

OPTIMASI MPPT PADA STASIUN PENGISIAN BATERAI MENGGUNAKAN METODE PID

AHMADI^[1], RENGGA ZEKLI PRIA PERDANA^[2]

^{[1],[2]}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya
Jl. Ahmad Yani Frontage Road Ahmad Yani No.114, Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya
e-mail: ^[1]ahmadi@ubhara.ac.id, ^[2]renggazekli@gmail.com

ABSTRACT

The increasing use of battery-powered electronic devices necessitates efficient and fast charging solutions. This research aims to optimize battery charging at a charging station using the Maximum Power Point Tracking (MPPT) method integrated with Proportional Integral Derivative (PID) control. This method is chosen to address overshoot issues and speed up the stabilization process. The study begins with a literature review to understand the basic theory of MPPT optimization and PID control. Subsequently, hardware and software for the battery charging station were designed and developed. An Arduino ATmega328 microcontroller was used as the main controller, with an LCD to display charging information. Tests were conducted on 12V batteries with capacities of 5Ah and 9Ah. The results showed that using PID control in MPPT optimization successfully increased battery charging efficiency. The fastest charging duration was achieved for a 12V 5Ah battery with parameters $K_p=6$, $K_i=9$, and $K_d=4$, where the battery was fully charged in 19 minutes, and for a 12V 9Ah battery with parameters $K_p=5$, $K_i=3$, $K_d=1$, where the battery was fully charged in 27 minutes. Conversely, the longest charging duration occurred for a 12V 5Ah battery with parameters $K_p=5$, $K_i=3$, $K_d=1$, where the battery was fully charged in 34 minutes, and for a 12V 9Ah battery with parameters $K_p=2$, $K_i=5$, $K_d=1$, with a charging time of 38 minutes. The designed system was able to reduce input current and increase input voltage to reach the 14.5V set point, ensuring that there was no excessive voltage and current that could prolong battery life. This research demonstrates that the PID method in MPPT optimization is effective in accelerating and optimizing battery charging. Future research is expected to further develop this method to improve battery charging efficiency and duration.

Keywords: MPPT, PID, Optimization, Battery Charger, Optimal, PWM

ABSTRAK

Penggunaan perangkat elektronik yang bertenaga baterai semakin meningkat memerlukan solusi pengisian yang efisien dan cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengisian baterai pada stasiun pengisian dengan menggunakan metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) yang diintegrasikan dengan kontrol Proportional Integral Derivative (PID). Metode ini dipilih untuk mengatasi masalah overshoot dan mempercepat waktu menuju keadaan stabil. Penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memahami teori dasar optimasi MPPT dan kontrol PID. Selanjutnya dirancang dan dibuat perangkat keras serta perangkat lunak untuk stasiun pengisian baterai. Mikrokontroler Arduino ATmega328 digunakan sebagai pengendali utama dengan LCD untuk menampilkan informasi pengisian. Pengujian dilakukan pada baterai aki 12V dengan kapasitas 5Ah dan 9Ah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan kontrol PID pada optimasi MPPT berhasil meningkatkan efisiensi pengisian baterai. Durasi pengisian yang paling cepat dicapai baterai 12V 5Ah dengan parameter $K_p=6$, $K_i=9$ dan $K_d=4$ dimana baterai terisi penuh dalam waktu 19 menit dan baterai 12V 9Ah dengan parameter $K_p=5$, $K_i=3$, $K_d=1$ dimana baterai terisi penuh dalam waktu 27 menit. Sebaliknya durasi pengisian terlama terjadi pada baterai 12V 5Ah dengan parameter $K_p=5$, $K_i=3$, $K_d=1$ baterai terisi penuh dalam waktu 34 menit dan baterai 12V 9Ah dengan parameter $K_p=2$, $K_i=5$, $K_d=1$ dengan waktu pengisian 38 menit. Sistem yang dirancang mampu mengurangi arus input dan meningkatkan tegangan input untuk mencapai set point 14.5V menjaga agar tidak terjadi tegangan dan arus berlebih yang dapat memperpanjang umur baterai. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode PID pada optimasi MPPT efektif dalam mempercepat dan mengoptimalkan pengisian baterai. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan lebih lanjut metode ini untuk meningkatkan efisiensi dan durasi pengisian baterai.

Kata kunci: MPPT, PID, Optimasi, Charger Baterai, Optimal, PWM

1. PENDAHULUAN

Penggunaan perangkat elektronik bertenaga baterai saat ini telah meningkat pesat. Seiring dengan bertambahnya kebutuhan akan perangkat elektronik, permintaan akan baterai dengan kapasitas lebih besar pun turut meningkat. Dalam berbagai aspek kehidupan modern, seperti komunikasi, transportasi, dan rumah tangga, perangkat elektronik telah menjadi kebutuhan yang tidak terpisahkan. Baterai yang mampu diisi ulang, seperti baterai aki, menjadi solusi yang populer untuk memenuhi kebutuhan ini. Namun, pengisian baterai aki sering kali menghadapi masalah seperti waktu pengisian yang lama dan pengisian yang tidak optimal, yang dapat mengurangi efisiensi dan kinerja perangkat yang menggunakan baterai tersebut. (Amin et al., 2022)

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan optimasi pengisian baterai menggunakan teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT). MPPT berfungsi untuk mengatur tegangan output agar selalu berada pada kondisi maksimal, memastikan bahwa daya yang dihasilkan oleh sumber daya listrik dapat dimanfaatkan secara optimal oleh baterai. Dalam konteks ini, metode kontrol Proportional Integral Derivative (PID) digunakan pada MPPT untuk menghilangkan overshoot dan mempercepat waktu steady-state, sehingga pengisian baterai menjadi lebih efisien. PID memiliki keunggulan dalam menjaga stabilitas sistem dan meningkatkan respons dinamis, sehingga cocok diterapkan dalam pengisian baterai yang memerlukan kendali presisi. (Setiyawan et al., 2021)

Stasiun pengisian baterai yang menggunakan sumber daya, seperti panel surya atau sumber listrik lainnya, sangat memerlukan optimasi semacam ini agar dapat mengisi baterai dengan lebih cepat dan optimal. Dengan memastikan bahwa sumber daya selalu bekerja pada titik daya maksimum, stasiun pengisian dapat memberikan pengisian yang lebih efisien dan optimal, yang sangat penting terutama dalam aplikasi penyimpanan energi. Dalam skenario penggunaan energi terbarukan, seperti panel surya, optimasi ini menjadi krusial untuk memaksimalkan pemanfaatan energi yang tersedia dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. (Suyanto et al., 2022)

Penelitian ini merancang sebuah stasiun pengisian baterai yang menggunakan MPPT dengan kontrol PID, diharapkan mampu mengoptimalkan proses pengisian baterai sehingga baterai dapat terisi dengan cepat dan optimal. Sumber daya pengisian yang digunakan adalah arus DC konstan, metode kontrol yang diterapkan adalah kontrol PID, dan mikrokontroler Arduino ATmega328 sebagai pengendali utama. Baterai yang digunakan adalah baterai aki 12V 5Ah dan 9Ah, dengan beban lampu dan ponsel sebagai representasi penggunaan sehari-hari. Penelitian ini bertujuan menghasilkan stasiun pengisian baterai yang dapat mengoptimalkan dan mempercepat proses pengisian, mengatasi masalah pengisian yang lama dan tidak optimal, serta memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi pengisian baterai dalam konteks energi terbarukan dan aplikasi sehari-hari. (Winarno & Marauli, 2018)

2. TEORI

Penggunaan perangkat elektronik bertenaga baterai telah menjadi kebutuhan esensial dalam kehidupan sehari-hari, dengan permintaan yang meningkat untuk baterai berkapasitas besar dan efisiensi pengisian tinggi. Baterai aki yang dapat diisi ulang sering menghadapi tantangan seperti waktu pengisian yang lama dan ketidakefisienan. Teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT) mengoptimalkan pengisian baterai dengan menjaga tegangan output pada titik daya maksimum. Metode kontrol Proportional Integral Derivative (PID) diterapkan pada MPPT untuk menghilangkan overshoot dan mempercepat waktu steady-state, meningkatkan stabilitas dan respons dinamis sistem. Algoritma seperti Perturb and Observe (P&O) dan Incremental Conductance (IncCond) sering digunakan dalam MPPT, namun kontrol PID menawarkan keunggulan tambahan dalam kecepatan respon dan stabilitas, sehingga meningkatkan efisiensi pengisian dan mengurangi waktu yang diperlukan. Penggunaan mikrokontroler seperti Arduino ATmega328 memberikan fleksibilitas dalam pengembangan sistem pengisian baterai yang optimal. Dalam konteks energi terbarukan, optimasi pengisian baterai dengan MPPT dan kontrol PID sangat relevan, terutama untuk sumber daya seperti

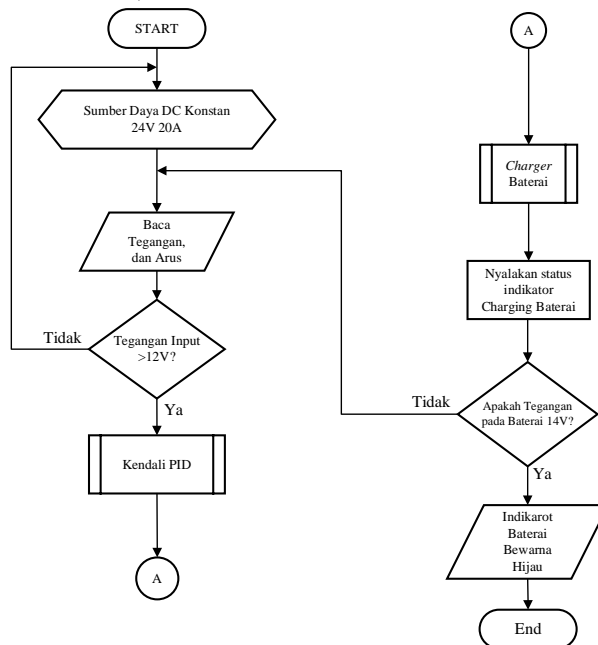
panel surya yang membutuhkan adaptasi terhadap perubahan intensitas cahaya matahari. (Dewantara et al., 2023)

Sistem MPPT dengan kontrol PID memastikan pemanfaatan daya secara maksimal, meningkatkan efisiensi penyimpanan energi. Penelitian menekankan pentingnya MPPT dalam meningkatkan efisiensi sistem fotovoltaik, terutama dalam kondisi cuaca yang berubah-ubah. Kombinasi MPPT dengan kontrol PID tidak hanya meningkatkan efisiensi pengisian tetapi juga mengoptimalkan penggunaan energi dalam berbagai aplikasi, dari perangkat elektronik sehari-hari hingga sistem energi terbarukan. (Fuad, 2022)

3. METODE

Metode penelitian ini mencakup perancangan dan implementasi sistem optimasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada stasiun pengisian baterai menggunakan kontrol Proportional Integral Derivative (PID). Perancangan hardware melibatkan power supply 24V 20A, sensor tegangan dan arus ACS712, modul charger dengan MOSFET IRF4905, LCD 20x4, dan mikrokontroler Arduino ATmega328. Sensor tegangan dan arus digunakan untuk memantau kondisi sistem, sementara kontroler PWM mengatur tegangan gate MOSFET untuk mengendalikan arus dan tegangan secara efisien. LCD menampilkan data dari sensor, dan Arduino berfungsi sebagai pengendali utama. (Setiawan & Pradana, 2022)

Sistem pengisian baterai dimulai dengan pemeriksaan tegangan input oleh Arduino. Proses pengisian dibagi menjadi tiga tahap: Bulk Charge, Absorption Charge, dan Float Charge, diatur oleh kontrol PID untuk efisiensi optimal. Nilai K_p , K_i , dan K_d diuji untuk menemukan kombinasi optimal yang memberikan respons terbaik dalam menjaga arus output dan mencapai tegangan set point. Desain mekanik alat dirancang untuk memastikan kesesuaian dan stabilitas operasional, dengan flowchart yang menggambarkan alur proses dari inisiasi sumber daya hingga pengisian baterai yang efisien. (Saputro et al., 2019)



Gambar 1. Flowchart Sistem Utama

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 ALAT REAL

Alat real digunakan untuk kebutuhan pengambilan hasil pengujian yang diimplementasi dalam lingkungan nyata. Proses ini memastikan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan desain dan kegunaannya.



Gambar 2. Alat Tampak Atas dan Samping

Berdasarkan gambar 2, bentuk fisik dari alat yang telah dibuat menggunakan box panel terbuat dari akrilik berukuran 2mm yang dibentuk sedemikian rupa. Bagian dalam box panel terdapat modul charger yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino ATmega 328, step-down DC-DC, dan kipas 12V 0.5A. Bagian luar terdapat LCD I2C 20x4 dan LED 5mm.

4.2 HASIL PENGUKURAN SENSOR ARUS ACS712

Hasil dari beberapa pengujian didapatkan pengukuran sensor arus ACS712 dengan mengubah tegangan input yang bervariasi. Hasil pengujian dapat dijelaskan pada tabel 1.



Gambar 3. Pengujian Pengukuran Sensor Arus ACS712

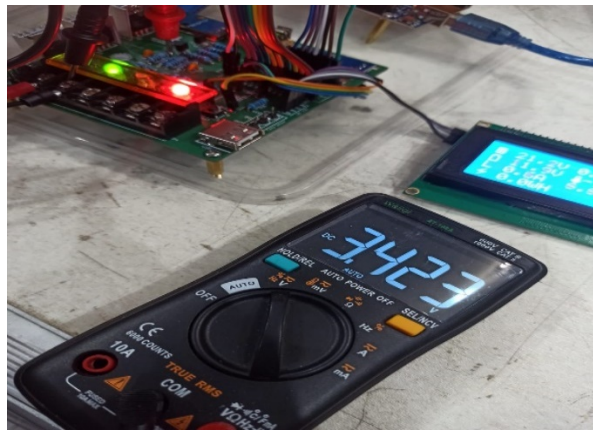
Tabel 1. Data Kalibrasi Arus

V Input	Arus Clamp Ampere	Arus Sensor ACS712	Beban	Nilai Error
21,5V	0,3A	0,5A	-	0,40%
19,2V	0,6A	0,6A	-	0%
18,3V	0,6A	0,5A	-	0,16%
21,3V	1,2A	1,5A	LAMPU 24V 25W	2%
19,3V	1,2A	1,5A	LAMPU 24V 25W	2%
17,6V	1,1A	1,4A	LAMPU 24V 25W	2,14%

Kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian adalah error tertinggi sebesar 2,14% dengan beban lampu 25W 24V pada tegangan 17,6V. Sedangkan error terendah sebesar 0% dengan tidak ada beban pada tegangan input 19,2V.

4.3 HASIL PENGUKURAN SENSOR TEGANGAN

Hasil dari beberapa pengujian didapatkan pengukuran sensor tegangan dengan mengubah tegangan input yang bervariasi. Hasil pengujian dapat dijelaskan pada tabel 2.



Gambar 4. Pengujian Pengukuran Sensor Tegangan

Tabel 2. Data Pengukuran Tegangan

V Input	V _{A0} Pengukuran Sensor Tegangan		Beban	Error
	Alat Ukur/Avometer	Perhitungan		
21,5V	3,42V	3,58V	-	0,46%
19,2V	3,03V	3,20V	-	0,56%
18,3V	2,91V	3,05V	-	0,48%
21,3V	3,40V	3,55V	Lampu 25W 24V	0,44%
19,3V	3,07V	3,21V	Lampu 25W 24V	0,45%
17,6V	2,80V	2,93V	Lampu 25W 24V	0,46%

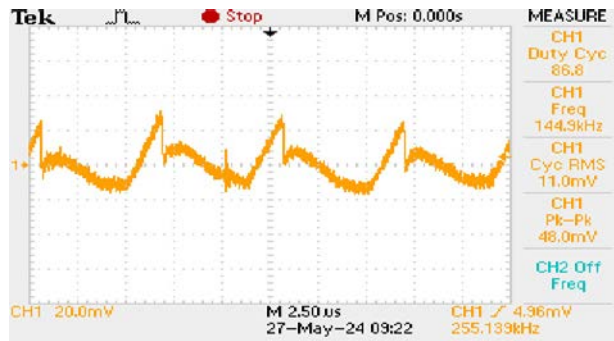
Kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian adalah error tertinggi sebesar 0,56% dengan tidak ada beban pada tegangan input 19,2V. Sedangkan error terendah sebesar 0,44% dengan beban lampu 25W 24V pada tegangan 21,3V.

4.4 FREKUENSI OUTPUT PWM MELALUI OSILOSKOP

Pengukuran frekuensi output PWM dilakukan dengan menggunakan baterai aki 12V 5Ah dan 12V 9Ah dalam kondisi tegangan baterai yang telah discharge, dengan nilai tegangan awal setelah discharge sebesar 11.5V. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa nilai K_p, K_i, dan K_d dengan setpoint tegangan sebesar 14.5V. Data frekuensi PWM ditampilkan melalui osiloskop menggunakan 1 channel. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 5 dan 6



Gambar 5. Sampling Frekuensi Output PWM Baterai 12V 5ah K_p=2, K_i=5, K_d=1



Gambar 6. Sampling Frekuensi Output PWM Baterai 12V 9ah $K_p=2, K_i=5, K_d=1$

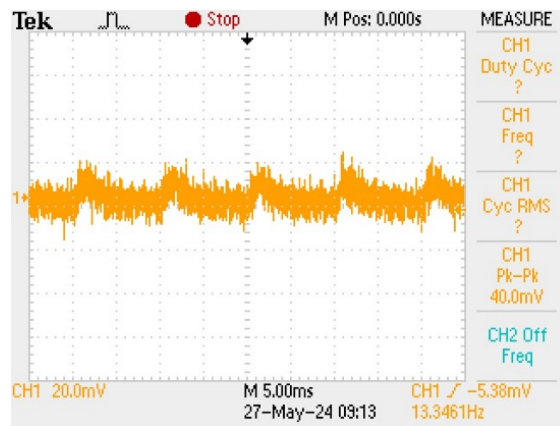
Tabel 3. Pengujian Output PWM

Baterai	Nilai K_p, K_i, K_d	Output Frekuensi PWM	Tegangan Gate	Arus	Durasi Pengisian
Baterai 12V 5Ah	$K_p=2, K_i=5, K_d=1$	209,442KHz	12,8V	14,4A	29 Menit
	$K_p=6, K_i=9, K_d=4$	220,751KHz	13V	14,6A	19 Menit
	$K_p=5, K_i=3, K_d=1$	203,075KHz	12.8V	15,9A	34 Menit
Baterai 12V 9Ah	$K_p=2, K_i=5, K_d=1$	255,139KHz	12,6V	16,8A	38 Menit
	$K_p=6, K_i=9, K_d=4$	259,919KHz	13,3V	17,4A	35 Menit
	$K_p=5, K_i=3, K_d=1$	273,482KHz	12,9V	17,1A	27 Menit

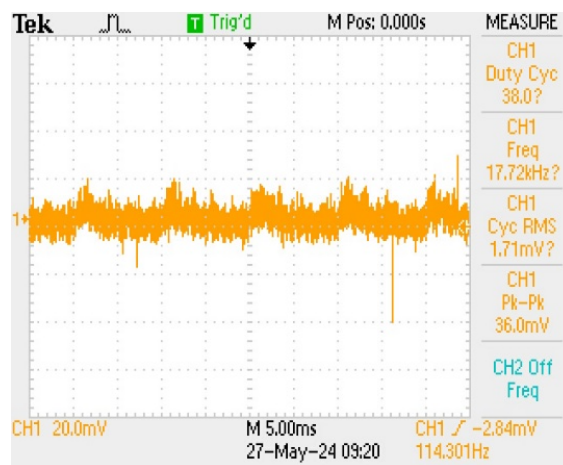
Kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian output PWM, optimasi pada MPPT metode PID diperoleh dengan nilai $K_p=6, K_i=9, K_d=4$ pada baterai 12V 5Ah menghasilkan frekuensi PWM 220,751KHz, tegangan gate 13V, arus yang mengalir 14,6A dengan durasi pengisian tercepat 19 menit. Pada baterai 12V 9Ah, optimasi pada MPPT metode PID diperoleh dengan nilai $K_p=5, K_i=3, K_d=4$ yang menghasilkan frekuensi PWM 273,482KHz, tegangan gate 12,9V, arus yang mengalir 17,1A dengan durasi pengisian tercepat 27 menit.

4.5 FREKUENSI OUTPUT BATERAI MELALUI OSILOSKOP

Pengukuran frekuensi output baterai dilakukan menggunakan aki 12V 5Ah dan 12V 9Ah dalam kondisi tegangan baterai yang telah di-discharge, dengan nilai tegangan awal setelah discharge sebesar 11.5V. Pengujian ini menggunakan beberapa nilai K_p, K_i, K_d dengan setpoint tegangan sebesar 14.5V. Data frekuensi output baterai ditampilkan melalui osiloskop menggunakan satu channel. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 7 dan 8



Gambar 7. Sampling Frekuensi Output Baterai 12V 5Ah Kp=2, Ki=5, Kd=1



Gambar 8. Sampling Frekuensi Output Baterai 12V 5Ah Kp=2, Ki=5, Kd=1

Tabel 4. Pengujian Output Frekuensi pada Baterai 12V 5Ah dan 9Ah

Baterai	Nilai Kp, Ki, Kd	Output Frekuensi Baterai
Baterai 12V 5Ah	Kp=2, Ki=5, Kd=1	13,346Hz
	Kp=6, Ki=9, Kd=4	14,325Hz
	Kp=5, Ki=3, Kd=1	13,040Hz
Baterai 12V 9Ah	Kp=2, Ki=5, Kd=1	14,973Hz
	Kp=6, Ki=9, Kd=4	15,338Hz
	Kp=5, Ki=3, Kd=1	14,771Hz

Kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian frekuensi output baterai pada aki 12V 5Ah diperoleh nilai optimal dengan Kp=6, Ki=9, Kd=4 yang menghasilkan frekuensi output 14,325Hz. Pada aki 12V 9Ah diperoleh nilai optimal dengan Kp=6, Ki=9, Kd=4 yang menghasilkan frekuensi output 15,338Hz.

4.6 HASIL PENGISIAN BATERAI

Pengujian dilakukan dengan beberapa nilai Kp, Ki, Kd dengan setpoint tegangan sebesar 14.5V. Data pengisian baterai ditampilkan melalui LCD I2C. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar



Gambar 9. Hasil Pengisian Baterai 12V 5Ah Kp=2, Ki=5, Kd=1

Gambar 10. Hasil Akhir Uji Pengisian Baterai

Tabel 5. Hasil Pengisian Baterai pada Aki 12V 5Ah dan 9Ah.

Baterai	Nilai Kp, Ki, Kd	Tegangan Awal	Tegangan Akhir	Durasi Pengisian
Baterai 12V 5Ah	Kp=2, Ki=5, Kd=1	11.5V	14.5V	29 Menit
	Kp=6, Ki=9, Kd=4	11.5V	14.5V	19 Menit
	Kp=5, Ki=3, Kd=1	11.5V	14.5V	34 Menit
Baterai 12V 9Ah	Kp=2, Ki=5, Kd=1	11.5V	14.5V	38 Menit
	Kp=6, Ki=9, Kd=4	11.5V	14.5V	35 Menit
	Kp=5, Ki=3, Kd=1	11.5V	14.5V	27 Menit

Kesimpulan yang didapat dari hasil pengisian baterai menunjukkan bahwa nilai optimal pengisian pada aki 12V 5Ah diperoleh dengan Kp=6, Ki=9, Kd=4 yang mencapai tegangan akhir 14.5V dalam waktu 19 menit. Sedangkan pada aki 12V 9Ah diperoleh nilai optimal dengan Kp=5, Ki=3, Kd=1 yang mencapai tegangan akhir 14.5V dalam waktu 27 menit.

4.7 ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan kontroler PID efektif dalam meningkatkan efisiensi pengisian baterai. Pengujian sensor arus ACS712 dan sensor tegangan menunjukkan tingkat akurasi yang baik, dengan error tertinggi masing-masing 2,14% dan 0,56%. Variasi nilai Kp, Ki, dan Kd pada kontroler PID menghasilkan frekuensi PWM yang berbeda, mempengaruhi efisiensi pengisian baterai. Misalnya, pada baterai 12V 5Ah, nilai Kp=6, Ki=9, Kd=4 menghasilkan frekuensi PWM 220,751KHz dengan durasi pengisian 19 menit, sementara pada baterai 12V 9Ah, nilai Kp=5, Ki=3, Kd=1 menghasilkan frekuensi PWM 273,482KHz dengan durasi pengisian 27 menit.

Pengujian frekuensi output baterai menunjukkan stabilitas yang baik dengan parameter PID yang dioptimalkan. Pengisian baterai mencapai tegangan akhir 14,5V dengan cepat, menunjukkan bahwa MPPT dengan kontroler PID mampu meningkatkan efisiensi pengisian dan mengurangi waktu yang diperlukan untuk mencapai kapasitas baterai penuh. Penelitian ini menekankan pentingnya

pengaturan parameter PID yang tepat untuk mencapai hasil pengisian optimal, khususnya dalam aplikasi sistem energi terbarukan.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian optimasi MPPT pada stasiun pengisian baterai menggunakan metode PID, dapat disimpulkan bahwa charger baterai MPPT dengan metode PID untuk baterai Lead Acid 12V 5Ah dan 12V 9Ah telah berhasil dirancang untuk mengoptimalkan nilai arus dan tegangan selama proses pengisian, sehingga sistem MPPT dapat mencapai titik daya maksimum yang diperlukan untuk pengisian yang optimal, memastikan pengisian berlangsung dengan cepat. Pengujian menunjukkan bahwa penggunaan berbagai nilai konstanta PID menghasilkan variasi dalam frekuensi PWM, tegangan gate, arus yang mengalir, dan durasi pengisian. Sebagai contoh, pada baterai 12V 5Ah dengan nilai $K_p=6$, $K_i=9$, dan $K_d=4$, dihasilkan frekuensi PWM sebesar 220,751 KHz, tegangan gate 13V, arus 14,6A dengan durasi pengisian tercepat 19 menit.

Optimasi MPPT dapat lebih optimal dengan mengubah nilai K_p , K_i , dan K_d berdasarkan beban charging. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengisian baterai 12V 5Ah dan 12V 9Ah dapat dilakukan dengan cepat dan optimal menggunakan $K_p=6$, $K_i=9$, $K_d=4$ untuk baterai 12V 5Ah, dan $K_p=5$, $K_i=3$, $K_d=1$ untuk baterai 12V 9Ah. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan adanya pengembangan pada optimasi MPPT dengan metode kontrol PID, seperti penambahan tombol untuk memasukkan nilai K_p , K_i , K_d secara langsung tanpa melalui program pada Arduino, serta perancangan MPPT yang dapat bekerja secara otomatis menyesuaikan nilai K_p , K_i , K_d berdasarkan kapasitas baterai, misalnya saat mengecaskan aki 10A dan berubah secara otomatis saat aki dirubah menjadi 20A.

REFERENSI

- Amin, M. Z. R., Mulyadi, A., & Putra, A. P. (2022). Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Kontrol PID untuk Optimasi Pengisian Daya Baterai pada Panel Surya. *Journal Zetroem*, 4(2), 11–13.
- Dewantara, B. W., Dewatama, D., & Yulianto, Y. (2023). Optimasi Sistem Photovoltaik Menggunakan Cuk Converter Dengan MPPT Incremental Conductance. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 10(2), 183–190.
- Fuad, S. (2022). OPTIMASI ALGORITMA FIREFLY PADA MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) SAAT KONDISI PANEL SURYA TERHALANGI SEBAGIAN. *MULTITEK INDONESIA*, 16(1), 21–36.
- Hajah, M. S. (2023). Optimasi MPPT Panel Surya Series-Parallel Model untuk Mengatasi Partial Shading Condition Dengan Metode P&O. *Techno Bahari*, 10(1).
- Haryanto, E., Masroeri, A. A., & Kurniawan, A. (2016). Optimasi boost converter panel surya sebagai sumber energi alternatif penerangan kmp allu. dengan metode logika fuzzy. *Jurnal Teknik ITS*, 4(2), B124–B129.
- Juniyanto, D., Andrasto, T., & Suryono, S. (2018). Optimalisasi Stand-Alone Photovoltaic System dengan Implementasi Algoritma P&O-Fuzzy MPPT. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 1–10.
- Mubarak, H., & Whiancaka, B. A. (2020). Optimasi Sistem Turbin Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Metode Particle Swarm Optimization (PSO):(Studi kasus di PLTH Bayu Baru, Bantul Yogyakarta). *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 19(1), 1–10.
- Prasetyo, H. C. (2018). Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (Mppt) Dengan Metode Perturb and Observe (P&O). *J. Tek. Elektro*, 7(02).
- Saputro, D., Nugroho, D., & Utomo, S. B. (2019). Analisa Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT). *Prosiding Konstelasi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) Klaster Engineering*.
- Setiawan, W., & Pradana, R. A. (2022). Optimasi Pengisian Daya Panel Surya Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Kontrol PID. *JOURNAL ZETROEM*, 4(2), 34–36.
- Setiyawan, P., Utomo, S. B., & Nugroho, A. A. (2021). Analisa Optimasi Photovoltaic (PV) 100 W Menggunakan MPPT dengan Alogaritma Perturb dan Observe. *Elektrika*, 13(1), 1–6.
- Susanto, A. P., Rivai, M., & Tasripan, T. (2019). Autonomous docking system untuk mobile robot

- berbasis citra pada stasiun pengisian daya nirkabel. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), A386–A390.
- Suyanto, M., Priyambodo, S., Prasetyono, E. P., & Aji, A. P. (2022). Optimalisasi Pengisian Accu Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Solar Charge Controller (MPPT). *Jurnal Teknologi*, 15(1), 22–29.
- Winarno, I., & Marauli, M. (2018). Implementasi Maximum Power Point Tracker (MPPT) untuk Optimasi Daya pada Panel Surya Berbasis Algoritma Incremental Conductance. *Semnasteknomedia Online*, 6(1), 1–10.