

ANALISIS EFISIENSI SOLAR CHARGE CONTROLLER MENGUNAKAN INTEGRASI NUMERIK DENGAN MATLAB SIMULINK

ANALYSIS OF SOLAR CHARGE CONTROLLER EFFICIENCY USING NUMERICAL INTEGRATION WITH MATLAB SIMULINK

Rama Widjaya Sikumbang^{1*}

¹Master of Mechanical Engineering Study Program, Universitas Mercu Buana
Jl. Meruya Selatan, Joglo, Kembangan, Kota Jakarta Barat, Jakarta, Indonesia

*Email Corresponding: 55823120004@student.mercubuana.ac.id

Cara sitasi: 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](https://doi.org/10.33579/krvtk.v9i2.5013) [Online].

Abstrak — Konsumsi energi global meningkat seiring pertumbuhan populasi dan kemajuan teknologi, dengan energi surya menjadi sumber energi alternatif yang potensial. Solar Charge Controller (SCC) merupakan komponen penting untuk menstabilkan keluaran daya panel surya, terdiri atas tiga jenis: ON/OFF, PWM, dan MPPT. Penelitian ini membandingkan efisiensi SCC jenis PWM dan MPPT menggunakan simulasi MATLAB Simulink. Hasil menunjukkan efisiensi rata-rata PWM sebesar 31,25% dan MPPT sebesar 72%, dengan total energi yang dikumpulkan mencapai 0,6735 watt-detik dalam periode tertentu. Analisis data mengonfirmasi bahwa MPPT memiliki kemampuan lebih baik dalam mengekstraksi daya dari panel surya dibandingkan PWM, menjadikannya pilihan yang lebih efisien untuk pengendalian daya pada sistem fotovoltaik. Temuan ini mendukung penggunaan MPPT sebagai solusi optimal dalam mendukung transisi energi bersih.

Kata kunci: MPPT, PWM, Solar Charge Controller

Abstract — Global energy consumption is increasing as population growth and technological advancements advance, with solar energy becoming a potential alternative energy source. Solar Charge Controller (SCC) is an important component to stabilize the power output of solar panels, consisting of three types: ON/OFF, PWM, and MPPT. This study compares the efficiency of PWM and MPPT SCC using MATLAB Simulink simulation. The results showed an average efficiency of PWM of 31.25% and MPPT of 72%, with the total energy collected reaching 0.6735 watt-seconds in a given period. Data analysis confirms that MPPT has a better ability to extract power from solar panels than PWM, making it a more efficient option for power control in photovoltaic systems. These findings support the use of MPPT as an optimal solution in supporting the clean energy transition.

Keywords: MPPT, PWM, Solar Charge Controller

I. PENDAHULUAN

Konsumsi energi global diperkirakan akan meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan kemajuan teknologi. Memang, permintaan energi diperkirakan akan semakin tinggi hingga 45% antara tahun 2015 serta 2030 dengan rata-rata 1,6 persen pertahun [1]. Bahan bakar fosil yang tercatat menjadi penyumbang paling tinggi dalam konsumsinya, yang menyumbang hingga 80 persen dari jumlah energi yang dikonsumsi yang ada di dunia [2]. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi, keterbatasan sumber energi serta melindungi bumidari sumber pemanasan global, diperlukan solusi untuk menciptakan teknologi baru yang ramah lingkungan agar sumber energi yang bersih dan terbarukan.

Sumber energi terbarukan yang sangat melimpah, terutama di Indonesia merupakan anugerah yang kita miliki [3]. Menjadi kesempatan untuk membuat sebuah alat untuk mendukung proses aktivitas manusia seperti menyalakan lampu yang selama ini menggunakan bahan bakar yang berasal dari alam dan tidak terbarukan karena pada dasarnya akan habis [4]. Penggunaan energi matahari melalui solar panel menjadi salah satu alat yang paling efisien dan efektif untuk memenuhi kebutuhan energi manusia yang terus meningkat [5] Tetapi, hanya 0,3% listrik yang asal berasal solar panel [6]. Radiasi yang dipancarkan oleh

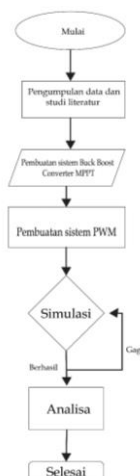
sinar matahari di atmosfer luar bumi adalah 1367 W/m^2 , sedangkan saat matahari mencapai puncak bumi, energinya hanya 160 W/m^2 [7]. Setiap tahun, energi matahari dipancarkan dari permukaan bumi dalam jumlah besar yang berasal dari sinar matahari., mencapai $1,08 \times 10^{18} \text{ kWh/tahun}$, tenaga ini setara dengan 10000 kali lebih besar dibandingkan kebutuhan energi utama di dunia setiap tahunnya. Dengan demikian, dengan hanya menutupi 0,1% permukaan bumi dengan sel surya dengan efisiensi 10 persen, daya ini dapat memenuhi kebutuhan energi dunia [8]. Indonesia adalah negara tropis dengan potensi daya matahari yang sangat besar. Memang wilayah Indonesia membentang di garis khatulistiwa, dengan potensi produksi energi surya yang besar hingga $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ [5]. Hanya saja, tingkat penyinaran energi mentari bervariasi tergantung dari kondisi cuaca dan waktu yang ada. Hal ini menghasilkan daya yang didapatkan oleh sel surya bervariasi dan tak optimal. Untuk mendapatkan daya maksimum yang didapatkan sang sel surya, memerlukan solusi yang mutakhir.

Modul Panel Surya adalah perangkat semi konduktor solid-state yang mengubah sinar matahari menjadi listrik arus searah. Bahan yang digunakan pada panel Photovoltaik adalah silikon mono-kristal, silikon polikristalin, silikon mikrokristalin, indium selenida tembaga, dan kadmium telluride [9]. Produksi PV berlipat ganda setiap dua tahun, meningkat rata-rata 48 persen per tahun sejak 2002, merupakan teknologi energi yang tumbuh paling cepat di dunia [10]. Sekitar 90% dari kapasitas pembangkit saat ini dari PV terdiri dari sistem kelistrikan yang terikat jaringan. Instalasi semacam itu disa diinstalasikan di dalam tanah (dan terkadang diintegrasikan ke dalam pertanian serta peternakan) atau dibangun pada atap atau dinding bangunan, yang dikenal sebagai fotovoltaik terintegrasi bangunan (BIPV). Pembangkit listrik tenaga surya modern memiliki kapasitas mulai dari 10 hingga 60 MW meskipun pembangkit listrik tenaga surya pv yang diusulkan akan memiliki kapasitas 150 MW atau lebih [11]. Banyak negara telah mendapat manfaat dari langkah-langkah bersih dan insentif keuangan (seperti tarif feed-in preferensial untuk listrik yang dihasilkan oleh tenaga surya). Panel PV yang khas sekarang dapat beroperasi hingga 10 tahun pada 90% dari kapasitas daya pengenalnya dan hingga 25 tahun pada 80% dari kapasitas daya pengenalnya [12].

Dengan demikian pemanfaatan energi surya di Indonesia dapat lebih optimal. Penggunaan pengontrol merupakan salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi sel surya. Solar charge controller adalah pengontrol yang dapat digunakan untuk menstabilkan daya yang dihasilkan oleh sel surya (SCC). *Pulse with modulation* (PWM) dan *maximum power point tracking* (MPPT) adalah dua SCC yang umum digunakan untuk menstabilkan energi yang berasal dari sel surya [13]. Lebar pulsa digunakan oleh pengontrol tipe PWM untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran yang diinginkan [14]. Sedangkan untuk tipe MPPT menggunakan titik khusus yang biasa disebut Maximum Power Point (MPP). Pada titik ini, sel surya menghasilkan tegangan dan arus terbesar. Kinerja pengontrol PWM telah diperikasa ketika diterapkan pada sistem sel surya [15] sedangkan sistem kontrol MPPT telah dianalisis menggunakan simulasi dan pemodelan [16][17], Penelitian ini bermaksud untuk menyelidiki dan membandingkan dua jenis pengontrol, yaitu pengontrol kinerja PWM dan MPPT [18] untuck mendapatkan studi ilmiah tentang kinerja terbaik dari keduanya menggunakan data keluaran nyata dari sel surya yang mengubah energi matahari secara langsung pada siang hari melalui simulasi pada aplikasi matlab Simulink.

II. METODE PENELITIAN

Gambaran umum alur penelitian akan disajikan di bawah ini.:



Gambar 1. Flowchart penelitian

Penelitian ini membandingkan SCC tipe PWM dan MPPT yang terbagi menjadi 3 tahap yaitu merakit sel surya secara seri-paralel untuk menerima tegangan dan arus yang dibutuhkan. Data hasil simulasi kedua jenis SCC tersebut kemudian dianalisa untuk menerima daya yang lebih stabil serta efisien. Aplikasi MATLAB digunakan untuk melakukan penelitian tentang analisis komparatif tipe SCC PWM serta MPPT. Penelitian ini dibagi menjadi dua bagian yaitu perakitan sel surya menggunakan SCC PWM serta MPPT untuk menerima tegangan serta arus yang diperlukan. Data yang diperoleh berasal sel surya lalu disimulasikan menjadi 2 jenis SCC untuk mendapatkan daya yang lebih stabil. Data yang sudah diolah kemudian ditampilkan dan dibandingkan dalam bentuk plot gambar dengan sumbu x waktu (t) serta sumbu (y) adalah besar (daya, tegangan, serta arus). Perancangan sistem simulasi panel surya meliputi pemodelan panel surya, duty cycle, dan buck boost converter, pada langkah ini, sumber data disediakan ke dalam program uji di simulasi MATLAB. Langkah ini menghasilkan nilai serta bentuk frekwensi keluaran. seluruh sistem disimulasikan pada aplikasi, termasuk pemodelan panel surya dan konverter buck boost. Desain simulasi memanfaatkan fitur simulink pada MATLAB 2020a, serta data ditampilkan menjadi gambar plot menggunakan sumbu x yang mewakili saat (detik) serta sumbu (y) yang mewakili besaran (daya, tegangan, serta arus).

III. HASIL DAN DISKUSI

Solar Charge Control adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol arus (regulator saat ini) baik arus memasuki sel surya ke baterai dan beban output [19]. Selain itu, SCC juga berupaya menjaga baterai agar tidak overcharging agar baterai bertahan lebih lama [20].

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode simulasi dengan data tegangan dan arus dari sel surya dengan aplikasi simulink MATLAB. Pengujian ini membandingkan kinerja dua jenis SSC yang umum digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya: PWM dan MPPT.

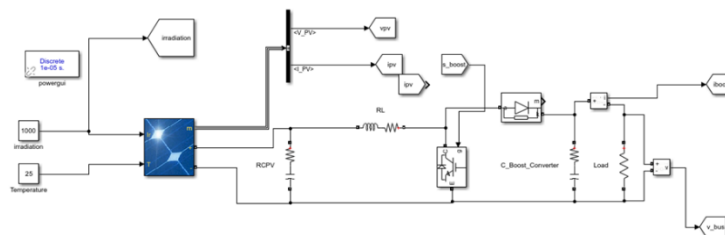
A. Maximum Power Point Tracking (MPPT)



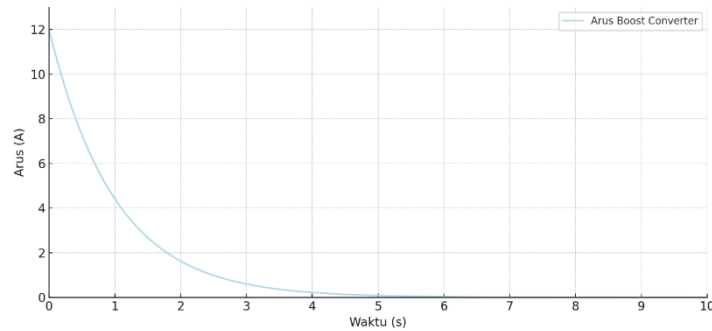
Gambar 2. Solar Charge Control Maximum Power Point Tracking (SCC MPPT)

MPPT merupakan teknik untuk mendapatkan output daya maksimum dari sumber energi di bawah berbagai kondisi lingkungan dan beban [21]. MPPT memiliki fungsi yang memungkinkan lebih banyak daya untuk ditransfer dari penggerak utama ke sistem kelistrikan [22]. Fungsi utamanya adalah sebagai alat untuk mengatur tegangan keluaran generator untuk memberikan daya yang maksimal ke beban [23]. Sebagian besar desain memiliki tiga komponen dasar: konverter dc-dc mode sakelar, sistem kontrol, dan komponen pelacakan [24].

Jenis MPPT yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma Perturb dan Observation, Gambar 1 adalah SCC MPPT yang menggunakan boost converter, dengan gambar rangkaian sebagai berikut :

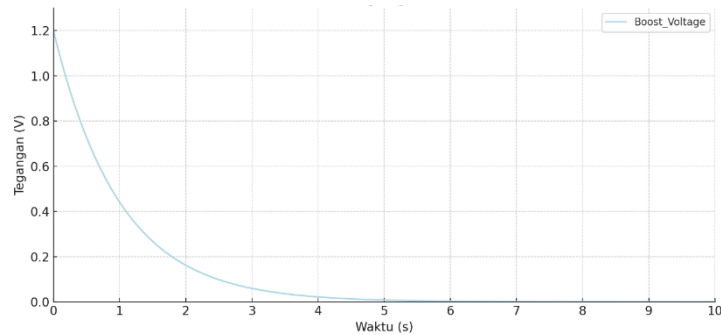


Gambar 3. Rangkaian Simulasi Solar Charge Controller MPPT



Gambar 4. Grafik Arus Boost Converter

Pada grafik arus boost converter diatas dapat terlihat bahwa terjadi penurunan arus , dari $t=0$, 12 A turun hingga 0 A secara kontinu. Diagram di atas menggambarkan hubungan antara waktu dan arus, dimana arus terus menurun sampai nilai arus turun dari 12 menjadi 0 A [25]. Daya berkurang berbanding lurus dengan arus hingga mencapai tegangan tertentu. Pada simulasi ini terjadi penurunan daya dari 12 – 0 watt menjadi 1,2 – 0 volt (Iqbal, n.d.). Grafik tegangan ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Tegangan Boost Converter

Pada grafik tegangan boost converter diatas dapat terlihat bahwa terjadi penurunan arus , dari $t=0$, 1,2 V turun hingga 0 V secara kontinu.

Daya Input (P_{in}): 20 W

Daya Output (P_{out})= $V_{out} \times I_{out}$

Daya Output (P_{out})= $1.2V \times 12A = 6.25W$

Daya Output (P_{out}): 14.4 W

Efisiensi MPPT:

$$\eta_{MPPT} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{MPPT} = \frac{14.4 W}{20 W} \times 100\%$$

$$\eta_{MPPT} = 72\%$$

Efisiensi MPPT sebesar 72%.

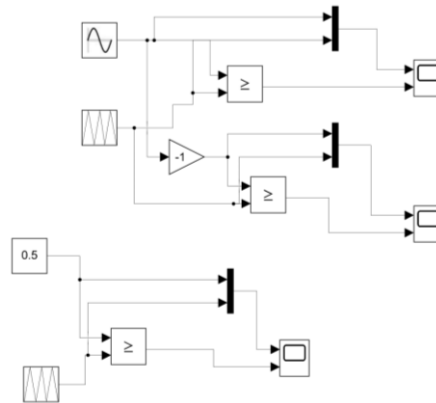
B. Pulse Width Modulation (PWM)



Gambar 6. Gambar Solar Charge Control Pulse Width Modulation (SCC PWM)

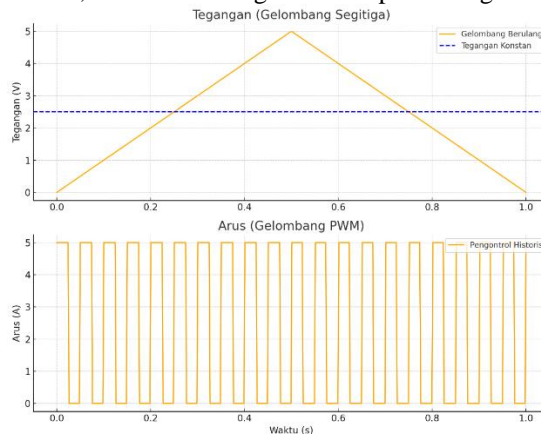
PWM SCC adalah pengontrol daya sel surya *pulse width modulation* (PWM) [26]. Gambar 1 menunjukkan simulasi simulink MATLAB yang digunakan untuk pengujian SCC ini. Generator sinyal PWM yang digunakan dalam simulasi merupakan alat generator pulsa yang ditemukan di blok simulink Matlab. MOSFET kemudian mengontrol input melalui induktor dan sebagian mengontrol output yang melewati kapasitor [27] Outputnya menghasilkan tegangan yang stabil dengan sedikit riak, serta output lain seperti daya dan arus.

Fungsi *Pulse With Modulation* (PWM) digunakan sebagai input data dalam penelitian ini untuk mengontrol perangkat konverter. *Pulse With Modulation* (PWM) digunakan untuk mengontrol daya output konverter. Sinyal PWM memiliki frekuensi konstan tetapi siklus tugas variabel mulai dari 0 hingga 1.



Gambar 7. Rangkaian Simulasi Simulink Matlab SCC PWM

SCC menyesuaikan parameter tegangan dan kemudian mengukur muatan pada tegangan itu. Saat daya berkurang, parameter tegangan terus menurun sampai nilai daya berhenti [28]. Blok masukan menyediakan frekuensi masukan dalam bentuk tegangan $V(n)$ dan arus $I(n)$ dalam keadaan awal operasi sistem. P adalah nilai daya yang diturunkan dari dua nilai (n) . Nilai tegangan dan daya dalam sel surya disimpan dalam blok memori, dan nilai berikutnya dalam nilai $P(n + 1)$ diukur dan dihitung berdasarkan pengukuran. Nilai V mengurangi daya dan tegangan pada $V(n + 1)$. (n) . Melihat kurva tegangan modul surya, kita dapat melihat bahwa kemiringan tegangan daya di sebelah kiri adalah negatif ($dP/dV < 0$). Di sisi kanan kurva di mana tegangan hampir konstan, kemiringannya positif ($dP/dV > 0$). Tergantung di indikasi $dP (P(n + 1) - P(n))$ serta $dV (V(n + 1) - V(n))$ selesainya reduksi, algoritme memutuskan apakah akan menambah atau mengurangi siklus kerja. peran blok tanda merupakan untuk menghasilkan nilai sinyal satu saat input lebih besar dari nol, atau nol dan negatif saat input kurang dari nol.



Gambar 8. Grafik Arus dan Tegangan PWM

Daya Input (P_{in}): 20 W

Daya Output (P_{out}):

- Tegangan output (V_{out}): 2.5 V
- Arus output (I_{out}): 2.5 A

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$P_{out} = 2.5V \times 2.5A = 6.25W$$

Efisiensi (η):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{6.25 \text{ W}}{20 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 31.25\%$$

Efisiensi PWM sebesar 31.25%.

C. Perbandingan Tabel Keluaran dari PWM, dan MPPT

Parameter boost yang digunakan $R = 0.004$ ohm, kapasitansi 3300×10^{-6} F, dan beban sebesar $R = 10$ ohm, digunakan untuk menswitching MPPT dengan masukan panel surya (PV) sebagai berikut :

Tabel 1. Daya, tegangan, dan arus dari sel surya, PWM, dan MPPT

Kontroller	Daya (Watt)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Efisiensi(%)
MPPT	20 W	1.2 V	12 A	72%
PWM	20 W	2.5 V	2.5 A	31.25%

Tabel 1 memperlihatkan bahwa data yang dihasilkan dari panel surya, dimana daya, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PWM dan MPPT, MPPT selalu lebih tinggi dibandingkan PWM sistem. Terlihat juga bahwa efisiensi dari SCC tipe MPPT lebih besar 40.75% dari PWM.

D. Integrasi Numerik

Total energi yang dikumpulkan oleh panel surya selama periode waktu tertentu untuk menghitungnya kita menggunakan metode integrasi numerik seperti metode trapezoidal. Contoh ini menghitung total energi dari $t=0$, $t=0.5t$ hingga $t=0.5t$:

$$E = \int_{t_0}^{t_f} P(t) dt$$

Misalkan $P(t) = y(t)$, maka:

$$E \approx \frac{h}{2} [P(t_0) + 2P(t_1) + 2P(t_2) + \dots + 2P(t_{n-1}) + P(t_n)]$$

Dengan nilai $y(t)$ yang telah dihitung

$$E = 0.1[2 + (1.11034) + (2.121280) + (2.139668) + (2.158361) + 1.79739]$$

$$E = 0.1[2.22068 + 2.48560 + 2.79336 + 3.16722 + 1.79739]$$

$$E = 0.05[13.47027] = 0.6735 \text{ s}$$

Sehingga, total energi yang dikumpulkan oleh panel surya selama periode waktu tertentu adalah sekitar 0.6735 watt-seconds (W.s).

Seperti bisa dicermati pada gambar 4, arus yang didapatkan oleh SCC tipe MPPT merupakan kurang lebih 12A, yaitu 55% lebih tinggi dari arus yang dihasilkan oleh PWM. Pada penelitian yang dilakukan oleh Laguado-Serrano (2019)[29], di keadaan ini SCC beroperasi pada keadaan bulk, dimana arus maksimum yang didapatkan oleh SCC adalah untuk mengisi baterai pada keadaan kosong sampai 80% serta kemudian masuk lebih dari keadaan absorpsi di saat baterai terisi 80%, tetapi karena tak terdapat baterai yang digunakan dalam simulasi di penelitian ini, maka *Solar Charge Controller* hanya beroperasi pada kondisi bulk dimana arus yang didapatkan selalu maksimal. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa bila kapasitas tegangan baterai jauh lebih rendah daripada panel surya, PWM SCC memiliki kesamaan untuk mengurangi efisiensi, hal ini sebab arus yang dikirim oleh PWM SCC bernilai kontinu, serta tegangan yang ditransmisikan menyesuaikan tegangan baterai [30]. Selain itu, MPPT SCC beroperasi pada kondisi buck converter menggunakan algoritma P&O, membuat voltase yang lebih minimum daripada sel surya, sedangkan arus yang lebih maksimum menghasilkan daya output sel mendekati daya yang didapatkan matahari. Baterai tahan bahkan di bawah berbagai kondisi pencahayaan dan suhu. MPPT SCC sesuai algoritma P&O mampu menaikkan efisiensi solar cell sebanyak 86% serta efisiensi P&O-fuzzy sebanyak 89% jika matahari tidak dihalangi oleh awan [31]. Temuan Victor (2019) mengatakan tren yang sama dari temuan ini, bahwa MPPT SCC mengungguli PWM SCC (Victor et al., 2019) [30]. Meskipun disparitas efisiensi lebih besar yang dihasilkan dari penelitian ilmiah yang dilakukan sebelumnya oleh Machmud (2017) [11] serta penelitian ini mungkin ditimbulkan penggunaan persamaan diferensial dalam analisis [31].

IV. KESIMPULAN

Pemanfaatan energi surya di Indonesia dapat lebih optimal dengan meningkatkan efisiensi sel surya melalui penggunaan *solar charge controller* (SCC). Dua jenis SCC yang umum digunakan, yaitu PWM

dan MPPT, dibandingkan menggunakan simulasi MATLAB Simulink untuk menilai performa masing-masing dalam menstabilkan dan mengoptimalkan daya dari sel surya. PWM bekerja dengan modulasi lebar pulsa, sedangkan MPPT menggunakan *Maximum Power Point* (MPP) untuk mengekstraksi daya maksimum.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa MPPT, dengan implementasi metode *perturb and observe* pada *buck-boost converter*, memiliki efisiensi rata-rata 72%, jauh lebih tinggi dibandingkan PWM dengan efisiensi 31,25%. Selain itu, total energi yang dikumpulkan oleh panel surya mencapai 0,6735 watt-detik. Berdasarkan hasil tersebut, MPPT terbukti lebih efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya, sehingga mendukung upaya optimalisasi energi surya di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, *Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional*. 2019.
- [2] P.S.Winanti, W. Mas'udi, M. Rum, and W Nandyatama, "Diplomasi Energi Indonesia," Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2020.
- [3] A. P. Nugroho, R. Mustafa, and M. Wahyu, "Testing Of The Solar Thermal Cooking Performa Of The Energy Conversion Technology Center Agency Of Technology Assessment And Application Vanos Journal Of Mechanical Engineering Education," *VANOS Journal of Mechanical Engineering Education*, vol. 75, no. 1, pp. 75–84, 2019, [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/vanos>
- [4] S. F. Pamungkas, D. S. Wijayanto, and H. Saputro, "Pengaruh Variasi Penambahan Fin Terhadap Cut In Speed Turbin Angin Savonius Tipe S Effect Of Fin Addition Variation To Cut In Speed 'S' Type Savonius Wind Turbine Vanos Journal Of Mechanical Engineering Education," *VANOS Journal Of Mechanical Engineering Education*, vol. 11, no. 1, pp. 11–20, 2017, [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/vanos>
- [5] Kementerian ESDM, "Matahari Untuk PLTS Di Indonesia," *Kementerian Energi Dan Sumberdaya Mineral*, 2012.
- [6] M. S. Boedoyo, "Potensi dan Peranan PLTS Sebagai Energi Alternatif Masa Depan di Indonesia," *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 2013, [Online]. Available: <http://103.224.137.161/index.php/JSTI/article/view/919>
- [7] A. F. Assomadi, Pendekatan Baru Model Distribusi Pencemar di Atmosfer Perkotaan. repository.its.ac.id, 2016. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/3106/>
- [8] W. A. M. Silalahi, " ", [Online]. Available: <https://journal.pancabudi.ac.id/index.php/fastek/article/download/1871/1708>
- [9] T. M. Razykov, C. S. Ferekides, D. Morel, E. Stefanakos, and ..., "Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects," *Solar energy*, 2011, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X1000366X>
- [10] C. Zheng and D. M. Kammen, "An innovation-focused roadmap for a sustainable global photovoltaic industry," *Energy Policy*, 2014, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513012500>
- [11] N. Mahmud, A. Zahedi, and A. Mahmud, "A cooperative operation of novel PV inverter control scheme and storage energy management system based on ANFIS for voltage regulation of grid-tied PV system," *IEEE Transactions on ...*, 2017, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7812747/>
- [12] M. A. Bagherian and K. Mehranzamir, "A comprehensive review on renewable energy integration for combined heat and power production," *Energy Convers Manag*, 2020, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890420309882>
- [13] F. P. Fajri and M. Hafidz, *Analisis Perbandingan Kinerja Sistem PLTS IT-PLN menggunakan PVSyst*. 156.67.221.169, 2020. [Online]. Available: <http://156.67.221.169/3126/>
- [14] T. Suhendra, A. Uperiati, D. A. Purnamasari, and ..., "Kendali Kecepatan Motor DC dengan Metode Pulse Width Modulation menggunakan N-channel Mosfet," ... *Jurnal Hasil Penelitian ...*, 2018, [Online]. Available: <http://ojs.umrah.ac.id/index.php/sustainable/article/view/701>
- [15] Ilcham, "'Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Stempel Menggunakan Programmable Logic Control (PLC) CP1E-E30'." [Online]. Available: <http://eprints.polsri.ac.id/id/eprint/391>
- [16] S. Utami, "Implementasi algoritma perturb and observe untuk mengoptimasi daya keluaran solar cell menggunakan MPPT di Laboratorium Energi Baru Terbarukan," *Jurnal Infotel*, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal.st3telkom.ac.id/index.php/infotel/article/view/165>

- [17] U. Yilmaz, A. Kircay, and S. Borekci, "PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller," *Renewable and Sustainable Energy ...*, 2018, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117311978>
- [18] P. Jaiswal and A. Mahor, "... on MPPT Techniques in Solar Photovoltaic System," *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, Volume.
- [19] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and ..., "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emitor: Jurnal Teknik ...*, 2018, [Online]. Available: <https://journals.ums.ac.id/index.php/emitor/article/view/6251>
- [20] R. P. Pratama, M. N. Qosim, and P. Pawenary, *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Sistem On Grid Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Di Klinik Mitra Husada Kabupaten Kediri*. 156.67.221.169, 2020. [Online]. Available: <http://156.67.221.169/2959/>
- [21] A. Hasan and A. Hamzah, "Analisa dan Desain Maximum Power Point Tracking Untuk Generator Induksi Pada Aplikasi Sepeda Listrik," *neliti.com*, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/205728/analisa-dan-desain-maximum-power-point-tracking-untuk-generator-induksi-pada-apl>
- [22] F. Husein, "Perancangan Maximum Power Point Tracking Untuk Keluaran Permanent Magnet Synchronous Generator Menggunakan Kendali Buck Converter Dengan Algoritma ...," *repository.unej.ac.id*, [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/104004>
- [23] A. Saleh and S. Prasetyono, "... BOOST CONVERTER DENGAN KONTROL MPPT PERTURB AND OBSERVE (P&O) SEBAGAI PENGENDALI DAYA KELUARAN THERMOELECTRIC GENERATOR," *repository.unej.ac.id*, [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/84231>
- [24] D. S. Bagus, *Aplikasi Panel Surya Untuk Beban Lampu 40 Watt*. repository.its.ac.id, 2018. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/51321/>
- [25] M. U. S. Padang and B. Anto, "Pemodelan dan Simulasi Battery Charger Berbasis Push-Pull Converter Menggunakan Matlab-Simulink," *neliti.com*, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/200859/pemodelan-dan-simulasi-battery-charger-berbasis-push-pull-converter-menggunakan>
- [26] P. W. Gautama, H. Suyanto, and E. Erlina, *PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SISTEM OFF GRID DENGAN KAPASITAS 2 KWP PADA INSTALASI MENARA SUAR ...*. 156.67.221.169, 2021. [Online]. Available: <http://156.67.221.169/id/eprint/3153>
- [27] A. Y. Cahyadi, "... INDUKSI TIGA FASE DENGAN SUMBER SATU FASE MENGGUNAKAN SEPIC CONVERTER DAN INVERTER TIGA FASE PULSE WIDTH MODULATION (PWM)," *repository.unej.ac.id*, [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/65912>
- [28] F. Hidayanti, *APLIKASI SEL SURYA: SISTEM SEL SURYA WEARABLE*. repository.unas.ac.id, 2021. [Online]. Available: <http://repository.unas.ac.id/3973/1/BUKU%20AJAR%20Aplikasi%20Sel%20Surya%20-%20Fitria%20Hidayanti.pdf>
- [29] M. A. Laguado-Serrano, E. A. L. Paipa, and ..., "Performance comparison between PWM and MPPT charge controllers," *Scientia et ...*, 2019, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/849/84959429001/84959429001.pdf>
- [30] A. Victor, D. K. Mahato, A. Pundir, and ..., "Design, Simulation and Comparative Analysis of Different Types of Solar Charge Controllers for Optimized Efficiency," *2019 Women Institute of ...*, 2019, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9092912/>
- [31] M. Effendy, N. A. Mardiyah, and ..., "Implementasi Maximum Power Point Tracking pada Photovoltaic Berbasis P&O-Fuzzy," *Jurnal Nasional Teknik ...*, 2017, [Online]. Available: <http://ejnteti.jteti.ugm.ac.id/index.php/JNTETI/article/view/302>



©202x. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).