

# Pengukuran Unjuk Kerja MPPT *Photovoltaic Stand-Alone* Dalam Kondisi Perubahan Bertahap Iradiasi Matahari

Rhezal Agung Ananto<sup>\*a)</sup>, Wahyu Hanaldi<sup>b)</sup>, Priya Surya Harijanto<sup>a)</sup>, Binar Surya Gumilang<sup>a)</sup>,  
Asfari Hariz Santoso<sup>a)</sup>

(Received 21 November 2024 || Revised 22 Desember 2024 || Accepted 30 Januari 2025)

**Abstract:** : Nowadays, renewable energy is an important energy. This study aims to analyze the performance of Maximum Power Point Tracking (MPPT) in Stand-Alone Photovoltaic (PV) systems in dealing with gradual changes in solar irradiation. The main focus of the study is the comparison between irradiation to MPPT product. The research methodology involves the use of several types and sizes of PV to obtain representative data. Variations in solar irradiation intensity are used to simulate various real conditions. The initial objective is to assess the performance of specially designed MPPT and ensure that the system can function properly in optimizing PV power under changing irradiation conditions. The main objective is to analyze the performance of MPPT in Stand-Alone Photovoltaic systems as a whole, considering variations in PV types and sizes, as well as differences in solar irradiation levels. The results of this study are expected to provide in-depth insight into the effectiveness of MPPT under various operational conditions. Trials were conducted both in the laboratory and in the field to ensure the validity of the results. Thus, this study makes a significant contribution to the development of more reliable and efficient Stand-Alone Photovoltaic technology. The findings of this study are expected to be the basis for improving MPPT design and increasing the performance of Stand-Alone Photovoltaic systems in dealing with environmental variations and different operational conditions.

**Keywords:** Converter, Charge Controller, Maximum power point tracker, MPPT, Photovoltaic, SCC, Stand-alone PV, Monitoring PV

## 1. Pendahuluan

Sebagai negara berkembang yang mengalami pertumbuhan ekonomi yang pesat, Indonesia menghadapi tantangan besar terkait kebutuhan energi yang terus meningkat seiring dengan perkembangan sektor industri dan perkotaan. Penggunaan energi fosil yang dominan saat ini tidak hanya memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga tidak sesuai dengan visi pembangunan berkelanjutan yang diinginkan oleh pemerintah. Salah satu solusi yang tepat untuk mengatasi masalah ini adalah dengan meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan. Energi baru terbarukan (EBT), seperti energi photovoltaic dari sistem *Photovoltaic Stand Alone* (PVSA), menjadi fokus utama penelitian ini. Namun, efisiensi sistem PVSA sangat bergantung pada teknologi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), yang memungkinkan panel surya menghasilkan daya maksimum dengan mengoptimalkan titik daya maksimum (Maximum Power Point) pada kurva I-V (arus-tegangan) [1].

Meskipun sistem PVSA menawarkan solusi energi yang bersih dan berkelanjutan, masih terdapat beberapa tantangan yang signifikan dalam implementasinya. Salah satunya adalah variasi iradiasi matahari yang terjadi secara alami, baik akibat perubahan cuaca maupun siklus harian. Variasi ini menyebabkan fluktuasi daya keluaran panel surya, yang dapat menurunkan efisiensi konversi energi. Selain itu, kurangnya sistem MPPT yang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan mengakibatkan pemanfaatan daya maksimum belum optimal. Perancangan dan analisis MPPT yang tepat akan mendukung ketangguhan dan keandalan sistem PVSA di berbagai kondisi lingkungan [2], [3].

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja MPPT dalam sistem PVSA. Metode seperti *Perturb and Observe* (P&O) [4], [5], [6], *Incremental Conductance* (IC) [7], [8], dan metode berbasis kecerdasan buatan [9] telah diterapkan dalam berbagai studi. Kajian terhadap berbagai metode ini menunjukkan bahwa belum ada solusi yang sepenuhnya optimal untuk meningkatkan efisiensi MPPT dalam kondisi iradiasi yang dinamis.

Meskipun berbagai algoritma MPPT telah dikembangkan,

masih terdapat celah di antar penelitian itu dalam penerapan yang sesuai dengan kondisi lingkungan tropis seperti di Indonesia. Sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada kondisi laboratorium dengan parameter yang relatif stabil, sedangkan kondisi riil di lapangan menunjukkan adanya variasi iradiasi yang tidak menentu. Selain itu, beberapa studi tidak secara spesifik menguji efektivitas MPPT dalam berbagai skenario operasional di sistem PVSA.

Dalam penelitian ini, pendekatan baru dikembangkan untuk meningkatkan akurasi dan respons MPPT terhadap perubahan bertahap iradiasi matahari. Sistem yang digunakan dirancang untuk mengoptimalkan daya keluaran PVSA dengan mempertimbangkan berbagai faktor lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga mengusulkan kombinasi metode MPPT konvensional dengan pendekatan yang lebih adaptif guna meningkatkan efisiensi dan stabilitas daya keluaran.

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja MPPT dalam sistem PVSA dengan mempertimbangkan kondisi perubahan bertahap iradiasi matahari. Evaluasi dilakukan baik dalam lingkungan laboratorium maupun di lapangan untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif. Dengan menggabungkan aspek pentingnya energi baru terbarukan di Indonesia, dukungan terhadap kebijakan energi nasional, dan upaya untuk mendapatkan MPPT yang efektif untuk menyimpan energi listrik, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pembangunan berkelanjutan dan penguatan ketahanan energi di Indonesia. Kesuksesan penelitian ini dapat membuka jalan bagi penerapan teknologi PVSA yang lebih efisien dan dapat diandalkan di seluruh negeri, membawa manfaat baik secara ekonomi maupun lingkungan [10].

## 2. Metode

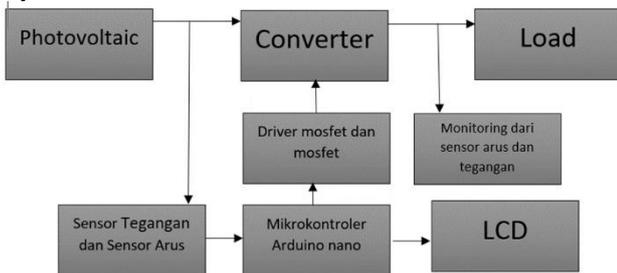
Proses pembuatan alat monitoring dimulai dengan melakukan observasi dan identifikasi kebutuhan peralatan. Komponen peralatan yang diperlukan dipersiapkan berdasarkan rencana awal, dengan mempelajari teori dasar yang mendukung pembuatan alat.

\*Korespondensi: [rhezal.agung@polinema.ac.id](mailto:rhezal.agung@polinema.ac.id)

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

b) PT. PLN (Persero), Indonesia

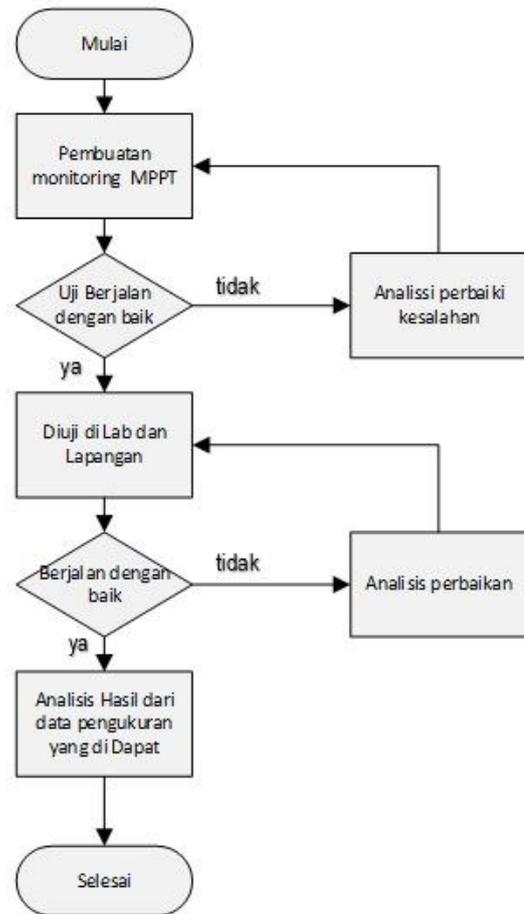
Pada penelitian ini, sistem PVSA dirancang menggunakan berbagai material utama yang berfungsi untuk mengoptimalkan kinerja sistem dan memungkinkan proses pemantauan serta pengendalian daya secara *real-time*. Gambar 2.1 menunjukkan diagram blok sistem utama yang digunakan dalam penelitian ini. Photovoltaic (PV) menggunakan SunPower 10 Wp, efisiensi 22%, sebagai sumber utama energi listrik yang mengubah energi matahari menjadi listrik DC. PV ini dipilih karena memiliki efisiensi tinggi dan respons yang baik terhadap variasi iradiasi matahari. Tegangan dan arus keluarannya diukur oleh sensor tegangan dan sensor arus dan data dari sensor ini dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses. DC-DC Converter dari Texas Instruments, LM5176 - Buck-Boost Converter, untuk menyesuaikan tegangan keluaran dari PV agar sesuai dengan beban atau sistem penyimpanan energi. Konverter dikendalikan mikrokontroler, yang menentukan titik daya maksimum menggunakan algoritma MPPT. Perangkat ini bekerja sama dengan MOSFET driver untuk mengatur output daya. Load/beban berupa baterai Lead-Acid Yuasa, 12V 3.5Ah, untuk menyalurkan energi ke beban secara stabil, sehingga sistem tetap dapat beroperasi meskipun intensitas matahari berfluktuasi. Mikrokontroler Arduino Nano sebagai pusat pemrosesan data dan kontrol MPPT yang menggunakan algoritma *Perturb & Observe* (P&O) untuk menentukan titik daya maksimum dengan memvariasikan tegangan keluaran dari konverter. Prinsip kerja algoritma P&O didasarkan pada perubahan tegangan yang mengakibatkan perubahan daya panel surya [11]. Jika peningkatan tegangan menyebabkan peningkatan daya, maka algoritma akan terus mengubah tegangan dalam arah yang sama. Sebaliknya, jika tegangan menyebabkan penurunan daya, maka arah perubahan tegangan dibalik untuk mendekati titik daya maksimum. Prinsip dasar ini memungkinkan P&O untuk secara efektif mencari MPP dalam berbagai kondisi operasi, namun bisa menyebabkan osilasi yang mempengaruhi kestabilan daya pada MPP [12]. Data dikirim ke layar LCD untuk ditampilkan secara *real-time*. MOSFET berfungsi sebagai saklar daya dalam converter, dikendalikan oleh MOSFET *driver* berdasarkan sinyal dari Arduino Nano. Monitoring dari Sensor Arus dan Tegangan (*Data Logger* dengan RTC DS3231) bertugas mencatat data operasional sistem seperti tegangan, arus, daya, dan performa sistem untuk dianalisis lebih lanjut.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM BLOK SISTEM UTAMA

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2, yang menggambarkan alur penelitian mulai dari pembuatan sistem monitoring MPPT hingga analisis hasil pengukuran. Tahap awal penelitian adalah merancang dan mengembangkan sistem monitoring MPPT untuk mengoptimalkan daya keluaran dari panel surya. Setelah sistem selesai dibuat, dilakukan uji fungsional awal untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja sesuai spesifikasi. Pada tahap ini sistem diuji dalam kondisi standar

iradiasi untuk melihat respons MPPT. Jika uji berjalan dengan baik, penelitian berlanjut ke tahap berikutnya. Jika tidak, dilakukan analisis kesalahan dan perbaikan, seperti penyesuaian parameter MPPT atau debugging perangkat lunak di mikrokontroler. Setelah sistem berfungsi dengan baik, dilakukan pengujian eksperimental di dua skenario yaitu uji laboratorium menggunakan solar simulator dengan variasi iradiasi 200 W/m<sup>2</sup> hingga 1000 W/m<sup>2</sup> dan uji lapangan untuk menguji sistem dalam kondisi iradiasi matahari yang dinamis. Setelah pengujian di laboratorium dan lapangan, apabila sistem berjalan dengan baik, maka data hasil pengukuran digunakan untuk analisis. Jika tidak, dilakukan perbaikan sistem, seperti tuning parameter MPPT atau penggantian komponen yang kurang optimal.



GAMBAR 2.2 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

### 3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini, termasuk data daya keluaran sistem Photovoltaic Stand-Alone (PVSA), iradiasi matahari, dan analisis kinerja MPPT. Pada pengujian, sistem MPPT diimplementasikan dalam PVSA untuk mengevaluasi efisiensinya dalam mengoptimalkan daya keluaran. Gambar 3.1 sampai Gambar 3.6 menunjukkan hasil pengukuran daya dan iradiasi matahari yang diperoleh dari sistem ini.

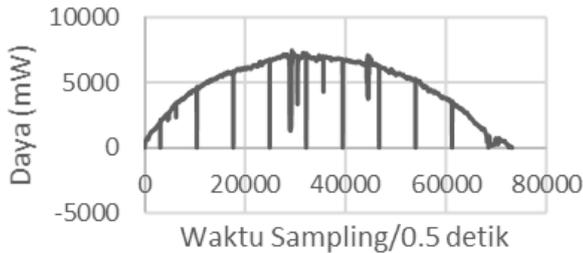
#### 3.1 Hasil Pengukuran Daya Keluaran PVSA

Pengukuran dilakukan selama sehabian penuh dari matahari terbit hingga matahari terbenam untuk melihat variasi daya yang dihasilkan. Gambar 3.1 sampai dengan Gambar 3.3 merupakan grafik hasil pengukuran variasi daya keluaran PVSA dengan sumbu

X mewakili waktu (jam), sedangkan sumbu Y menunjukkan daya keluaran dalam satuan mWatt. Pada Gambar 3.1, merupakan pengukuran pertama, diperoleh hasil pengukuran energi sebesar 58 Wh dengan kapasitas PV yang digunakan adalah 10 Wp. Diukur juga iradiasi matahari menggunakan solar power meter di rentang waktu yang sama sehingga didapatkan *performace ratio* (PR) menggunakan (3-1).

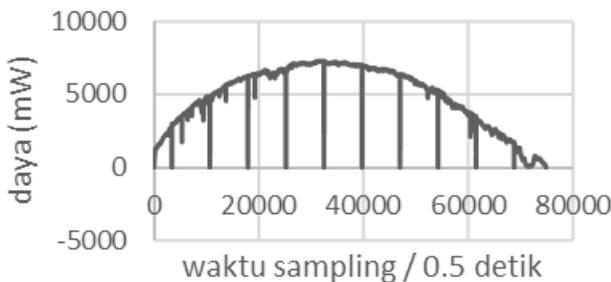
$$PR = \frac{\text{energi keluaran PV}}{\text{iradiasi matahari} \times \text{luas PV}} \quad (3-1)$$

sehingga diperoleh PR = 89%.



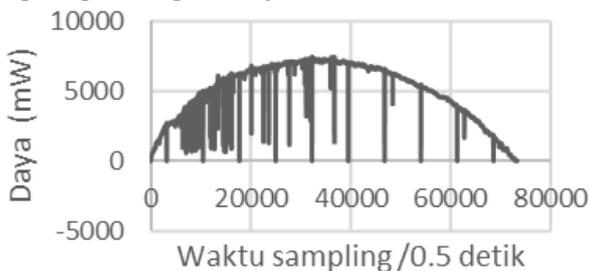
GAMBAR 3.1 GRAFIK DAYA OLEH SISTEM PVSA PENGUKURAN 1

Gambar 3.2 merupakan pengukuran kedua dengan hasil pengukuran energi sebesar 62 Wh. Dengan menggunakan (3-1), diperoleh PR sebesar 92%.



GAMBAR 3.2 GRAFIK DAYA OLEH SISTEM PVSA PENGUKURAN 2

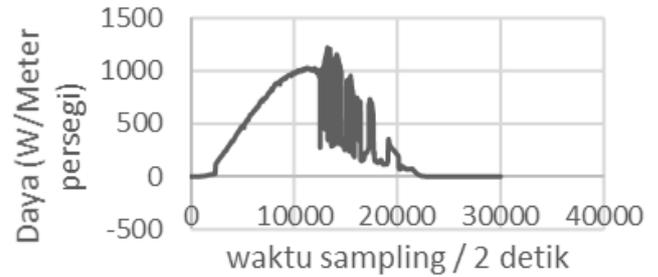
Gambar 3.3 merupakan hasil pengukuran ketiga dengan hasil pengukuran energi yaitu 62 Wh. Persamaan (3-1) digunakan untuk menghitung PR dengan hasil yaitu 93%.



GAMBAR 3.3 GRAFIK DAYA OLEH SISTEM PVSA PENGUKURAN 3

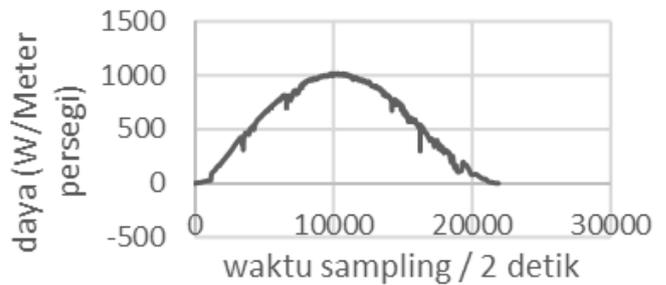
### 3.2 Hasil Pengukuran Iradiasi Matahari

Iradiasi matahari diukur secara bersamaan dengan pengukuran daya keluaran. Gambar 3.4 – Gambar 3.6 menunjukkan grafik intensitas iradiasi yang diterima oleh PVSA dengan sumbu x menunjukkan waktu sampling dan sumbu y adalah daya/meter<sup>2</sup>. Pada Gambar 3.4, merupakan hasil pengukuran pertama, nilai iradiasi matahari yang diperoleh 6,6 kWh/m<sup>2</sup> pada temperatur lingkungan sebesar 26 °C.



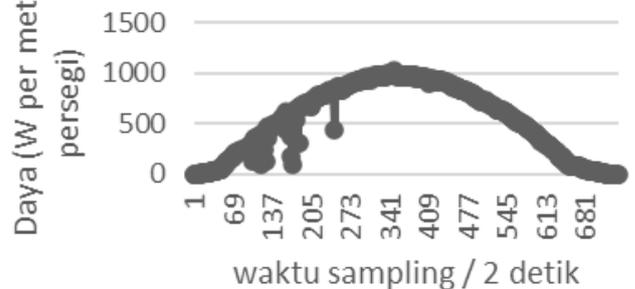
GAMBAR 3.4 GRAFIK IRADIASI PADA PENGUKURAN 1

Pada Gambar 3.5, merupakan hasil pengukuran kedua, nilai iradiasi matahari yang diperoleh 6,7 kWh/m<sup>2</sup> pada temperatur lingkungan sebesar 25 °C.



GAMBAR 3.5 GRAFIK IRADIASI PADA PENGUKURAN 2

Pada Gambar 3.6, merupakan hasil pengukuran ketiga, nilai iradiasi matahari yang diperoleh 6,7 kWh/m<sup>2</sup> pada temperatur lingkungan sebesar 25 °C.



GAMBAR 3.6 GRAFIK IRADIASI PADA PENGUKURAN 3

Fluktuasi daya yang diamati pada Gambar 3.1 – 3.3 berhubungan langsung dengan variasi iradiasi matahari pada Gambar 3.4 – Gambar 3.6. Ketika intensitas iradiasi lebih tinggi, daya keluaran juga meningkat.

### 3.3 Evaluasi Kinerja MPPT

Salah satu tujuan utama penelitian ini adalah menilai efektivitas MPPT dalam meningkatkan daya yang dihasilkan oleh sistem PVSA. Untuk itu, dilakukan perbandingan kinerja dengan penelitian oleh Talawo dan Kadir [12]. Daya rata-rata yang dihasilkan PVSA di penelitian Talawo dan Kadir adalah 5,42 W dan mampu mengisi baterai 12 Volt 3,5 Ah selama 5 jam. Pada penelitian ini PVSA mampu menghasilkan daya rata-rata sebesar 6,105 W dan mampu mengisi baterai dari kondisi kosong sampai penuh selama 4,5 jam.

Sedangkan perbandingan hasil perhitungan PR penelitian ini dengan penelitian lain menghasilkan nilai yang bervariasi tergantung lokasi ketika dilakukan pengukuran seperti pada Tabel 3.1. Dalam perbandingan pengukuran tersebut memiliki hasil yang

menunjukkan bahwa PR memiliki nilai yang hampir sama di lokasi yang berbeda.

TABEL 3.1 TABEL PERBANDINGAN PENGUKURAN PR

No	Variabel	PR dalam (%)
1	Pengukuran 1	89
2	Pengukuran 2	92
3	Pengukuran 3	93
4	Tangerang a [13]	78
5	Tangerang b [13]	85
6	Tangerang c [13]	92
7	Surabaya a [14]	75
8	Surabaya b [14]	77
9	Surabaya c [14]	84

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini berfokus pada analisis unjuk kerja Maximum Power Point Tracking (MPPT) dalam sistem *Photovoltaic Stand-Alone* (PVSA) pada kondisi perubahan bertahap iradiasi matahari. Energi surya merupakan salah satu solusi utama dalam transisi menuju sumber energi terbarukan yang berkelanjutan. Namun, tantangan utama dalam implementasi sistem PVSA adalah fluktuasi daya akibat variasi iradiasi matahari, yang dapat mengurangi efisiensi sistem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas MPPT dalam meningkatkan daya keluaran sistem PVSA melalui pengujian di laboratorium dan lapangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa MPPT secara signifikan meningkatkan daya keluaran sistem PVSA, dengan *Performance Ratio* (PR) mencapai 93%, yang lebih tinggi dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya. Dari data pengukuran, terdapat korelasi langsung antara peningkatan iradiasi matahari dengan daya keluaran, namun dengan efisiensi yang tidak linier, yang dipengaruhi oleh karakteristik panel surya dan sistem pengendalian MPPT. Pengujian di lapangan menunjukkan adanya fluktuasi daya yang kemungkinan besar disebabkan oleh osilasi dalam algoritma MPPT yang digunakan, yaitu *Perturb and Observe* (P&O). Algoritma ini efektif dalam kondisi perubahan bertahap, tetapi menghasilkan osilasi daya di sekitar titik daya maksimum (MPP), yang menyebabkan sedikit kehilangan energi.

Dalam perbandingan dengan penelitian sebelumnya, hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan kinerja sistem MPPT. Studi oleh Prasetya et al. [15] melaporkan PR sebesar 79%, sementara Hidayati et al. [16] hanya mendapatkan PR 11%. PR yang diperoleh dalam penelitian ini (89% – 93%) menunjukkan bahwa sistem yang diuji memiliki efisiensi yang lebih baik, kemungkinan karena implementasi MPPT yang lebih adaptif dan penggunaan panel surya monokristalin dengan efisiensi tinggi. Namun, dibandingkan dengan algoritma Incremental Conductance (IC) dan metode berbasis kecerdasan buatan seperti *Fuzzy Logic Control* (FLC) yang telah diuji dalam studi lain, metode P&O yang digunakan dalam penelitian ini masih menunjukkan keterbatasan dalam mengatasi perubahan iradiasi yang cepat dan mengurangi osilasi daya.

Secara keseluruhan, penelitian ini mendukung temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa MPPT dapat meningkatkan efisiensi konversi daya pada sistem PVSA. Namun, beberapa aspek yang belum dianalisis secara mendalam dalam penelitian ini, seperti pengaruh suhu terhadap efisiensi panel surya, studi

perbandingan berbagai algoritma MPPT, dan pengujian pada kondisi *shading* (bayangan), perlu menjadi perhatian dalam penelitian selanjutnya.

Untuk pengembangan penelitian di masa mendatang, beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu menggunakan algoritma MPPT yang lebih adaptif, seperti Incremental Conductance (IC) atau Fuzzy Logic Control (FLC), untuk mengurangi osilasi daya dan meningkatkan efisiensi pencarian titik daya maksimum. Selain itu mengintegrasikan sensor suhu untuk menganalisis pengaruh pemanasan panel terhadap efisiensi daya keluaran. Serta dapat juga dikembangkan dengan melakukan pengujian MPPT pada berbagai jenis panel surya, termasuk polikristalin dan thin-film, untuk menilai performa MPPT dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Dengan adanya pengembangan lebih lanjut, diharapkan sistem MPPT dapat semakin meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem PVSA, sehingga teknologi energi surya dapat diimplementasikan secara lebih luas sebagai solusi energi terbarukan yang berkelanjutan.

#### Referensi

- [1] P. Pramana, K. G. H. Mangunkusumo, H. B. Tambunan, and D. R. Jintaka, "Revitalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Pada Sistem Microgrid Pulau Tomia," *J. Technopreneur*, vol. 9, no. 1, pp. 28–37, May 2021, doi: 10.30869/jtech.v9i1.724.
- [2] M. Seyedmahmoudian et al., "Simulation and Hardware Implementation of New Maximum Power Point Tracking Technique for Partially Shaded PV System Using Hybrid DEPSO Method," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 850–862, Jul. 2015, doi: 10.1109/TSTE.2015.2413359.
- [3] O. Ayadi, R. Shadid, A. Bani-Abdullah, M. Alrbai, M. Abu-Mualla, and N. A. Balah, "Experimental comparison between Monocrystalline, Polycrystalline, and Thin-film solar systems under sunny climatic conditions," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 218–230, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.06.121.
- [4] V. Kamala Devi, K. Premkumar, A. Bisharathu Beevi, and S. Ramaiyer, "A modified Perturb & Observe MPPT technique to tackle steady state and rapidly varying atmospheric conditions," *Sol. Energy*, vol. 157, pp. 419–426, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.SOLENER.2017.08.059.
- [5] M. Killi and S. Samanta, "Modified perturb and observe MPPT algorithm for drift avoidance in photovoltaic systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 9, pp. 5549–5559, Sep. 2015, doi: 10.1109/TIE.2015.2407854.
- [6] Z. Fan, S. Li, H. Cheng, and L. Liu, "Perturb and Observe MPPT Algorithm of photovoltaic System: A Review," *Proc. 33rd Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2021*, pp. 1413–1418, 2021, doi: 10.1109/CCDC52312.2021.9602272.
- [7] L. Shang, H. Guo, and W. Zhu, "An improved MPPT control strategy based on incremental conductance algorithm," *Prot. Control Mod. Power Syst.*, vol. 5, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1186/S41601-020-00161-Z.
- [8] P. Sivakumar, A. Abdul Kader, Y. Kaliavaradhan, and M. Arutchelvi, "Analysis and enhancement of PV efficiency with incremental conductance MPPT technique under non-linear loading conditions," *Renew. Energy*, vol. 81, pp. 543–550, Sep. 2015, doi: 10.1016/J.RENEWENER.2015.07.031.

- 10.1016/J.RENENE.2015.03.062.
- [9] K. Y. Yap, C. R. Sarimuthu, and J. M. Y. Lim, "Artificial Intelligence Based MPPT Techniques for Solar Power System: A review," *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 8, no. 6, pp. 1043–1059, Nov. 2020, doi: 10.35833/MPCE.2020.000159.
- [10] L. Shengqing, L. Fujun, Z. Jian, C. Wen, and Z. Donghui, "An improved MPPT control strategy based on incremental conductance method," *Soft Comput.*, vol. 24, no. 8, pp. 6039–6046, Apr. 2020, doi: 10.1007/S00500-020-04723-Z/METRICS.
- [11] G. Dileep and S. N. Singh, "Maximum power point tracking of solar photovoltaic system using modified perturbation and observation method," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 109–129, Oct. 2015, doi: 10.1016/J.RSER.2015.04.072.
- [12] S. Z. M. Noor, A. M. Omar, M. A. M. Radzi, and A. H. Faranadia, "Artificial Intelligence based Fuzzy-MPPT Technique of H-Bridge Inverter for Grid-Connected Photovoltaic System," *2018 110th AEIT Int. Annu. Conf. AEIT 2018*, Dec. 2018, doi: 10.23919/AEIT.2018.8577307.
- [13] M. L. Cummings, "Automation bias in intelligent time critical decision support systems," *Collect. Tech. Pap. - AIAA 1st Intell. Syst. Tech. Conf.*, vol. 2, pp. 557–562, Jul. 2004, doi: 10.4324/9781315095080-17/AUTOMATION-BIAS-INTELLIGENT-TIME-CRITICAL-DECISION-SUPPORT-SYSTEMS-CUMMINGS.
- [14] E. Tarigana, Djuwaria, and L. Purba, "Assessment of PV Power Generation for Household in Surabaya Using SolarGIS–pvPlanner Simulation," *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 85–93, 2014, doi: 10.1088/1751-8113/44/8/085201.
- [15] A. Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap, M. di Daerah Karawang Rizqullah Yoga Prasetya, S. Alfa Adilla, M. Farid Khol, E. A. Hakim, and D. Suhardi, "Performance Analysis of the 1 MW Rooftop Solar Power Generation System at the Karawang," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 60–70, Oct. 2024, doi: 10.21070/jeeeu.v8i2.1685.
- [16] J. Rekayasa Material *et al.*, "Analisis Performa PLTSoff - Grid 1 kWp Di Selasar Gedung Laboratorium Politeknik Negeri Jakarta," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 7, no. 1, pp. 82–91, Jan. 2024, doi: 10.30596/RMME.V7I1.17275.