekbang Palembang*.
- Feriyanto, D. F. (2025). Penerapan Aplikasi Chatting untuk Kendali Lampu dengan Teknologi Internet of Things. *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, 9-14.
- F. S., R. B., & M. S. (2024). Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis pada Pengisian Energi. *Jurnal Teknik Informatika dan Terapan, II*, 240-252.
- Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). *Design and implementation of ESP32-based IoT devices. Sensors*, 23(15), 6739.
- Ibnu, W. M., Nawawi, I., & Fatkhurrozi, B. (2024). Sistem Kendali Peralatan Listrik Berbasis Nirkabel Pada Smart Home. *Jurnal Kajian Teknik Elektro. Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 1-7.
- Musrifun, & Eseye, Y. (2022). Sistem Solar Tracker Untuk Meningkatkan Penyerapan Energi Cahaya Matahari. *Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik Universitas Darma Persada, XII*, 9-18.
- Muhammad, F., & Ferdiansyah, M. (2022). Robot Keseimbangan pada Sebuah Bola Menggunakan Sistem Kendali PID. *Politeknik Manufaktur Babel*.
- Putri, W. A., & Krismadinata. (2022). Monitoring Hasil Pelacakan Cahaya Matahari Sumbu Tungga. *MSI Transaction on Education, III*, 16-28.
- Putra, V. P. W. L., & Sarri, C. (2024). Analisis Pemanfaatan PLTS pada Mesin Penanam Padi. *PoliGrid*, 81-89.

- Rohmah, S. K. L. (2024). Perancangan *Discrete Mobile Passive Two-Axis Solar Tracker* Pada PV Berbasis Kontrol *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rizqi, A. (2024). Sistem Kontrol Kecepatan Hospital Mobile Robot Menggunakan PID Controller Pada Bidang Miring. Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suryanto, B., & Asnil. (2021). Sistem Monitoring Panel Surya Berbasis Website. *MSI Transaction on Education*, II.
- Samsurizal, M. A., Azzahra, S., & Makkulau, A. (2024). Pemantauan dan Kontrol Otomatis Efisiensi Sel Surya melalui Simulasi Solar. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, XVII, 343-347.
- Siadari, H. P. (2024). Sistem Monitoring Prototype Floating. Skripsi, Politeknik Negeri Jakarta.
- Santoso, M., Putra, Z. M. A., & Nugraha, A. T. (2024). Enhancing measurement quality of voltage divider circuit and ACS712 DC current sensor in PPNS Baruna 01 crewboat solar power plant. *E3S Web of Conferences*, 421, 01009.
- Utami, P. R., & Wijayanti, M. (2022). Analisa Perhitungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Taman Markisa di Wilayah RT 01/RW 08 Kelurahan Mampang, Pancoran Mas, Kota Depok. *Jurnal Abdi Masyarakat Multidisiplin*, 42-49.
- Wardhany, A. K., Isdawimah, Iskandar, G. M., & Juliansyah, M. F. (2024). Sistem Pengendalian Resistansi Penumaian Otomatis dan Akurasi Pengukuran dengan Elektroda Grounding Grid pada PLTS. *Jurnal INTEKNA*, 107-116.
- Yasir, R. M. (2021). Rancang Bangun Solar Tracker Berbasis Arduino Uno Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani. Skripsi, Universitas Tidar.
- Zaeni, I. A. (2025). *Penerapan Machine Learning Pada Embedded System*. Media Nusa Creative (MNC Publishing).