

# Literature Review : Perbandingan Efisiensi Sistem Pelacak Matahari Satu Sumbu dan Dua Sumbu

Sukatno<sup>1</sup>, Ony Ramadhan Armanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departement of Science and Technology  
Universitas Teknologi Surabaya

Jl. Balongsari Praja V No. 1, Kec. Tandes  
Surabaya, Indonesia

Corresponding\_email : katnoeng@gmail.com

## Abstract

*The rapid growth of Solar Power Plant (PLTS) installations in Indonesia faces efficiency challenges due to the continuously changing position of the sun. Fixed panel systems cannot absorb solar radiation optimally throughout the day. This study aims to evaluate and compare the efficiency of various solar tracking system methods developed over the last five years using a simple literature review approach. The research method was conducted by collecting, screening, and synthesizing secondary data from five reputable scientific journals using a synthesis matrix. The review results indicate that single-axis tracking systems increase power efficiency by 15% to 24.5%. Meanwhile, dual-axis systems achieve higher efficiency, ranging from 30% to 35%, by tracking both horizontal and vertical solar movements. In terms of control systems, astronomical algorithms are found to be more reliable in cloudy weather conditions than pure light sensors. However, the internal power consumption of the actuator motors remains a critical factor that can reduce the system's net energy gain. The implication of this study emphasizes the importance of shifting future research focus toward energy-saving algorithm optimization to maximize net power yield in dynamic solar panel implementations.*

**Keywords:** Astronomical algorithm, Dual-axis, Efficiency, Solar panel, Solar tracking.

## Abstrak

Peningkatan instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia menghadapi tantangan efisiensi akibat posisi matahari yang terus berubah. Sistem panel statis tidak mampu menyerap radiasi secara optimal sepanjang hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan efisiensi berbagai metode *solar tracking system* yang berkembang dalam lima tahun terakhir melalui pendekatan *literature review* sederhana. Metode penelitian dilakukan dengan mengumpulkan, menyaring, dan menyintesis data sekunder dari lima jurnal ilmiah bereputasi menggunakan matriks sintesis. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa sistem pelacak satu sumbu (*single-axis*) meningkatkan efisiensi daya sebesar 15% hingga 24,5%. Sementara itu, sistem dua sumbu (*dual-axis*) mampu mencapai efisiensi lebih tinggi yaitu 30% hingga 35% karena melacak pergeseran matahari secara horizontal dan vertikal. Dari sisi kendali, algoritma astronomis ditemukan lebih andal dalam kondisi cuaca mendung dibandingkan sensor cahaya murni. Namun, konsumsi daya internal motor penggerak menjadi faktor kritis yang dapat mengurangi keuntungan daya bersih sistem. Implikasi dari penelitian ini menegaskan pentingnya pergeseran fokus riset masa depan pada optimasi algoritma hemat energi guna memaksimalkan hasil daya bersih pada implementasi PLTS dinamis.

**Kata Kunci:** mencakup paling sedikit 3 - 5 kata kunci frasa yang mencerminkan isi artikel, pisahkan dengan tanda koma.

## I. LATAR BELAKANG

Peningkatan Energi terbarukan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia berinovasi secara cepat agar mencapai transisi energi bersih [1]. Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya konvensional memiliki sifat intermiten dan bergantung pada cuaca. Pada PLTS yang telah dipasang secara fixed system penyerapan energi matahari tidak dapat maksimal dan tergantung pada cuaca [2]. Teknologi Solar Tracking System merupakan salah satu solusi agar posisi permukaan panel

yang tegak lurus dengan datangnya sinar matahari, sehingga daya listrik yang dihasilkan bisa dimaksimalkan ke titik tertinggi [3].

Penelitian sebelumnya skema model standar biasanya memakai sistem pelacak satu sumbu (Single – Axis) memanfaatkan sensor LDR dan kontroler mikro seperti Arduino [4]. Pada penelitian selanjutnya pengembangan dilakukan dengan mengembangkan menjadi sistem 2 sumbu (Dual – Axis) yang

menggabungkan algoritma posisi matahari untuk mengatur sudut dari solar panel [2].

Pada penelitian terbaru terbatas membahas performa secara parsial dan berfokus pada pengujian alat tertentu. Utngensi dari ulasan ini adalah memetakan plus – minus setiap metode kontrol yang telah dipublish beberapa tahun terakhir. Dengan begitu penelitian ini diharapkan memberikan evaluasi yang jelas mengenai persentase peningkatan daya serta keandalan sistem dan juga menjadi acuan pengembangan teknologi PLTS ke depannya.

## II. KAJIAN TEORITIS

Pemanfaatan energi surya melalui sistem fotovoltaik (*Photovoltaic* atau PV) sangat bergantung pada intensitas radiasi matahari yang diterima oleh permukaan sel surya [5]. Secara teoritis, konversi energi maksimal terjadi ketika sinar matahari jatuh tegak lurus (membentuk sudut 90 derajat) terhadap panel. Ketika posisi matahari bergeser, sudut datang sinar matahari akan membentuk sudut datang (*angle of incidence*) tertentu yang menyebabkan sebagian radiasi terpantul dan tidak terserap sempurna. Fenomena penurunan penyerapan energi akibat penyimpangan sudut ini dikenal sebagai kerugian kosinus (*cosine loss*) [6]. Oleh sebab itu, untuk mempertahankan posisi tegak lurus tersebut sepanjang hari, diperlukan intervensi teknologi mekanik dan elektronik berupa sistem penjejak atau *solar tracking system* [7].

Dalam perkembangannya, teknologi pelacak matahari ini secara umum diklasifikasikan berdasarkan sumbu gerak mekanisnya, yaitu sistem pelacak satu sumbu (*single-axis tracker*) dan dua sumbu (*dual-axis tracker*) [8]. Sistem pelacak satu sumbu hanya memiliki satu poros rotasi, biasanya berputar dari timur ke barat untuk mengikuti pergerakan harian matahari (*azimuth*) [9]. Sistem ini relatif sederhana, ekonomis, dan mudah dalam perawatan, namun mengabaikan pergeseran posisi matahari secara musiman dari utara ke selatan (*altitude*) [10]. Sebaliknya, sistem pelacak dua sumbu memiliki dua poros rotasi yang bergerak secara simultan untuk melacak sudut azimuth sekaligus altitude. Konsep dua sumbu ini secara teoritis mampu mengeliminasi kerugian kosinus hampir sepenuhnya, meskipun konsekuensinya adalah struktur mekanis yang lebih berat dan memerlukan algoritma kontrol yang lebih cerdas [11].

Selain dari sisi mekanis, efisiensi solar tracker juga sangat dipengaruhi oleh metode kendali yang diterapkan. Metode kendali aktif umumnya memanfaatkan komponen sensor cahaya seperti *Light Dependent*

*Resistor* (LDR) yang dipasang berpasangan dengan sekat pembatas [7]. Kontroler akan membaca perbedaan nilai resistansi antar-sensor untuk menggerakkan motor aktuator hingga posisi panel seimbang. Sementara itu, metode kendali pasif atau astronomis tidak menggunakan sensor cahaya, melainkan mengandalkan perhitungan matematis berbasis algoritma posisi matahari berdasarkan data waktu, tanggal, dan koordinat garis lintang serta bujur lokasi penempatan PLTS [12].

## III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (*literature review*) untuk mengkaji data sekunder dari berbagai riset terdahulu [8]. Fokus utamanya adalah mengumpulkan dan membandingkan artikel ilmiah yang membahas efisiensi solar tracking system pada PLTS. Pencarian jurnal dilakukan secara digital lewat platform seperti Google Scholar, Sinta, dan IEEE Xplore dengan membatasi tahun terbit dalam lima tahun terakhir.

Jurnal yang dipilih wajib menampilkan data angka atau persentase kenaikan daya listrik yang jelas antara panel surya bergerak dibanding panel statis (*fixed*). Di sisi lain, artikel yang hanya membahas desain mekanik tanpa menguji performa listriknya, atau jurnal yang metode pengujiannya kurang jelas, langsung dieliminasi. Hasilnya, didapatkan 5 jurnal utama yang dinilai paling pas untuk dibahas lebih lanjut.

Semua data yang didapat dari jurnal-jurnal tersebut kemudian dimasukkan ke dalam matriks sintesis berupa tabel perbandingan. Parameter yang dimasukkan meliputi nama penulis, jenis sistem pelacak, perangkat kendali, dan hasil persentase efisiensinya. Dari tabel ini, analisis dilakukan secara mendalam untuk melihat kelebihan dan kekurangan masing-masing metode kontrol, termasuk melihat seberapa besar konsumsi daya internal motor penggerakannya. Hasil analisis inilah yang menjadi dasar untuk menarik kesimpulan dan mencari celah riset (*research gap*) berikutnya.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tahapan metode yang telah ditetapkan, proses ekstraksi data berhasil merangkum karakteristik performa dari berbagai model pelacak matahari (*solar tracker*). Data yang dianalisis difokuskan pada perbandingan parameter teknis, jenis kendali, serta efisiensi daya yang dihasilkan dibandingkan dengan panel surya statis (*fixed*). Untuk mempermudah pemetaan tren teknologi ini, data hasil sintesis disajikan secara sistematis pada Tabel 1.

TABEL 1  
Matriks Sintesis Karakteristik dan Efisiensi Metode Solar Tracking System

| Peneliti dan Tahun        | Jenis Sistem               | Perangkat Kendali dan Sensor     | Persentase Peningkatan Daya | Catatan Kritis dan Kelemahan                                                                         |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Handoko dkk (2020)        | <i>Single - Axis</i>       | Arduino Uno + 2 Sensor LDR       | 18,5% – 22,3%               | Struktur ekonomis, namun kehilangan potensi daya saat pergeseran posisi matahari tahunan.            |
| Pratama & Setiawan (2023) | <i>Dual – Axis</i>         | ESP32 + 4 Sensor LDR             | 28,4% – 34,1%               | Akurasi pelacakan tinggi, tetapi motor servo sangat aktif sehingga konsumsi daya internal meningkat. |
| Nugroho (2023)            | <i>Dual – Axis</i>         | PLC + Algoritma Astronomis       | 31,2% – 35,6%               | Tidak terpengaruh cuaca mendung, namun biaya investasi komponen dan kompleksitas program tinggi.     |
| Saputra dkk (2024)        | <i>Single – Axis</i>       | Arduino + Sensor Kompas & LDR    | 20,1% – 24,5%               | Paling optimal menjaga posisi panel, namun membutuhkan kalibrasi sensor berkala akibat faktor cuaca. |
| Wijaya & Utomo (2025)     | <i>Dual – Axis Hibryda</i> | Mikrokontroler + LDR & Algoritma | 33,5% – 38,2%               | Paling optimal menjaga posisi panel, namun membutuhkan kalibrasi sensor berkala akibat faktor cuaca. |

#### A. Analisis Komparatif Performa Mekanis

Data pada Tabel 1 menunjukkan adanya korelasi yang konsisten antara jumlah sumbu gerak mekanis dengan total perolehan daya listrik. Sistem pelacak satu sumbu (*single-axis*) sebagaimana diteliti oleh Handoko dkk. (2022) dan Saputra dkk. (2024) mencatatkan batas atas peningkatan daya di kisaran 22% hingga 24,5%. Keterbatasan ini terjadi karena panel hanya mampu berputar mengikuti pergerakan harian matahari dari timur ke barat. Sebaliknya, sistem dua sumbu (*dual-axis*) mampu menembus efisiensi di atas 30%. Hal ini membuktikan bahwa pelacakan sudut elevasi tahunan (*altitude*) memegang peranan krusial dalam mengeliminasi kerugian kosinus, terutama pada wilayah yang berada di sekitar garis khatulistiwa dengan fluktuasi sudut datang matahari yang dinamis sepanjang tahun.

#### B. Evaluasi Strategi Sistem Kendali

Penggunaan sensor cahaya seperti LDR (Pratama & Setiawan, 2023) menawarkan keunggulan berupa respons yang cepat terhadap perubahan intensitas cahaya lokal. Namun, sistem berbasis sensor murni memiliki kelemahan mendasar ketika kondisi langit berawan (*cloudy condition*). Logika kendali sering kali mengalami intermitensi atau pergerakan bimbang karena mencari titik cahaya terpancar (*diffuse radiation*), yang pada akhirnya justru membuang energi pada motor penggerak.

Masalah ini berhasil dimitigasi oleh Nugroho (2023) yang menerapkan algoritma astronomis murni menggunakan PLC. Karena pergerakan dihitung berdasarkan rumus matematika posisi matahari, panel tetap bergerak presisi tanpa terpengaruh oleh halangan awan atau debu yang menempel pada sensor.

#### C. Analisis Daya Bersih (*Net Energy Gain*)

Peningkatan daya kotor (*gross*) yang tinggi pada sistem *dual-axis hibrida* seperti pada riset Wijaya & Utomo (2025) tidak serta-merta mencerminkan efisiensi riil sistem di lapangan. Komponen mekanis yang berat serta penggunaan dua motor aktuator menuntut suplai daya internal yang kontinu. Jika algoritma kontrol tidak dilengkapi dengan mode hemat energi—seperti menonaktifkan motor saat malam hari atau membatasi interval pergerakan setiap beberapa menit sekali—maka konsumsi daya operasional pelacak akan menggerus keuntungan energi yang telah diproduksi oleh panel surya itu sendiri. Oleh karena itu, efisiensi algoritma pemrograman menjadi faktor penentu utama keberhasilan implementasi teknologi ini.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis komparatif terhadap berbagai riset terdahulu, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi *solar tracking system* terbukti efektif dalam meningkatkan output daya listrik pada PLTS dibandingkan dengan sistem statis (*fixed*). Sistem pelacak satu sumbu (*single-axis*) mampu memberikan tambahan efisiensi daya pada kisaran 15% hingga 24,5%. Sementara itu, performa optimal dicapai oleh teknologi pelacak dua sumbu (*dual-axis*) yang mampu mendongkrak efisiensi hingga menembus angka 30% sampai 35% karena kemampuannya mengeliminasi kerugian kosinus secara vertikal dan horizontal sekaligus. Dari sisi sistem kendali, penggunaan algoritma astronomis atau sistem hibrida terbukti jauh lebih andal dalam menjaga stabilitas gerakan panel surya ketika menghadapi kondisi cuaca mendung atau intermiten dibandingkan dengan kontrol berbasis sensor LDR murni.

Meskipun sistem dua sumbu menawarkan lonjakan daya kotor (*gross*) yang menggiurkan, keterbatasan utama yang ditemukan dalam tinjauan literatur ini adalah adanya konsumsi daya internal yang cukup signifikan oleh motor aktuator dan perangkat kendali aktif. Oleh karena itu, disarankan bagi para peneliti selanjutnya untuk beralih fokus pada optimasi algoritma hemat energi, seperti penerapan mode tidur (*sleep mode*) terjadwal atau pembatasan interval pergerakan mekanis. Pengujian efisiensi pada penelitian mendatang juga sebaiknya wajib mengukur keuntungan daya bersih (*net energy gain*) secara riil di lapangan, bukan sekadar kalkulasi daya kotor, agar kelayakan ekonomi dan teknis dari implementasi solar tracker ini dapat dinilai secara lebih jujur dan akurat sebelum diproduksi massal.

## REFERENSI

- [1] Al-Ali, S., Olabi, A. G., & Mahmoud, M. (2025). A review of solar photovoltaic technologies: Developments, challenges, and future perspectives. *Energy Conversion and Management*, X, 27, 101057. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101057>
- [2] Putri, N. U., Santoso, F., & Trisnawati, F. (2022). Rancang Bangun Solar Tracking System Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. 16.
- [3] Abbas, M., Mabrouk, A., Elaissi, S., Adnan Othman, N., Bayram, M., Faqihi, A. A., Khan, I., & Ghazi, H. M. (2025). Intelligent solution predicted Bayesian regularization networks for chemical reactive flow of hybrid nanoliquid with applications of bioconvection and solar radiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 18(3), 101774. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2025.101774>
- [4] AL-Rousan, N., & Al-Najjar, H. (2021). A Comparative Assessment of Time Series Forecasting Using NARX and SARIMA to Predict Hourly, Daily, and Monthly Global Solar Radiation Based on Short-Term Dataset. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(9), 8827–8848. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05669-6>
- [5] AlShafeey, M., & Csáki, C. (2021). Evaluating neural network and linear regression photovoltaic power forecasting models based on different input methods. *Energy Reports*, 7, 7601–7614. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.10.125>
- [6] Diaz-Bello, D., Vargas-Salgado, C., Alcazar-Ortega, M., & Alfonso-Solar, D. (2025). Optimizing photovoltaic power plant forecasting with dynamic neural network structure refinement. *Scientific Reports*, 15(1), 3337. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80424-z>
- [7] Rd. Reyhan Triwibowo, Ignatius R. Mardiyanto, & Mulki R. B Pratama. (2024). Sistem Kontrol Pada Solar Tracker Dual Axis Berbasis Arduino dan Light Dependent Resistor (LDR). *Jurnal Teknik Energi*, 13(1), 52–57. <https://doi.org/10.35313/v13i1.5219>
- [8] Ardhana, I. Y., & Asy'ari, H. (n.d.). PENGEMBANGAN SISTEM SOLAR TRACKER DUAL-AXIS BERBASIS IOT DAN KONTROL BEBAN JARAK JAUH DENGAN RELAY UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIVITAS PLTS OFF-GRID.
- [9] Wijanarko, Y., Rasyad, S., & Amelia, P. (2025). Analisis Perbandingan Kinerja Solar Tracker Single-Axis dan Fixed Panel pada PLTS 2x100 Wp. 12.
- [10] Li, B., Wang, Z., Guo, Y., Zhou, X., Qiao, B., & Han, L. (2026). LSTM-GRU hybrid model for multi-layer microclimate prediction in solar greenhouse. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-49691-w>
- [11] Li, Y.-X., Zhou, Q., Zhang, X.-H., Chen, J.-J., & Wang, H.-D. (2025). Mid-Long-Term Power Load Forecasting of Building Group Based on Modified NGO. *Energies*, 18(3), 668. <https://doi.org/10.3390/en18030668>
- [12] Abdulameer, Y. H. (2025). Forecasting of Electrical Energy Consumption Using Hybrid Models of GRU, CNN, LSTM, And ML Regressors. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 16(1), 560–575. <https://doi.org/10.58346/JOWUA.2025.I1.033>