

Pemanfaatan Panel Surya Untuk Mengisi Daya Baterai Pada Sepeda Listrik Menggunakan Pengontrol Pengisian Baterai Tipe Maximum Power Point Tracking (Mppt)

Muhammad Farhan
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
BANDUNG, INDONESIA
mfvarhan@student.telkomuniversity.ac.id

Ekki Kurniawan
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
BANDUNG, INDONESIA
ekkekikurniawan@telkomuniversity.ac.id

Porman Pangaribuan
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
BANDUNG, INDONESIA
porman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif pada sistem sepeda listrik memerlukan sistem pengisian baterai yang mampu bekerja dalam menghadapi fluktuasi daya keluaran panel surya akibat perubahan intensitas radiasi matahari. Metode yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya adalah pengontrol pengisian baterai tipe *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem pengisian baterai sepeda listrik berbasis panel surya menggunakan pengontrol pengisian baterai tipe MPPT serta menganalisis efisiensi pengontrol tersebut berdasarkan parameter tegangan, arus, dan daya. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian lapangan dengan pengukuran tegangan, arus, daya, dan radiasi matahari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata efisiensi relatif panel surya sebesar 0,2232 atau 22,32%. Efisiensi relatif pengisian pada pengontrol MPPT berada pada kisaran 39,4% hingga 113,4%, mayoritas nilai berada pada rentang 90–99%. Dilakukan seleksi data berdasarkan kriteria efisiensi relatif ($\eta \leq 1$), diperoleh nilai rata-rata efisiensi relatif pengisian MPPT sebesar 0,91 atau 91%.

Kata kunci— Panel Surya, *Solar charge controller*, MPPT, sepeda listrik, pengisian baterai, efisiensi relative.

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan menunjukkan perkembangan yang signifikan Sektor transportasi menjadi bidang yang memiliki tingkat inovasi/pembaruan yang tinggi sehingga penggunaan energi terbarukan mengalami perkembangan yang signifikan. Meningkatnya perhatian terhadap isu lingkungan mendorong penggunaan kendaraan listrik sebagai solusi transportasi yang lebih berkelanjutan. Dalam konteks tersebut, panel surya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pendukung pada sepeda listrik. Meskipun demikian, proses pengisian baterai sepeda listrik hingga saat ini masih bergantung pada sumber listrik konvensional. Selain itu, karakteristik keluaran panel surya yang berubah-ubah akibat variasi intensitas cahaya matahari dapat menyebabkan penurunan efisiensi pengisian baterai apabila tidak dilengkapi dengan sistem pengendalian yang sesuai.

Sejumlah penelitian telah mengkaji pemanfaatan panel surya serta penerapan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Cara ini diketahui dapat meningkatkan

perolehan daya dari panel surya dengan penyesuaian titik operasi panel terhadap perubahan kondisi lingkungan [13]. Meskipun demikian, masih terbatas penelitian yang secara khusus menerapkan MPPT pada sistem pengisian baterai sepeda listrik dan melakukan evaluasi kinerja secara langsung masih tergolong terbatas [15]. Di lingkungan Telkom University, sistem transportasi kampus masih banyak bergantung pada sepeda listrik konvensional dan layanan penyewaan yang bersifat berbayar, sementara sejumlah sepeda non-listrik belum dimanfaatkan secara maksimal. Di sisi lain, penerapan panel surya pada sepeda listrik menghadapi kendala berupa karakteristik daya keluaran yang berfluktuasi, yang berpotensi menurunkan efisiensi proses pengisian baterai apabila tidak dilengkapi dengan sistem pengontrol pengisian yang sesuai.

Telah diuraikan beberapa permasalahan, Solusinya dengan melakukan penelitian yang memiliki tujuan merancang dan merealisasikan sistem pengisian baterai sepeda listrik berbasis panel surya dengan memanfaatkan pengontrol pengisian baterai tipe MPPT. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi pengontrol pengisian baterai dalam mengoptimalkan daya keluaran panel surya. Hasil penelitian diharapkan dapat mendukung pengembangan sepeda listrik yang memiliki efisiensi lebih baik, ramah lingkungan, serta berkontribusi terhadap terciptanya sistem transportasi kampus yang berkelanjutan.

II. KAJIAN TEORI

A. Pengertian dan Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya merupakan perangkat energi terbarukan yang terdiri atas kumpulan sel yang memiliki fungsi untuk mengubah radiasi dari matahari diolah menjadi listrik searah. Cara kerja panel surya didasarkan pada efek fotovoltaik, dimana proses ini merubah energi radiasi matahari menjadi arus listrik searah. Berdasarkan jenis material yang digunakan dan proses pembuatannya, panel surya secara umum dikelompokkan ke dalam beberapa jenis, antara lain panel surya monokristalin, polikristalin, dan *thin film photovoltaic* [2].

Dalam penggunaannya, panel surya dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang berasal dari energi matahari. Namun, berbagai faktor lingkungan, seperti perubahan suhu permukaan panel dan variasi intensitas

cahaya matahari, dapat memengaruhi kinerja panel surya, yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi proses konversi energi. [3]. Dengan demikian, untuk menentukan besarnya daya masukan panel surya, diperlukan perhitungan menggunakan persamaan pada persamaan 1 sebagai berikut:

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

Persamaan 1 tersebut P_{in} merupakan daya masukan panel (W), selain itu I_{rad} merupakan radiasi dari matahari (W/m^2) dan A merupakan luas permukaan panel (m^2). Sedangkan mencari daya keluaran yang dihasilkan panel surya dapat dituliskan persamaan 2 sebagai berikut:

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

Persamaan 2 mencari P_{out} yang diartikan sebagai daya yang dihasilkan oleh panel surya, V_{pv} merupakan tegangan panel surya (V), I_{pv} merupakan arus yang dihasilkan panel surya (A).

B. Baterai

Pada penelitian tugas akhir ini, baterai berperan sebagai media penyimpanan energi listrik hasil konversi oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk mengoperasikan beban. Pada kendaraan listrik, khususnya sepeda listrik, baterai berperan sebagai sumber utama energi penggerak. Berdasarkan sifat dan karakteristik proses penggunaannya, baterai diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat digunakan satu kali dan tidak dapat diisi ulang setelah energinya habis. Sebaliknya, baterai sekunder merupakan baterai yang dapat digunakan kembali melalui proses pengisian ulang. Beberapa tipe baterai yang dikategorikan sebagai baterai sekunder antara lain baterai ion litium (*lithium-ion*), lithium polymer (*Li-Po*), baterai timbal-asam (*lead acid/accu*), serta nickel–metal hydride (*Ni-MH*).

Pada baterai lithium-ion, mekanisme penyimpanan dan pelepasan energi terjadi melalui perpindahan ion litium antara elektroda selama siklus pengisian dan pengosongan. Kinerja dan performa baterai ini dipengaruhi oleh sejumlah parameter penting, antara lain besar arus pengoprasian, tegangan pada setiap sel, kondisi temperatur kerja, nilai impedansi internal, kapasitas penyimpanan dalam satuan *ampere-hour* (*Ah*), serta nilai *state of charge* (*SOC*). Pengaturan arus dan tegangan yang tepat serta kontrol temperature baterai menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan dan memperpanjang umur pakai baterai [7].

C. Motor Blde

Motor BLDC (*Brushless Direct Current*) merupakan motor listrik yang berjalan tanpa komponen sikat dan komutator mekanis. Dengan menggunakan sistem pengendalian berbasis semikonduktor pada motor ini memungkinkan proses pembalikan arus dijalankan secara elektronik, sehingga menghasilkan kinerja yang lebih efisien, umur pakai yang lebih panjang, serta putaran yang lebih stabil dan bekerja pada tingkat kebisingan yang rendah dibandingkan motor DC konvensional. Motor BLDC memanfaatkan interaksi antara medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik pada kumparan stator dan medan magnet dari magnet permanen pada rotor. Interaksi medan magnet tersebut menghasilkan gaya tarik dan dorong yang menyebabkan rotor berputar, sehingga energi listrik dapat dikonversi menjadi energi mekanik berupa gerakan putar pada poros motor.

D. Pengontrol Pengisian Baterai

Pengontrol pengisian baterai atau *solar charge controller* merupakan perangkat yang memiliki fungsi untuk mengelola aliran energi listrik dari panel surya ke baterai dan beban. Perangkat ini berperan dalam mengatur atau mengelola besar tegangan dan arus selama proses pengisian, melindungi baterai dari kondisi pengisian berlebih (*overcharging*), serta melakukan kontrol pada proses pengosongan baterai agar tidak mengalami proses *pengosongan baterai berlebih*. Dengan penggunaan pengontrol pengisian baterai, sistem pengisian energi dapat beroperasi secara lebih aman dan efisien, sekaligus membantu memperpanjang umur pakai baterai melalui pengaturan arus dan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan sistem.

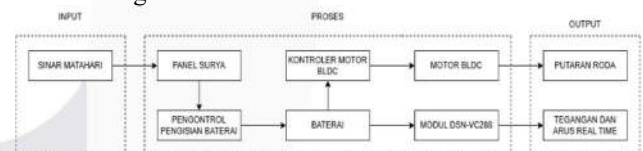
Dilihat secara keseluruhan, pengontrol pengisian baterai diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu pengontrol pengisian baterai tipe *Pulse Width Modulation* (*PWM*) dan *Maximum Power Point Tracking* (*MPPT*). Pengontrol *PWM* bekerja dengan melakukan pengaturan lebar pulsa yang digunakan untuk menyesuaikan tegangan pengisian baterai, sedangkan pengontrol *MPPT* memiliki kemampuan untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya dengan menjaga panel beroperasi pada titik daya maksimum.

III. METODE

A. Waktu dan Ruang Lingkup

Seluruh rangkaian kegiatan penelitian ini diselesaikan dalam satu siklus perkuliahan, mulai dari tahap perancangan konsep hingga perakitan sistem, pengujian kinerja, dan evaluasi hasil yang diperoleh. Proses pengambilan data dilakukan secara langsung di lingkungan pengujian nyata agar hasil yang diperoleh mencerminkan kondisi operasi sebenarnya, sehingga data yang dihasilkan merupakan nilai relatif bukan merupakan nilai absolut.

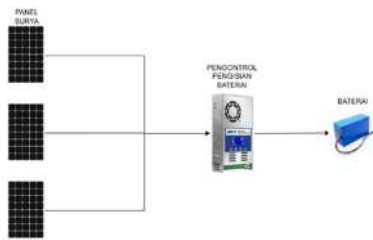
B. Rancangan Sistem



GAMBAR 1

Diagram Block Sistem

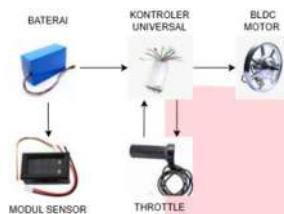
Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem sepeda listrik yang menggunakan panel surya komponen utama. Energi matahari dikonversi menjadi energi listrik searah oleh panel surya dan dialirkan ke pengontrol pengisian baterai untuk mengatur arus dan tegangan pengisian sesuai kapasitas baterai. Energi yang tersimpan pada baterai selanjutnya digunakan untuk menyuplai kontroler motor BLDC, yang mengatur kerja motor. Motor BLDC berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menggerakkan roda sepeda. Selain itu, modul DSN-VC288 digunakan untuk memantau tegangan dan arus sistem secara real-time sebagai dasar evaluasi kinerja dan efisiensi sistem. Pada Gambar 2 merupakan desain perangkat keras sistem pengontrol pengisian baterai sebagai berikut:



GAMBAR 2

Sistem Pengisian Baterai

Pada Gambar 3 merupakan desain perangkat keras sistem sepeda listrik sebagai berikut:



GAMBAR 3

Sistem Sepeda Listrik

Selain itu, pada gambar 4 menunjukkan sepeda listrik memanfaatkan panel surya untuk mengisi daya baterai sebagai berikut:



GAMBAR 4

Pengisian Sepeda Listrik

C. Metode Analisis

Perhitungan efisiensi relatif panel surya dinyatakan pada Persamaan (3) sebagai berikut:

$$\eta_{PV} = \frac{P_{PV}}{G \times A} \tag{3}$$

Perhitungan efisiensi relatif pengisian secara matematis dinyatakan pada Persamaan (4) sebagai berikut:

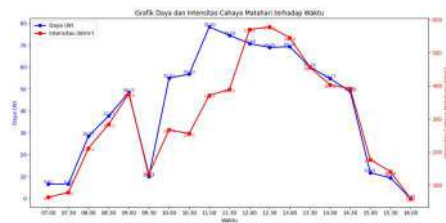
$$\eta_{charg} = \frac{P_{bat}}{P_{PV}} \tag{4}$$

Perhitungan efisiensi relatif sistem secara matematis dinyatakan pada Persamaan (5) sebagai berikut:

$$\eta_{sistem} = \eta_{PV} \times \eta_{pengisian} \tag{5}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Panel Surya

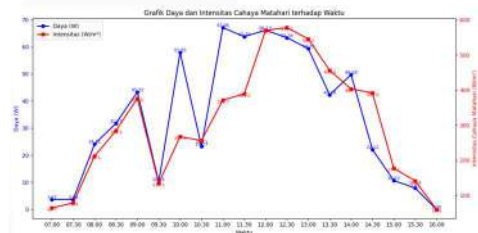


GAMBAR 5

Pengujian Panel Surya Dengan Beban

Gambar 5, Menunjukkan bahwa besarnya daya yang dihasilkan panel surya memiliki hubungan yang signifikan dengan intensitas radiasi matahari. Dibuktikan pada rentang waktu pagi hari antara pukul 07.00 hingga 08.00, rendahnya intensitas radiasi menyebabkan daya keluaran panel berada pada nilai yang rendah. Dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari pada periode 08.00–11.00, daya keluaran yang dihasilkan panel surya meningkat dan mencapai kondisi maksimal pada pukul 11.00 dengan nilai daya sebesar 78,40 W pada intensitas 371,7 W/m². Setelah melewati waktu tersebut, meskipun intensitas radiasi masih relatif tinggi, daya keluaran panel menunjukkan kecenderungan menurun yang dipengaruhi oleh peningkatan suhu permukaan panel. Selain itu, perubahan kondisi cuaca seperti awan menyebabkan fluktuasi daya. Pada pukul 16.00 intensitas radiasi yang sangat rendah mengakibatkan daya keluaran panel menjadi nol.

B. Pengujian Pengontrol Pengisian Baterai Tipe PWM

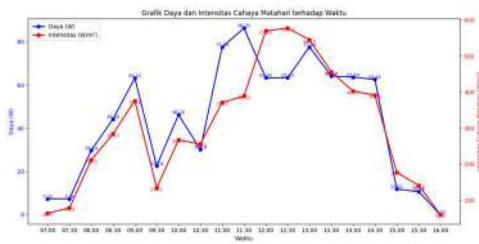


GAMBAR 6

Pengontrol Pengisian Baterai Tipe PWM

Gambar 6 menunjukkan bahwa variasi daya keluaran panel surya dipengaruhi oleh perubahan intensitas cahaya matahari. Pada awal pengujian (07.00–07.30), rendahnya intensitas cahaya menyebabkan daya yang dihasilkan panel masih kecil. Ketika intensitas cahaya meningkat pada periode 08.00–11.00, daya keluaran panel turut meningkat dan mencapai nilai tertinggi sebesar 67,06 W pada pukul 11.00 dengan intensitas 371,7 W/m². Perubahan kondisi cuaca, khususnya saat berawan, menyebabkan terjadinya fluktuasi daya, sedangkan pada sore hari penurunan intensitas cahaya mengakibatkan daya keluaran panel menurun hingga tidak menghasilkan daya pada pukul 16.00.

C. Pengujian Pengontrol Pengisian Baterai Tipe MPPT



GAMBAR 7

Pengontrol Pengisian Baterai Tipe MPPT

Gambar 0037, menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari secara langsung memengaruhi besarnya daya yang dihasilkan panel surya. Pada kondisi awal pengujian, saat intensitas cahaya masih rendah, daya keluaran panel berada pada kisaran 7,35 W. Ketika intensitas cahaya meningkat pada periode 08.00–09.00, daya keluaran panel mengalami peningkatan hingga mencapai 63,22 W. Namun, karena cuaca berawan dan intensitas cahaya yang rendah, terjadi penurunan daya pada pukul 09.30 dan 10.30. Pukul 11.30 merupakan waktu dimana diperoleh nilai daya tertinggi, yaitu sebesar 86,35 W pada intensitas cahaya 389,2 W/m², menunjukkan kinerja panel mendekati kondisi optimal atau maksimal. Selanjutnya, meskipun intensitas cahaya masih tergolong tinggi, daya keluaran panel menunjukkan fluktuasi dan kecenderungan menurun. Kondisi yang terjadi dipengaruhi oleh peningkatan suhu panel, hingga pada sore hari daya keluaran panel menurun dan tidak menghasilkan daya atau bernilai nol akibat rendahnya intensitas cahaya.

D. Hasil Analisis Efisiensi Relatif Panel Surya

Berdasarkan hasil data pengujian yang telah diolah atau dianalisis, diperoleh nilai rata-rata efisiensi relatif panel surya sebesar 0,2232. Nilai ini menunjukkan bahwa panel surya mampu mengonversi sekitar 22,32% energi radiasi matahari yang diterima menjadi energi listrik selama proses pengujian lapangan. Efisiensi relatif tersebut dipengaruhi oleh fluktuasi intensitas cahaya matahari, perubahan kondisi cuaca, serta konfigurasi sistem pengujian yang melibatkan panel surya, pengontrol pengisian baterai, dan baterai. Oleh karena itu, nilai efisiensi yang diperoleh tidak merepresentasikan efisiensi absolut panel surya.

E. Hasil Analisis Efisiensi Relatif Pengisian

Berdasarkan hasil pengolahan data pada pengontrol pengisian baterai tipe PWM, diperoleh nilai rata-rata efisiensi relatif pengisian baterai sebesar 0,815 atau sekitar 81,5%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem pengisian berbasis PWM mampu menyalurkan energi listrik dari panel surya ke baterai secara cukup efektif selama pelaksanaan pengujian di lapangan.

Berdasarkan hasil pengolahan data, efisiensi relatif pengisian pada pengontrol pengisian baterai tipe MPPT berada pada rentang 0,394 hingga 1,134, dengan sebagian besar nilai terkonsentrasi pada kisaran 0,90–0,99. Pada beberapa interval pengujian ditemukan nilai efisiensi relatif yang melebihi satu ($\eta > 1$), yang tidak merepresentasikan kondisi fisik sistem secara aktual dan dipengaruhi oleh keterbatasan akurasi pengukuran serta fluktuasi intensitas radiasi matahari yang terjadi secara cepat. Dengan

demikian, data dengan nilai efisiensi relatif lebih dari satu tidak digunakan dalam perhitungan rata-rata. Dari total 18 titik pengukuran, sebanyak 14 data memenuhi kriteria $\eta \leq 1$ dan digunakan sebagai dasar perhitungan, sehingga diperoleh nilai rata-rata efisiensi relatif pengisian sebesar sekitar 0,91. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengontrol pengisian baterai tipe MPPT mampu menyalurkan sekitar 91% daya dari panel surya ke baterai pada kondisi pengujian lapangan.

F. Hasil Analisis Efisiensi Relatif Sistem

Hasil pengolahan dan analisis data pada pengontrol pengisian baterai tipe PWM menunjukkan bahwa efisiensi relatif sistem berada pada rentang 0,050 hingga 0,310. Nilai efisiensi relatif maksimum diperoleh pada pukul 10.30, sedangkan nilai terendah umumnya terjadi pada waktu pagi dan sore hari. Variasi nilai efisiensi relatif tersebut dipengaruhi oleh perubahan efisiensi relatif panel surya serta kinerja pengisian PWM, yang keduanya sangat bergantung pada intensitas radiasi matahari dan kondisi pengisian baterai selama proses pengujian. Berdasarkan perhitungan rata-rata, diperoleh nilai efisiensi relatif sistem sebesar 0,161 atau setara dengan 16,1% selama rangkaian pengujian berlangsung.

Kinerja sistem pengisian baterai berbasis MPPT pada penelitian ini dievaluasi menggunakan parameter efisiensi relatif sistem, Nilai yang diperoleh tidak menyajikan nilai efisiensi absolut. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa efisiensi relatif sistem yang mengalami fluktuasi dalam rentang 0,039 hingga 0,323. Nilai efisiensi relatif tertinggi tercapai pada pukul 10.30, sedangkan efisiensi relatif terendah umumnya terjadi pada pagi dan sore hari, terutama terjadi pada rentang waktu 07.00–09.30 dan 14.30–15.30, yang berkaitan dengan rendahnya intensitas radiasi matahari serta arus pengisian baterai. Dari total 14 data pengukuran yang dinyatakan valid, diperoleh nilai rata-rata efisiensi relatif sistem sebesar 0,192 atau setara dengan 19,2%, yang menunjukkan bahwa sebagian energi matahari yang tersedia berhasil dikonversi dan disimpan sebagai energi listrik pada baterai selama kondisi pengujian berlangsung.

V. KESIMPULAN

Rangkaian pengisian baterai sepeda listrik yang memanfaatkan panel surya yang dirancang dengan menggunakan pengontrol pengisian baterai tipe MPPT telah berhasil direalisasikan atau diimplementasikan dan menunjukkan kinerja yang stabil selama pelaksanaan pengujian lapangan. Berdasarkan hasil pengolahan data pengujian, setelah dilakukan penyaringan data dengan kriteria efisiensi relatif $\eta \leq 1$, diperoleh nilai rata-rata efisiensi relatif pengisian sistem sebesar sekitar 0,91 atau setara dengan 91%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pengontrol pengisian baterai tipe MPPT memiliki kemampuan penyaluran daya yang cenderung lebih baik dibandingkan pengontrol tipe PWM pada kondisi pengujian yang sama.

Perlu ditekankan bahwa hasil perbandingan efisiensi ini bersifat kontekstual dan tidak menggambarkan efisiensi

absolut sistem. Selain itu, hasil perhitungan efisiensi relatif sistem secara keseluruhan menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,192 atau setara dengan 19,2%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem pengisian baterai dengan pengontrol MPPT memiliki kinerja efisiensi yang lebih unggul dibandingkan dengan sistem berbasis PWM pada kondisi pengujian lapangan.

REFERENSI

- [1] A. Viantika, J. Simamora, "PERANCANGAN CHARGING BATERAI PADA SEPEDA LISTRIK FAKULTAS TEKNIK MENGGUNAKAN TENAGA SURYA", vol. 5, no. 1, pp. 80-88, Juni 2022.
- [2] "Perbedaan Harga Panel Surya Polycrystalline Dan Monocrystalline," Sanspower, Sep. 2020. <https://www.sanspower.com/harga-panel-surya-polycrystalline-dan-monocrystalline.html> [diakses: 31 mei 2025].
- [3] B. H. Purwoto, Jatmiko, M. Alimul F, I. F.Huda, "EFISIENSI PENGGUNAAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF", vol. 18, no. 1, pp. 10-14, 2018.
- [4] S. A. Jumaat and M. H. Othman, "Solar Energy Measurement Using Arduino," *MATEC Web of Conferences*, vol. 150, 2018, doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815001007>.
- [5] Z. M. A. Putra, P. Asri, F. Romadlonir, R. R. Arnestanta, "Penerapan Algoritma *Particle Swarm Optimization* Untuk Meningkatkan Efisiensi Daya Keluaran Panel Surya", vol. 10, no. 2, pp-56-64, 2023.
- [6] N. M. A. Wijaya, I. N. S. Kumara, C. G. I. Partha, Y. Divayana, "PERKEMBANGAN BATERAI DAN CHARGER UNTUK Mendukung Pemasarakatan Sepeda Listrik Di Indonesia", vol. 8, no. 1, pp. 15-26, Maret 2021.
- [7] V. Selvaraj, "A Comprehensive Review of State of Charge Estimation Techniques for Lithium-Ion Batteries," *International Journal of Energy Storage*, vol. 11, no. 2, pp. 98–120, 2023.
- [8] N. F. Wahidin, E. Yadie, M. A. Putra, "Analisis Perbandingan Solar Charging Controller (SCC) Jenis PWM Dan MPPT Pada Automatic Handwasher with Workstation Bertenaga Surya Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 3, no. 1, pp. 12–20, Jun. 2022.
- [9] R. W. Sikumbang, "Analisis efisiensi solar charge controller menggunakan integrasi numerik dengan MATLAB Simulink," *KURVATEK*, vol. 9, no. 2, pp. 127–134, 2024, doi: 10.33579/krvtk.v9i2.5013.
- [10] A. Nurcahyo, "Desain solar charge controller metode FPPT atau pelacakan pengisian daya penuh untuk panel PV dan power station portabel," *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 10, no. 1, 2024, doi: 10.56521/teknika.v10i1.1232.
- [11] E. L. Utaril, I. Mustiadi, Yudianingsih, "Penerapan Sistem Kontrol Dengan Teknologi Pulse Width Modulation Pada Solar Panel", *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Universitas Respati Yogyakarta*, pp. 92-99, Desember 08, 2022.
- [12] R. H. G. Tan, C. K. Er, and S. G. Solanki, "Modeling of Photovoltaic MPPT Lead Acid Battery Charge Controller for Standalone System Applications," *E3S Web of Conferences*, vol. 182, 2020, Art. no. 03005, doi:10.1051/e3sconf/202018203005.
- [13] A. S. Putra, H. Afianti, dan R. Watiasih, "Comparative Analysis of Solar Charge Controller Performance Between MPPT and PWM on Solar Panels", *J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 1197–1202, 2022.
- [14] E. Faizal, Y. A. Winoko, M. S. Mustapa, dan M. Kozin, "Solar Charger Controller Efficiency Analysis of Type Pulse Width Modulation (PWM) and Maximum Power Point Tracking (MPPT)", *Asian J. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 50–55, 2022.
- [15] S. A. Hamoodi, A. A. A. Al-Karakchi, A. N. Hamoodi, "Studying performance evaluation of hybrid e-bike using solarphotovoltaic system", *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics (BEEI)*, vol. 11, no. 1, pp. 59–67, 2022.
- [16] G. A. Ramdhani, E. Kurniawan, and P. Pangaribuan, "Rancang bangun PLTS hybrid pada sistem hidroponik," *eProceedings of Engineering*, vol. 11, no. 5, 2024.
- [17] M. H. Fadhilah, E. Kurniawan, and U. Sunarya, "Perancangan dan implementasi MPPT charge controller pada panel surya menggunakan mikrokontroler untuk pengisian baterai sepeda listrik," *eProceedings of Engineering*, vol. 4, no. 3, 2017.
- [18] R. P. Hanifan, E. Kurniawan, and E. Susanto, "Integrasi modul sel surya pada baterai aluminium," *eProceedings of Engineering*, vol. 11, no. 5, 2024.
- [19] N. Wicaksanajati, E. Kurniawan, and U. K. Usman, "Analisis pembuatan elektrolit dengan panel surya," *eProceedings of Engineering*, vol. 11, no. 5, 2024.