


Analisis Kinerja Sistem Panel Surya Berbasis Maximum Power Point Tracking (MPPT) Dalam Kondisi Cuaca Tropis

Rafilus Sampe¹, Yuli Kusdiah², Meny Sriwati³, Kasnawati⁴

^{1,2,3,4}STITEK Dharma Yadi Makassar

E-mail: rafilussampe2017@gmail.com

*Corresponding Author

 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i2.3165>

ARTICLE INFO

Article history

Received: 10 September 2025

Revised: 26 September 2025

Accepted: 18 October 2025

Kata kunci:

Panel Surya, MPPT, Cuaca Tropis

Keywords:

Solar Panel, MPPT, Tropical Climate



ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem panel surya berbasis *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) pada kondisi cuaca tropis yang memiliki karakteristik radiasi matahari dan suhu lingkungan yang sangat fluktuatif. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan meninjau berbagai hasil penelitian terdahulu yang membahas implementasi dan efektivitas algoritma MPPT pada sistem fotovoltaik di wilayah tropis. Sumber referensi utama mencakup penelitian dari tahun 2020 hingga 2024 yang mengkaji berbagai algoritma MPPT seperti *Perturb and Observe (P&O)*, *Incremental Conductance (INC)*, *Fuzzy Logic Control (FLC)*, dan sistem berbasis *Arduino*. Hasil kajian menunjukkan bahwa performa sistem PV di daerah tropis sangat bergantung pada kemampuan algoritma MPPT dalam menyesuaikan titik daya maksimum terhadap perubahan intensitas radiasi dan suhu. Algoritma berbasis *Fuzzy Logic* dan *Incremental Conductance* terbukti memiliki efisiensi konversi daya lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, terutama pada kondisi cuaca yang cepat berubah. Selain itu, integrasi sistem MPPT dengan *microcontroller* seperti *Arduino* juga meningkatkan responsivitas sistem terhadap variasi cuaca. Secara umum, penerapan MPPT pada panel surya di iklim tropis mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 15–25% dibandingkan sistem tanpa MPPT. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pengembangan algoritma MPPT adaptif yang mampu mengakomodasi dinamika cuaca tropis untuk meningkatkan performa sistem energi surya berkelanjutan.

This study aims to analyze the performance of solar panel systems based on Maximum Power Point Tracking (MPPT) under tropical weather conditions, which are characterized by highly fluctuating solar radiation and ambient temperature. The research employs a literature review method by examining previous studies discussing the implementation and effectiveness of MPPT algorithms in photovoltaic systems in tropical regions. The reviewed sources, published between 2020 and 2024, include several MPPT algorithms such as Perturb and Observe (P&O), Incremental Conductance (INC), Fuzzy Logic Control (FLC), and Arduino-based systems. The findings reveal that the performance of PV systems in tropical climates strongly depends on the ability of the MPPT algorithm to adapt the maximum power point to variations in irradiance and temperature. Fuzzy Logic and Incremental Conductance algorithms demonstrate higher power conversion efficiency compared to conventional methods, particularly under rapidly changing weather conditions. Moreover, integrating MPPT systems with microcontrollers such as Arduino enhances the system's responsiveness to climatic variations. Overall, the application of MPPT in solar panels within tropical climates can improve energy efficiency by approximately 15–25% compared to systems without MPPT. This study highlights the importance of developing adaptive MPPT algorithms capable of handling tropical weather dynamics to improve the performance and sustainability of solar energy systems.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

How to Cite: Rafilus Sampe, et al (2025). Analisis Kinerja Sistem Panel Surya Berbasis Maximum Power Point Tracking (MPPT) Dalam Kondisi Cuaca Tropis 4(2) 8276-8282 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i2.3165>

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi, perkembangan industri, dan peningkatan taraf hidup masyarakat. Ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang terbatas serta dampak negatif terhadap lingkungan mendorong pengembangan sumber energi terbarukan, salah satunya energi surya (Nur et al., 2024). Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki potensi energi surya yang melimpah dengan rata-rata intensitas radiasi matahari antara 4,8 hingga 5,5 kWh/m² per hari (Hasan & Rahim, 2020). Potensi ini menjadikan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai salah satu solusi strategis dalam mendukung transisi energi bersih dan berkelanjutan.

Namun demikian, performa sistem panel surya sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti intensitas radiasi matahari, suhu udara, dan kelembapan, yang cenderung fluktuatif di wilayah tropis (Nur et al., 2024). Perubahan mendadak pada kondisi cuaca seperti mendung, hujan, dan perubahan suhu permukaan panel dapat menyebabkan variasi daya keluaran panel surya, sehingga efisiensi sistem menjadi tidak stabil (Kurniawan & Siregar, 2023). Dalam konteks ini, diperlukan suatu mekanisme pengendalian yang mampu menjaga agar panel surya selalu beroperasi pada titik daya maksimum (Maximum Power Point, MPP) meskipun terjadi variasi kondisi lingkungan.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan kinerja panel surya adalah Maximum Power Point Tracking (MPPT). MPPT berfungsi untuk menyesuaikan tegangan dan arus keluaran modul surya agar menghasilkan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca (Budiarto & Setiawan, 2022). Beberapa algoritma MPPT yang umum digunakan antara lain *Perturb and Observe (P&O)*, *Incremental Conductance (IncCond)*, *Fuzzy Logic Control*, dan *Artificial Neural Network (ANN)*. Penelitian Budiarto dan Setiawan (2022) menunjukkan bahwa algoritma *Incremental Conductance* dan *Fuzzy Logic* mampu meningkatkan efisiensi konversi daya sistem PV hingga 18% dibandingkan metode konvensional di iklim tropis Indonesia. Sementara itu, Hidayat, Prasetyo, dan Nugroho (2024) melaporkan bahwa metode *Perturb and Observe* memiliki keunggulan pada respon dinamis yang cepat, meskipun efisiensinya menurun pada kondisi radiasi yang sangat fluktuatif.

Selain dari sisi algoritma, aspek implementasi sistem MPPT juga menjadi perhatian penting dalam studi-studi terbaru. Fathoni dan Ardiansyah (2023) mengembangkan sistem MPPT berbasis Arduino Uno untuk mengoptimalkan daya panel surya pada kondisi cuaca tropis. Hasil penelitian mereka menunjukkan peningkatan daya keluaran hingga 12% dibandingkan sistem tanpa MPPT. Demikian pula, Nurfalah dan Purnomo (2021) menekankan pentingnya integrasi antara sistem kontrol berbasis mikrokontroler dan algoritma MPPT dalam memaksimalkan kinerja panel surya di lingkungan tropis. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas tinggi serta biaya implementasi yang relatif rendah, menjadikannya cocok untuk aplikasi skala rumah tangga hingga industri kecil.

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, masih terdapat tantangan dalam memastikan keandalan sistem MPPT di daerah tropis yang memiliki variasi suhu dan radiasi yang ekstrem dalam satu hari. Nuraini dan Wahyudi (2023) menyoroti bahwa perbandingan performa algoritma MPPT pada kondisi tropis belum memberikan kesimpulan yang konsisten, karena hasil efisiensi sangat bergantung pada karakteristik sistem, sensor, dan kondisi geografis lokasi pengujian. Selain itu, penelitian-penelitian sebelumnya umumnya hanya menitikberatkan pada satu jenis algoritma MPPT tanpa analisis komprehensif terhadap performa sistem secara keseluruhan, termasuk pengaruh faktor lingkungan dan kestabilan daya jangka panjang.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis kinerja sistem panel surya berbasis MPPT dalam kondisi cuaca tropis, dengan pendekatan studi literatur dari berbagai penelitian terkini. Fokus utama penelitian ini adalah mengidentifikasi bagaimana variasi kondisi iklim tropis mempengaruhi kinerja MPPT serta menentukan pendekatan yang paling efektif untuk menjaga efisiensi sistem. Research gap yang ingin dijawab adalah masih terbatasnya kajian integratif yang menghubungkan antara jenis algoritma MPPT, variasi iklim tropis, serta aspek implementasi teknis dan efisiensi daya dalam satu kerangka analisis yang menyeluruh. Novelty dari penelitian ini terletak pada

penyusunan sintesis literatur yang komprehensif tentang kinerja sistem panel surya berbasis MPPT di wilayah tropis, dengan menyoroti perbandingan antaralgoritma dan pengaruh faktor cuaca secara simultan untuk merumuskan rekomendasi peningkatan efisiensi sistem PV di daerah tropis Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur yang bertujuan untuk menganalisis dan mensintesis hasil-hasil penelitian terdahulu mengenai kinerja sistem panel surya berbasis Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada kondisi cuaca tropis.

1. **Identifikasi Masalah dan Fokus Penelitian**
Penelitian diawali dengan identifikasi masalah terkait fluktuasi efisiensi panel surya di iklim tropis serta penentuan fokus kajian pada analisis algoritma MPPT yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran sistem PV.
2. **Pengumpulan Literatur**
Referensi diperoleh dari sumber ilmiah seperti Google Scholar dan ScienceDirect, dengan kriteria penelitian terbit antara tahun 2019–2024, relevan dengan topik MPPT dan kondisi tropis.
3. **Seleksi dan Klasifikasi Data**
Literatur yang terkumpul diseleksi berdasarkan kesesuaian topik, kelengkapan data, dan metode yang digunakan, kemudian diklasifikasikan menurut jenis algoritma MPPT, parameter uji, serta kondisi lingkungan penelitian.
4. **Analisis dan Sintesis Data**
Data dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi pola, perbedaan, serta faktor-faktor yang memengaruhi performa MPPT di iklim tropis. Hasil dari berbagai penelitian disintesis menjadi gambaran menyeluruh tentang efektivitas dan efisiensi sistem PV berbasis MPPT.
5. **Penyusunan Kesimpulan dan Rekomendasi**
Tahap akhir berupa penyusunan hasil analisis menjadi kesimpulan yang menjelaskan kinerja sistem MPPT pada kondisi tropis serta rekomendasi arah pengembangan penelitian dan penerapan teknologi di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dengan menelaah berbagai hasil penelitian terdahulu yang relevan mengenai kinerja sistem panel surya berbasis Maximum Power Point Tracking (MPPT) di kondisi cuaca tropis. Kajian dilakukan terhadap beberapa penelitian dari dalam dan luar negeri untuk memperoleh gambaran komprehensif tentang efektivitas berbagai algoritma MPPT, pengaruh faktor lingkungan tropis, serta penerapan sistem kontrol berbasis mikrokontroler dalam meningkatkan efisiensi daya panel surya. Hasil analisis literatur disajikan sebagai berikut:

1. **Budiarto & Setiawan (2022)**
Penelitian ini menganalisis efisiensi sistem panel surya dengan algoritma Incremental Conductance (IncCond) dan Fuzzy Logic di iklim tropis Indonesia. Hasil menunjukkan bahwa metode Fuzzy Logic menghasilkan efisiensi konversi daya tertinggi sebesar 96,3%, sedangkan IncCond mencapai 93,8%. Sistem dengan Fuzzy Logic lebih adaptif terhadap perubahan radiasi mendadak dan memiliki respon dinamis yang lebih cepat dibandingkan metode konvensional.
2. **Fathoni & Ardiansyah (2023)**
Studi ini mengembangkan sistem MPPT berbasis Arduino Uno untuk optimasi daya panel surya di kondisi cuaca tropis. Pengujian menunjukkan peningkatan daya keluaran rata-rata sebesar 12% dibandingkan sistem tanpa MPPT. Arduino Uno mampu menjaga titik daya maksimum meskipun terjadi fluktuasi radiasi dan suhu, menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis mikrokontroler efektif untuk aplikasi skala kecil hingga menengah.
3. **Hasan & Rahim (2020)**
Penelitian ini melakukan evaluasi performa sistem fotovoltaik dengan berbagai teknik MPPT di wilayah tropis Asia Tenggara. Hasil menunjukkan bahwa algoritma adaptif hybrid yang menggabungkan metode Perturb and Observe (P&O) dan Incremental Conductance memberikan efisiensi tertinggi hingga 97%, dengan respon yang stabil terhadap perubahan

Analisis Kinerja Sistem Panel Surya Berbasis Maximum Power Point Tracking (MPPT) Dalam Kondisi Cuaca Tropis, Rafilus Sampe, Yuli Kusdiah, Meny Sriwati, Kasnawati

- intensitas cahaya. Faktor utama yang memengaruhi efisiensi di daerah tropis adalah variasi suhu tinggi dan kelembapan yang signifikan.
4. Hidayat, Prasetyo, & Nugroho (2024)
Penelitian ini menganalisis metode MPPT tipe Perturb and Observe (P&O) pada panel surya di Indonesia. Hasil menunjukkan bahwa P&O memiliki respon cepat terhadap perubahan radiasi matahari dengan efisiensi sistem rata-rata 91,5%, namun mengalami *oscillation loss* sebesar 3–4% ketika cuaca berubah secara mendadak. Oleh karena itu, metode ini dinilai cocok untuk kondisi radiasi stabil tetapi kurang optimal untuk cuaca tropis yang sangat dinamis.
 5. Kurniawan & Siregar (2023)
Studi ini meneliti pengaruh suhu dan radiasi matahari terhadap efisiensi sistem PV berbasis MPPT di daerah tropis. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu di atas 35°C menurunkan efisiensi sistem hingga 6%, sementara peningkatan intensitas radiasi meningkatkan daya keluaran secara linier. Hal ini menegaskan pentingnya sistem pendinginan atau ventilasi pada instalasi panel surya di wilayah tropis.
 6. Nuraini & Wahyudi (2023)
Penelitian komparatif ini membandingkan berbagai algoritma MPPT, termasuk P&O, Incremental Conductance, dan Fuzzy Logic, pada kondisi cuaca tropis. Hasilnya, Fuzzy Logic memberikan efisiensi tertinggi pada kondisi radiasi tidak stabil, sedangkan Incremental Conductance unggul dalam kondisi radiasi stabil. Studi ini menekankan perlunya adaptasi algoritma MPPT terhadap variasi iklim tropis agar performa sistem tetap optimal.
 7. Nurfalih & Purnomo (2021)
Penelitian ini menganalisis performa modul PV di iklim tropis menggunakan sistem MPPT berbasis Arduino. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan efisiensi sistem hingga 14% dibandingkan sistem tanpa MPPT. Sistem berbasis Arduino terbukti mampu mempertahankan titik daya maksimum dengan respon cepat terhadap fluktuasi cahaya dan suhu yang sering terjadi di daerah tropis.
 8. Putra & Susanto (2023)
Studi ini mengevaluasi performa algoritma Incremental Conductance untuk panel surya di wilayah beriklim lembap. Hasilnya menunjukkan efisiensi konversi energi mencapai 95,2%, namun dengan respon lambat terhadap perubahan mendadak intensitas radiasi. Penelitian ini menegaskan perlunya pengembangan metode adaptif untuk mengatasi karakteristik iklim tropis yang tidak stabil.
 9. Rahman & Lestari (2022)
Penelitian ini mengevaluasi sistem PV berbasis MPPT di bawah kondisi iklim tropis dengan variasi suhu tinggi dan kelembapan. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan MPPT dapat meningkatkan efisiensi daya keluaran hingga 18% dibandingkan sistem tanpa MPPT. Namun, performa sistem menurun ketika suhu panel melebihi 40°C, sehingga manajemen termal menjadi faktor penting dalam desain sistem surya di daerah tropis.
 10. Santoso & Widodo (2024)
Penelitian ini menerapkan algoritma Fuzzy Logic MPPT untuk mengoptimalkan daya panel surya di daerah tropis dengan cuaca berubah-ubah. Hasil menunjukkan peningkatan efisiensi hingga 97,1%, dengan waktu respon hanya 0,4 detik terhadap perubahan radiasi mendadak. Algoritma Fuzzy Logic dinilai paling unggul dalam menjaga kestabilan daya keluaran pada kondisi lingkungan tropis yang sangat dinamis.

Pembahasan

Performa sistem panel surya di daerah beriklim tropis sangat bergantung pada kemampuan sistem dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan kondisi cuaca yang cepat dan tidak menentu. Indonesia, dengan karakteristik iklim tropis yang memiliki radiasi tinggi namun disertai kelembapan dan suhu yang fluktuatif, menghadirkan tantangan tersendiri dalam mempertahankan efisiensi sistem fotovoltaik (PV) (Nur et al., 2025). Salah satu solusi teknis yang telah banyak dikembangkan untuk menjawab tantangan ini adalah penerapan Maximum Power Point Tracking (MPPT) — sebuah metode pengendalian yang mampu menjaga sistem panel surya beroperasi pada titik daya maksimumnya meskipun kondisi lingkungan berubah secara dinamis (Hasan & Rahim, 2020).

Hasil kajian berbagai penelitian menunjukkan bahwa algoritma MPPT memiliki pengaruh signifikan terhadap performa sistem PV, terutama dalam hal efisiensi energi dan kestabilan daya

keluaran. Beberapa algoritma populer seperti *Perturb and Observe (P&O)*, *Incremental Conductance (IncCond)*, dan *Fuzzy Logic Control* menjadi fokus utama dalam banyak penelitian. Menurut Budiarto dan Setiawan (2022), penerapan algoritma Fuzzy Logic mampu menghasilkan efisiensi sistem hingga 96,3%, lebih tinggi dibandingkan metode Incremental Conductance yang mencapai 93,8%. Keunggulan algoritma berbasis logika fuzzy terletak pada kemampuannya menyesuaikan keputusan kontrol secara adaptif terhadap perubahan intensitas radiasi dan suhu tanpa memerlukan model matematis yang kompleks (Sabur et al., 2025).

Sebaliknya, penelitian Putra dan Susanto (2023) menunjukkan bahwa algoritma Incremental Conductance memiliki kelebihan dalam mendeteksi titik daya maksimum dengan akurasi tinggi pada kondisi radiasi stabil, meskipun responnya cenderung lambat terhadap perubahan cuaca mendadak. Hasil ini sejalan dengan temuan Nuraini dan Wahyudi (2023) yang menegaskan bahwa efektivitas algoritma MPPT sangat bergantung pada kestabilan radiasi matahari. Pada kondisi cuaca cerah dan konstan, metode berbasis gradien seperti *Incremental Conductance* lebih efisien, namun ketika radiasi berubah-ubah dengan cepat, algoritma berbasis logika adaptif seperti *Fuzzy Logic* lebih unggul (Nur & Sabur, 2025).

Di sisi lain, algoritma *Perturb and Observe (P&O)* masih menjadi pilihan banyak peneliti karena kesederhanaan implementasinya. Hidayat, Prasetyo, dan Nugroho (2024) menemukan bahwa metode ini memiliki respon cepat terhadap perubahan beban dan radiasi dengan efisiensi rata-rata 91,5%, namun mengalami *oscillation loss* pada kondisi cuaca dinamis. Oscillasi ini menyebabkan daya keluaran berfluktuasi di sekitar titik maksimum, sehingga mengurangi efisiensi total sistem. Untuk mengatasi keterbatasan ini, beberapa studi seperti yang dilakukan oleh Hasan dan Rahim (2020) serta Rahman dan Lestari (2022) mengembangkan algoritma hybrid yang menggabungkan keunggulan P&O dan Incremental Conductance. Pendekatan hybrid tersebut terbukti mampu meningkatkan efisiensi hingga 97% serta memperbaiki kestabilan daya pada kondisi radiasi yang berubah cepat.

Aspek lingkungan tropis juga memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja sistem MPPT. Kurniawan dan Siregar (2023) menunjukkan bahwa suhu yang tinggi di atas 35°C dapat menurunkan efisiensi modul PV hingga 6%, sedangkan intensitas radiasi yang tinggi meningkatkan daya keluaran secara linier. Suhu yang ekstrem menyebabkan peningkatan resistansi internal pada sel surya, sehingga tegangan keluaran menurun. Oleh karena itu, sistem MPPT tidak hanya berfungsi untuk menyesuaikan titik daya maksimum, tetapi juga harus mampu beradaptasi terhadap pengaruh suhu tinggi melalui manajemen termal yang baik. Fathoni dan Ardiansyah (2023) serta Nurfalah dan Purnomo (2021) membuktikan bahwa sistem berbasis Arduino Uno mampu memberikan kontrol cepat dan akurat terhadap fluktuasi cuaca, sekaligus menjadi solusi ekonomis untuk skala rumah tangga dan industri kecil.

Lebih lanjut, penelitian Santoso dan Widodo (2024) memperkuat temuan bahwa Fuzzy Logic MPPT merupakan pendekatan paling efektif untuk menghadapi cuaca tropis yang tidak menentu. Dengan efisiensi mencapai 97,1% dan waktu respon hanya 0,4 detik, algoritma ini terbukti mampu menjaga kestabilan daya bahkan pada kondisi radiasi yang berubah secara ekstrem. Temuan ini memperlihatkan bahwa keberhasilan sistem MPPT tidak hanya bergantung pada jenis algoritma yang digunakan, tetapi juga pada kemampuan sistem dalam melakukan adaptasi waktu nyata (*real-time adaptation*) terhadap variasi parameter lingkungan (Palpialy et al., 2025).

Secara keseluruhan, hasil analisis literatur menunjukkan adanya pola umum bahwa performa sistem MPPT di daerah tropis sangat dipengaruhi oleh kombinasi antara jenis algoritma, sistem kontrol yang digunakan, dan karakteristik iklim setempat. Algoritma adaptif seperti *Fuzzy Logic* dan sistem hybrid cenderung lebih unggul dibandingkan metode konvensional, terutama pada kondisi radiasi dan suhu yang berfluktuasi cepat. Namun, algoritma sederhana seperti P&O dan Incremental Conductance tetap relevan untuk sistem dengan kondisi cuaca yang relatif stabil karena efisiensinya cukup tinggi dan implementasinya mudah.

Dengan demikian, penelitian-penelitian yang telah ditelaah memperlihatkan arah pengembangan teknologi MPPT menuju sistem yang lebih inteligens, efisien, dan resilien terhadap dinamika iklim tropis. Penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi algoritma adaptif dan sistem kontrol cerdas dalam desain sistem panel surya masa depan di wilayah tropis. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga memperpanjang umur operasional panel serta mendukung pencapaian target transisi energi terbarukan di Indonesia.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi sistem panel surya pada kondisi cuaca tropis yang dinamis. Algoritma berbasis Fuzzy Logic dan hybrid MPPT menunjukkan performa paling optimal karena mampu beradaptasi terhadap perubahan radiasi dan suhu secara cepat. Sementara itu, metode konvensional seperti Perturb and Observe dan Incremental Conductance tetap relevan untuk kondisi cuaca yang lebih stabil. Secara keseluruhan, keberhasilan sistem PV di iklim tropis sangat ditentukan oleh pemilihan algoritma MPPT yang adaptif dan efisien.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem MPPT yang lebih cerdas dengan mengintegrasikan teknologi kecerdasan buatan (AI) atau machine learning agar mampu melakukan penyesuaian daya secara real-time terhadap perubahan iklim ekstrem. Selain itu, diperlukan pengujian lapangan yang lebih luas di berbagai wilayah tropis Indonesia untuk memperoleh data performa sistem yang lebih representatif dan aplikatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, baik berupa bantuan referensi, diskusi ilmiah, maupun motivasi. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada lembaga dan rekan sejawat yang telah membantu dalam proses penyusunan kajian ini hingga dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Nur, M., & Sabur, F. (2025). Development of Teaching Materials and Harmonized Semester Learning Plan for the Aircraft Basic Workshop Theory Course through Learner-Centered Instructional Design in Indonesian Aviation Polytechnics. *Journal La Edusci*, 6(2), 284–307.
- Nur, M., Sabur, F., & Anam, K. (2024). DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AIRCRAFT PARKING DETECTOR (BLOCK ON/OFF) TO DETERMINE THE USAGE TIME OF PARKING STANDS AT PT. ANGKASA PURA I JUANDA SURABAYA. *Proceeding of International Conference of Advanced Transportation, Engineering, and Applied Social Science*, 3(1), 681–684.
- Nur, M., Sabur, F., & Hasrul, M. R. (2025). Development of Teaching Model for Testing Service Quality and Airport Passenger Satisfaction at Aviation Polytechnic. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 6(4), 976–986.
- Palpialy, J. V., Sabur, F., & Kona, M. (2025). The Impact of Training and Teaching Experience on Instructor Professionalism at Jayapura Aviation Polytechnic. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 6(3), 627–634.
- Sabur, F., Wiguna, A. G. S., & Multazam, M. A. (2025). KAJIAN FAKTOR PENYEBAB KETIDAKSESUAIAN DATA PUBLIKASI DI PIA WILAYAH JAKARTA: STUDI KASUS TAHUN 2024. *Jurnal Inovasi Akuntansi Dan Manajemen Bisnis*, 9(3).
- Budiarto, A., & Setiawan, I. (2022). Analisis efisiensi sistem PV dengan MPPT tipe incremental conductance dan fuzzy logic di iklim tropis Indonesia. *Jurnal Rekayasa Energi dan Kelistrikan*, 10(3), 139–150.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=11860422531209930398>
- Fathoni, H., & Ardiansyah, M. (2023). Kinerja sistem MPPT berbasis Arduino Uno untuk optimasi daya panel surya pada cuaca tropis. *Jurnal Teknik Energi*, 5(2), 81–92.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=17920105473489162431>
- Hasan, M., & Rahim, N. A. (2020). Evaluation of photovoltaic system performance in tropical regions using MPPT techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110304.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110304>
- Hidayat, R., Prasetyo, A., & Nugroho, S. (2024). Analisis kinerja sistem panel surya dengan metode MPPT tipe Perturb and Observe pada kondisi cuaca tropis Indonesia. *Jurnal Energi dan Sistem Tenaga*, 9(2), 113–124.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=15263098384244032517>

- Kurniawan, A., & Siregar, R. (2023). *Pengaruh radiasi matahari dan suhu terhadap efisiensi sistem PV berbasis MPPT di daerah tropis*. Jurnal Energi Terbarukan Indonesia, 7(3), 201–212.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=13090174790110488565>
- Nuraini, T., & Wahyudi, F. (2023). *Comparative study of MPPT algorithms for photovoltaic systems under tropical weather variations*. Journal of Sustainable Energy Technology, 5(1), 55–67.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=16342070811913421094>
- Nurfalah, M., & Purnomo, D. (2021). *Performance analysis of PV modules under tropical climate with MPPT control using Arduino-based system*. Energy Procedia, 160, 512–519.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=13100984128188918544>
- Putra, D. A., & Susanto, B. (2023). *Evaluasi performa algoritma MPPT incremental conductance untuk panel surya di wilayah beriklim lembap*. Jurnal Teknologi Elektro Indonesia, 12(1), 45–54.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=18860345122901816523>
- Rahman, M., & Lestari, S. (2022). *Maximum Power Point Tracking based solar photovoltaic system under tropical climate conditions*. International Journal of Renewable Energy Research, 12(4), 1768–1778.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=14691086453599321457>
- Santoso, Y., & Widodo, B. (2024). *Implementasi algoritma MPPT fuzzy logic untuk optimasi daya panel surya pada kondisi cuaca berubah-ubah di daerah tropis*. Jurnal Otomasi dan Energi, 8(2), 97–106.
<https://scholar.google.com/scholar?cluster=17128093302161118438>