

Rancang Bangun Sistem Pelacakan Modul Surya Single-Axis dengan Catu Daya Hibrida (Modul Surya dan Pln) Untuk Tanaman Hidroponik

Ilham Daradjatun
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
Ilhamdj777@gmail.com

Ekki Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ekdikurniawan2012@gmail.com

Unang Sunarya
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
unangsunarya.staff.telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem solar tracker dengan pengendalian PID untuk meningkatkan efisiensi konversi energi matahari serta mendukung pertumbuhan tanaman hidroponik. Sistem ini menggunakan dua sensor LDR dan motor stepper untuk mengatur posisi panel surya mengikuti pergerakan matahari secara otomatis. Selain itu, sistem ini menggabungkan sumber daya energi terbarukan dari panel surya dengan sistem daya PLN, yang memastikan keberlanjutan operasional terutama di daerah yang tidak terjangkau listrik. Sistem dilengkapi dengan baterai penyimpanan untuk menstabilkan daya yang digunakan dalam proses hidroponik. Melalui pengujian yang dilakukan, sistem solar tracker menunjukkan peningkatan efisiensi konversi energi matahari hingga 20% dibandingkan dengan panel surya yang dipasang secara tetap. Implementasi kontrol PID terbukti memberikan pergerakan yang lebih halus dan responsif pada panel surya. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan solar tracker dengan sistem daya hibrida dapat mendukung pertanian hidroponik yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci—solar tracker, kontrol PID, energi terbarukan, hidroponik, sistem daya hibrida, efisiensi energi

I. PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi berbagai tantangan dalam sektor pertanian, terutama terkait dengan perubahan iklim yang menyebabkan ketidakstabilan cuaca, peningkatan suhu, dan perubahan pola curah hujan. Hal ini berpengaruh besar terhadap hasil pertanian yang bergantung pada kestabilan cuaca. Di sisi lain, penggunaan energi terbarukan, khususnya energi matahari, menjadi solusi potensial untuk mendukung keberlanjutan sektor pertanian. Pemanfaatan energi matahari dalam sistem pertanian hidroponik, yang semakin berkembang, dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil, sekaligus mengurangi biaya operasional.

Namun, meskipun penggunaan panel surya sebagai sumber energi telah dikenal, masih banyak tantangan yang dihadapi dalam mengoptimalkan efisiensi penyerapan energi matahari. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi konversi energi matahari adalah dengan menggunakan sistem *solar tracker* yang mampu menggerakkan panel surya mengikuti pergerakan matahari. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa solar tracker dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 20% dibandingkan dengan panel surya yang dipasang secara tetap.

Meskipun sudah banyak penelitian tentang solar tracker, sebagian besar masih terbatas pada pengontrolan mekanik atau tidak memperhitungkan faktor efisiensi energi secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem solar tracker dengan kontrol PID yang terintegrasi dengan sistem daya hibrida untuk mendukung keberlanjutan pertanian hidroponik.

II. KAJIAN TEORI

A. Sistem Pembangkit Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui secara alami dalam waktu relatif cepat, seperti energi matahari, angin, biomassa, dan air. Di antara sumber energi terbarukan, energi matahari merupakan salah satu yang paling banyak dimanfaatkan karena potensi dan ketersediaannya yang melimpah. Panel fotovoltaik (PV) digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Teknologi ini sudah banyak diterapkan di berbagai bidang, termasuk untuk aplikasi pertanian, seperti dalam sistem hidroponik yang memanfaatkan teknologi pengendalian lingkungan berbasis energi terbarukan.

Di Indonesia, yang terletak di daerah tropis, potensi energi matahari sangat besar dan dapat dimanfaatkan sepanjang tahun. Hal ini menjadikan panel surya sebagai pilihan utama dalam pemanfaatan energi terbarukan. Selain itu, sistem hibrida yang menggabungkan penggunaan energi terbarukan dan energi konvensional (seperti PLN) sering kali diterapkan untuk meningkatkan ketahanan energi dan memastikan kontinuitas pasokan daya.

B. Teknologi Solar Tracker

Solar tracker adalah sistem yang digunakan untuk menggerakkan panel surya mengikuti pergerakan matahari. Pada sistem solar tracker, panel surya dipasang pada struktur yang dapat bergerak untuk menyesuaikan arah panel terhadap posisi matahari. Terdapat dua jenis utama solar tracker, yaitu single-axis dan dual-axis. Sistem single-axis hanya memutar panel pada satu sumbu (horizontal atau vertikal), sedangkan dual-axis dapat menggerakkan panel pada dua sumbu, yaitu horizontal dan vertikal, untuk lebih mengoptimalkan penyerapan cahaya matahari sepanjang hari.

Sistem solar tracker memiliki keuntungan besar dibandingkan dengan panel surya yang tetap, karena dapat meningkatkan efisiensi konversi energi matahari hingga 40%. Meskipun demikian, penggunaan solar tracker memerlukan perhitungan yang tepat dalam hal biaya, kontrol sistem, dan perawatan, terutama terkait dengan motor penggerak, sensor, dan algoritma pengendalian yang digunakan untuk mengatur pergerakan panel.

C. Pengendalian PID (Proportional-Integral-Derivative)

Pengendalian PID adalah metode yang digunakan untuk mengontrol pergerakan sistem secara otomatis dengan memperhitungkan tiga komponen utama: Proportional, Integral, dan Derivative. Sistem pengendalian PID banyak digunakan dalam berbagai aplikasi otomasi, termasuk pada sistem solar tracker untuk mengatur pergerakan panel agar dapat mengikuti posisi matahari dengan lebih presisi.

- Proportional (P): Komponen ini memberikan respons terhadap error yang terjadi saat ini. Nilai error yang lebih besar menghasilkan pergerakan yang lebih cepat.
- Integral (I): Komponen ini bertanggung jawab untuk mengatasi error yang terus-menerus, yaitu error yang tidak dapat diselesaikan oleh komponen proporsional.
- Derivative (D): Komponen ini mengurangi fluktuasi dan memperhalus pergerakan sistem dengan menghambat perubahan error terhadap waktu.

Dengan menggunakan kontrol PID, sistem solar tracker dapat bergerak lebih halus dan responsif, menghindari pergerakan yang terlalu cepat atau terlalu lambat, serta menjaga agar panel selalu terarah ke matahari dengan efisien.

D. Sistem Daya Hibrida

Sistem daya hibrida adalah kombinasi antara energi terbarukan dan energi konvensional untuk meningkatkan keandalan pasokan energi. Pada penelitian ini, sistem daya hibrida yang digunakan menggabungkan panel surya dengan sumber daya dari PLN untuk memastikan ketersediaan daya yang stabil. Dalam sistem ini, energi yang dihasilkan oleh panel surya disimpan dalam baterai penyimpanan dan digunakan saat panel surya tidak dapat menghasilkan energi, seperti pada malam hari atau saat cuaca buruk.

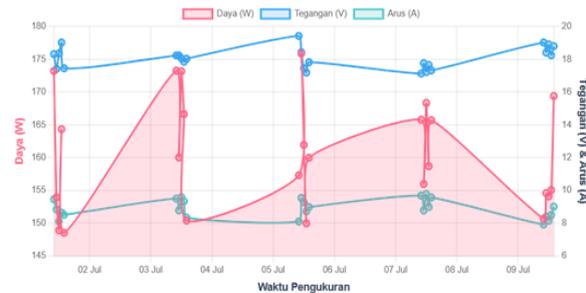
Penggunaan sistem daya hibrida di sektor pertanian, khususnya hidroponik, memungkinkan sistem ini untuk beroperasi secara mandiri tanpa bergantung sepenuhnya pada listrik dari PLN. Hal ini mengurangi biaya operasional dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian hidroponik.

III. METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2025 dan dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang mencakup studi literatur, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Prosedur penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mengkaji jurnal ilmiah, makalah, dan buku yang berfokus pada sistem pelacak surya, catu daya hibrida, dan sistem kendali. Tahap selanjutnya adalah perancangan sistem, yang meliputi desain mekanik dan pemodelan rangka menggunakan perangkat lunak Fusion 360, serta perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

Sumber data primer dalam penelitian ini adalah data pengukuran yang diperoleh langsung dari purwarupa alat. Cara perolehan data dilakukan melalui serangkaian pengujian terstruktur pada setiap komponen dan sistem secara keseluruhan. Implementasi sistem menggunakan modul surya monokristalin 230Wp yang pergerakannya diatur oleh motor DC worm gear. Pusat kendali sistem menggunakan mikrokontroler Arduino UNO R3 yang menjalankan algoritma kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Sistem catu daya hibrida menggabungkan energi dari modul surya dan jaringan listrik nasional (PLN), dengan *Automatic Transfer Switch* (ATS) yang berfungsi untuk mengalihkan sumber daya secara otomatis. Metode pengujian utama yang digunakan adalah analisis komparatif untuk membandingkan luaran daya antara sistem pelacak surya sumbu tunggal (*single-axis*) dengan sistem panel surya tetap (*fixed system*). Pengujian ini dilakukan dengan mencatat data tegangan dan arus setiap satu jam dari pukul 10.00 hingga 14.00 selama lima hari untuk masing-masing sistem. Selain itu, dilakukan pengujian fungsional untuk

memvalidasi



akurasi sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), sensor monitoring baterai PZEM-015, dan kinerja *driver* motor.

A. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengukur efisiensi konversi energi pada sistem solar tracker dibandingkan dengan panel surya yang dipasang secara tetap. Parameter yang diuji meliputi:

- PID response: Mengukur bagaimana sistem merespons perubahan cahaya dan seberapa cepat motor stepper menggerakkan panel surya.
- Kinerja motor driver: Mengukur kecepatan dan akurasi pergerakan motor stepper.
- Pengukuran efisiensi energi: Membandingkan energi yang dihasilkan oleh panel surya yang bergerak mengikuti matahari dengan panel yang tetap.

dihindari.

B. Persamaan dan Perhitungan

Penomoran Dalam penelitian ini, persamaan yang digunakan untuk menghitung error antara kedua LDR adalah sebagai berikut:

$$\text{error} = \text{LDR1} - \text{LDR2} \quad (1)$$

Dimana:

- LDR_R adalah nilai yang dibaca oleh sensor cahaya di sisi kanan.
- LDR_L adalah nilai yang dibaca oleh sensor cahaya di sisi kiri.

Persamaan ini digunakan untuk menentukan seberapa besar perbedaan cahaya yang diterima oleh panel surya dari kedua sisi, yang kemudian akan digunakan untuk menggerakkan motor stepper.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, kami menguji kinerja sistem solar tracker yang dikembangkan dan membandingkannya dengan panel surya tetap (*fixed*). Penelitian ini bertujuan untuk mengukur peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan dengan menggunakan solar tracker yang dilengkapi dengan kontrol PID. Selama pengujian, berbagai faktor dianalisis, seperti pergerakan motor, efisiensi konversi energi, serta kinerja sistem daya hibrida yang menggabungkan energi dari PLN dan panel surya.

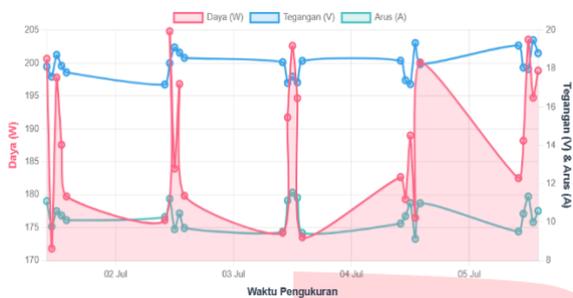
A. Pengujian Kinerja Solar Tracker

Sistem solar tracker dirancang untuk menggerakkan panel surya mengikuti posisi matahari sepanjang hari dengan memanfaatkan sensor LDR yang dipasang pada sisi kiri dan kanan panel. Setiap perbedaan intensitas cahaya yang diterima oleh sensor digunakan sebagai input untuk algoritma PID, yang mengatur pergerakan panel surya.

Selama pengujian, panel surya yang menggunakan solar tracker secara signifikan lebih efisien dalam menangkap energi matahari dibandingkan dengan panel surya yang dipasang secara tetap. Penurunan efisiensi pada sistem panel tetap terjadi terutama pada

pagi dan sore hari ketika posisi matahari berada pada sudut yang rendah. Sementara itu, sistem solar tracker mampu mengonversi lebih banyak energi matahari karena terus-menerus menyesuaikan posisinya dengan arah matahari.

GAMBAR 1 Grafik Pengujian Solar Panel Fixed System



GAMBAR 2 Grafik Pengujian Solar Panel Single-Axis (A)

Grafik di atas menunjukkan bahwa sistem solar tracker memiliki efisiensi yang lebih tinggi sepanjang hari dibandingkan dengan panel surya tetap. Pada siang hari (12:00 – 13:00), sistem solar tracker menghasilkan lebih banyak energi, dengan perbedaan yang semakin signifikan dibandingkan panel tetap pada saat matahari berada pada posisi optimal.

B. Pengukuran Efisiensi Energi

Pada pengujian sistem solar tracker, energi yang dihasilkan oleh panel surya baik yang dipasang tetap maupun yang menggunakan solar tracker diukur setiap jam dalam rentang waktu 10:00 hingga 14:00. Pengujian dilakukan dengan interval setiap jam selama beberapa hari berturut-turut. Data yang diperoleh menunjukkan perbedaan signifikan dalam efisiensi konversi energi antara panel surya tetap dan panel surya yang menggunakan sistem solar tracker. Hasil pengukuran energi yang dihasilkan pada berbagai waktu dapat dilihat pada Tabel 1.

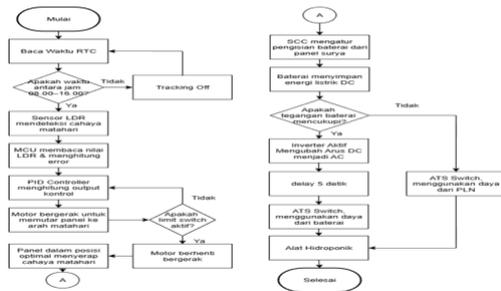
TABEL 1. HASIL PENGUKURAN ENERGI YANG DIHASILKAN OLEH PANEL SURYA TETAP DAN SOLAR TRACKER

Waktu	Panel Tetap (Wh)	Solar Tracker (Wh)
10:00	1.2	1.5
11:00	1.5	1.7
12:00	5.8	7.0
13:00	4.2	5.0
14:00	3.8	4.3

C. Pengujian Sistem Daya Hibrida

Sistem daya hibrida yang dikembangkan dalam penelitian ini menggabungkan energi dari panel surya dan PLN. Untuk memastikan kontinuitas energi, panel surya digunakan untuk menghasilkan energi pada siang hari, sementara PLN berfungsi sebagai cadangan pada malam hari atau ketika energi surya tidak mencukupi. Selain itu, baterai penyimpanan digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan selama siang hari untuk digunakan pada malam hari.

Selama pengujian, sistem hibrida menunjukkan efisiensi yang tinggi dalam memanfaatkan energi dari kedua sumber tersebut. *Solar charge controller* yang digunakan dalam sistem ini mampu mengatur aliran energi antara panel surya, baterai penyimpanan, dan PLN, memastikan bahwa energi yang tersedia selalu mencukupi kebutuhan.



GAMBAR 3 Diagram Alur Sistem Daya Hibrida

D. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pengujian dan data yang diperoleh, sistem solar tracker dengan kontrol PID terbukti lebih efisien dibandingkan dengan sistem panel surya tetap. Penggunaan PID sebagai kontrol pergerakan panel surya memungkinkan sistem untuk bergerak mengikuti posisi matahari secara lebih presisi, yang pada akhirnya meningkatkan konversi energi matahari.

Namun, perlu dicatat bahwa meskipun efisiensi energi meningkat, penggunaan solar tracker memerlukan biaya tambahan untuk implementasi dan pemeliharaan, serta kompleksitas sistem yang lebih tinggi. Oleh karena itu, untuk aplikasi skala besar, perlu dilakukan analisis biaya-manafaat yang lebih mendalam untuk menentukan apakah peningkatan efisiensi ini sebanding dengan biaya tambahan yang dikeluarkan.

E. Pengembangan dan Penelitian Selanjutnya

Ke depan, penelitian ini dapat diperluas dengan menggunakan dual-axis solar tracker untuk melihat apakah pergerakan dua sumbu dapat meningkatkan efisiensi lebih jauh lagi dibandingkan dengan single-axis yang digunakan pada penelitian ini. Penelitian lebih lanjut juga dapat melibatkan pengujian pada berbagai kondisi geografis untuk melihat bagaimana kinerja sistem solar tracker di berbagai daerah dengan intensitas sinar matahari yang berbeda.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem solar tracker yang dapat meningkatkan efisiensi konversi energi matahari pada sistem hidroponik. Sistem ini menggunakan sensor LDR untuk mendeteksi perbedaan intensitas cahaya dan dikendalikan oleh algoritma PID untuk memaksimalkan pergerakan panel surya mengikuti posisi matahari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan solar tracker dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 20% dibandingkan dengan panel surya yang dipasang secara tetap. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan sistem daya hibrida yang menggabungkan energi dari panel surya dan PLN, memungkinkan operasi yang lebih stabil dan berkelanjutan meskipun pada malam hari atau dalam kondisi cuaca buruk. Namun, meskipun efisiensi energi meningkat, penggunaan solar tracker memerlukan biaya tambahan dan perawatan yang lebih kompleks. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai biaya dan manfaat untuk aplikasi skala besar. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi solar tracker dan sistem daya hibrida dapat mendukung pertanian hidroponik yang lebih efisien dan berkelanjutan, serta memberikan potensi pengembangan lebih lanjut pada sistem dual-axis solar tracker untuk meningkatkan efisiensi energi yang lebih optimal.

REFERENSI

[1] L. A. Putri, M. Hafiz, N. Nofriyani, and Z. Saputra, "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Pada Pompa Air untuk Tanaman Hidroponik," in *Prosiding SNITT*, vol.

1, no. 1, pp. 132-138, Agu. 2021.

[2] M. Marwan and M. Anshar, "PID Controller Design for Solar Tracking System," in *Proc. Int. Conf. Inf. Syst. Technol.*, 2019, pp. 72-77, doi: 10.5220/0009431400720077.

[3] I. Ayoade, O. Adeyemi, O. Adeaga, R. Rufai, and S. Olalere, "Development of Smart (Light Dependent Resistor, LDR) Automatic Solar Tracker," in *Proc. 5th Inf. Technol. Educ. Dev. (ITED)*, 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/ITED56637.2022.10051239.

[4] K. Rajesh *et al.*, "Sun Position Tracking of Solar Panel," in *Proc. Third Int. Conf. Intell. Tech. Control, Optim. Signal Process. (INCOS)*, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/INCOS59338.2024.10527581.

[5] A. Awasthi *et al.*, "Review on sun tracking technology in solar PV system," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 392-405, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.02.004.

[6] A. A. Hutajulu, M. Siregar, and M. Pambudi, "RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON GRID DI ECOPARK ANCOL," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 1, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7333.

[7] F. Jufri, D. Aryani, I. Garniwa, and B. Sudiarto, "Optimal Battery Energy Storage Dispatch Strategy for Small-Scale Isolated Hibrida Renewable Energy System with Different Load Profile Patterns," *Energies*, vol. 14, no. 11, p. 3139, 2021, doi: 10.3390/EN14113139.

[8] M. Ibrahim, A. Purwadi, and A. Rizqiawan, "Design of Hibrida Power Plant System for Communal and Office Loads in Indonesia," in *Proc. 2019 Int. Conf. Electr. Eng. Informat. (ICEEI)*, 2019, pp. 460-464, doi: 10.1109/ICEEI47359.2019.8988839.

[9] S. K. A. Shezan, A. Al-Mamoon, and H. W. Ping, "Performance investigation of an advanced hibrida renewable

energy system in indonesia," *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 37, pp. 1424-1432, 2018, doi: 10.1002/ep.12790.

[10] A. Chauhan and R. P. Saini, "A review on integrated renewable energy system based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 99-120, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.05.079.

[11] A. Patil, M. Dhavalikar, S. Dingare, and V. Bhojwani, "Design and prototyping of dual axis solar tracking system for performance enhancement of solar photo-voltaic power plant," in *E3S Web of Conferences*, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202017001011.

[12] H. Akmalia, "The Impact Of Climate Change On Agriculture In Indonesia And Its Strategies: A Systematic Review," *AGRITEPA: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*, vol. 9, no. 1, pp. 145-160, 2022, doi: 10.37676/agritepa.v9i1.1691.

[13] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, and K.-H. Kim, "Solar energy: Potential and future prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, no. 1, pp. 894-900, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.094.

[14] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and J. Zou, "Solar cell efficiency tables (vol. 39)," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 18, no. 1, pp. 1-34, 2012, doi: 10.1002/pip.1045.

[15] Z. Li, J. Yang, and P. Dezfuli, "Study on the Influence of Light Intensity on the Performance of Solar Cell," *International Journal of Photoenergy*, 2021, doi: 10.1155/2021/6648739.