

Analisis Beberapa Jenis PLTS di Khatulistiwa Menggunakan *Prototype* Alat Ukur PV

Rhezal Agung Ananto^{*a)}, Asfari Hariz Santoso^{a)}, Galuh Prawestri Citra Handani^{a)},
Binar Surya Gumilang^{a)}

(Artikel diterima: September 2023, direvisi: Oktober 2023)

Abstract: Photovoltaic is employed to support the national electricity energy blending policy as an additional component of renewable energy. Efficient energy monitoring is utilized to understand the efficiency, energy requirements, and performance of Photovoltaic. This research aims to analyze the performance of a standalone Photovoltaic system. The study considers various parameters such as PV size, load, and charge controller. Additionally, it involves designing a monitoring tool used for the analysis of Photovoltaic performance. Performance measurements are conducted by comparing Photovoltaic systems of different sizes. Furthermore, performance measurements are compared with different types of charge controllers. To assess performance, solar energy is measured at various times using a solar power meter. The solar power meter is then used to analyze the research's performance. Energy monitoring involves measuring voltage, current, power, and energy using Atmega328p. The measurement data is utilized to evaluate system efficiency and design future systems. Monitoring is carried out directly on Photovoltaic systems in the equatorial region. This research measures solar energy, energy produced by Photovoltaic systems, and energy consumed by loads. Energy monitoring focuses on observing solar and Photovoltaic energy during sunlight hours (morning-evening). The analysis results can be utilized for designing efficient Photovoltaic systems in the future..

Keywords: Charge Controller, MPPT, Photovoltaic, Polycrystalline, Sun Irradiasi Matahari, PV Monitoring

1. Pendahuluan

Jumlah energi yang diperlukan saat ini terus meningkat setiap tahunnya. Ini karena sebagian besar aspek kehidupan bergantung pada listrik, mulai dari kebutuhan pokok seperti pakaian dan makanan hingga kebutuhan sekunder lainnya. Tidak ada listrik untuk memenuhi kebutuhan ini; namun, untuk meningkatkan efisiensi, alat bantu diperlukan. Teknologi peralatan listrik telah berkembang menjadi solusi yang memiliki banyak manfaat. Memanfaatkan listrik menjadi lebih mudah saat kebutuhan listrik meningkat, terutama untuk kebutuhan pokok.

Namun, kebutuhan energi yang besar ini menimbulkan masalah, terutama karena sebagian besar sumber energi primer berasal dari sumber energi fosil seperti gas dan minyak. Hal ini bertentangan dengan kebijakan energi nasional Indonesia dan kebijakan emisi karbon internasional. Teknologi yang tepat diperlukan untuk mendukung peningkatan bauran energi baru terbarukan sesuai dengan kebijakan pemerintah. Oleh karena itu, penelitian berkelanjutan harus dilakukan tentang energi baru terbarukan.

Penelitian ini fokus pada menganalisis performa dari sistem Photovoltaic yang mandiri. Hasil analisis ini dapat digunakan untuk perancangan dan pemanfaatan di Indonesia. Meskipun data mengenai Photovoltaic masih terbatas dan membutuhkan penelitian yang panjang untuk mendapatkan data akurat, penelitian ini menjadi sangat penting untuk mendukung kebijakan energi nasional.

Solusi bersih untuk mencegah kerusakan lingkungan adalah energi fotovoltaik surya, yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca selama proses pembangkitan energi. Energi ini mendorong kemajuan tanpa mengancam generasi berikutnya sebagai bagian dari sistem energi berkelanjutan. Dikarenakan energi fosil masih mendominasi bauran energi nasional, diperlukan persiapan teknologi untuk mendukung bauran energi yang lebih besar terkait energi terbarukan.

Photovoltaic menjadi pilihan yang tepat untuk diterapkan di Indonesia, terutama karena letak geografisnya yang berada di khatulistiwa, sehingga matahari selalu bersinar sepanjang tahun. Kebutuhan akan Photovoltaic di masa depan terus meningkat seiring dengan karakteristiknya yang ramah lingkungan, tidak memerlukan sumber energi primer seperti minyak dan gas.

Energi bersih seperti photovoltaic sangat penting untuk masa depan yang lebih berkelanjutan, meskipun masih ada masalah seperti pengembangan teknologi penyimpanan yang lebih efisien. Untuk kemajuan Indonesia di masa depan, semakin banyak penelitian yang dilakukan tentang metode energi terbarukan. Semoga di masa depan, penelitian ini akan bermanfaat bagi masyarakat sekitar, teknologi listrik, dan pertanian dan peternakan di Indonesia.

2. Hasil dan Pembahasan

Sistem photovoltaic stand-alone berdiri sendiri dan terisolasi menggunakan teknologi panel surya (photovoltaic) untuk menghasilkan energi listrik dari sinar matahari. Sistem ini tidak terhubung ke jaringan listrik pusat atau grid, dan beroperasi secara mandiri. Keunggulan sistem photovoltaic stand-alone adalah bahwa mereka dapat menghasilkan, menyimpan, dan mengelola energi tanpa bergantung pada sumber daya luar. Panel surya (modul fotovoltaik), baterai penyimpan energi, inverter, pengendali pengisian baterai, dan sistem pemantauan adalah komponen utama sistem ini.

Panel surya, juga dikenal sebagai modul photovoltaic, berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Modul ini terdiri dari sel-sel fotovoltaik yang menangkap sinar matahari dan menghasilkan arus listrik sepanjang hari. Baterai menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya dan memungkinkan penggunaan energi saat matahari tidak ada, seperti pada malam hari atau dalam cuaca yang buruk. Inverter mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan rumah tangga.

Pengendali pengisian baterai, juga dikenal sebagai pengendali pengisian baterai, mengatur proses pengisian baterai panel surya untuk mencegah baterai terisi terlalu banyak dan menjaga

*Korespondensi: rhezal.agung@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Sukarno Hatta 9, Malang, Indonesia

kesehatan baterai. Beberapa sistem photovoltaic stand alone memiliki sistem pemantauan yang memantau kinerja panel surya, konsumsi listrik total, dan kesehatan baterai.

Sistem ini banyak digunakan di daerah terpencil, desa terpencil, atau lokasi yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik pusat. Memberikan sumber energi bersih, terbarukan, dan dapat memenuhi kebutuhan listrik lokal tanpa bergantung pada bahan bakar fosil atau sumber energi non-terbarukan lainnya.

Pengukuran daya photovoltaic melibatkan pengukuran besaran daya yang dihasilkan oleh sistem PV, didapatkan dari perkalian antara tegangan dan arus pada suatu titik dalam sirkuit PV. Alat monitoring menggunakan logger untuk mengukur arus dan tegangan dengan sensor arus. Hasil pengukuran ini memberikan informasi krusial tentang efisiensi panel surya dan sistem PV dalam menghasilkan energi listrik. Data pengukuran dapat digunakan untuk menentukan daya dan energi dari photovoltaic, serta untuk mengevaluasi efisiensi dari photovoltaic dan charge controller.

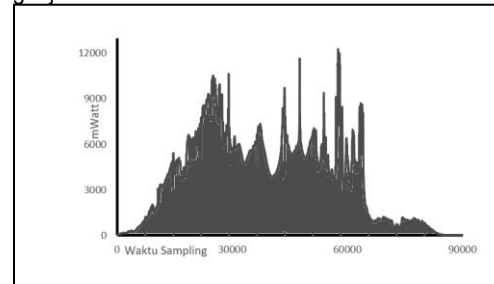
Baterai yang digunakan dalam sistem photovoltaic (PV) biasanya disebut sebagai "sistem penyimpanan energi" atau "sistem penyimpanan baterai." Fungsi utama baterai adalah untuk menampung energi yang dihasilkan oleh panel surya selama paparan matahari dan mengeluarkannya kembali saat energi matahari tidak dapat diakses, seperti pada malam hari atau dalam kondisi cuaca buruk. Fungsi ini sangat penting untuk memastikan bahwa pasokan energi tetap lancar dan berkelanjutan.

Mengukur performa sistem photovoltaic (PV) stand-alone melibatkan penilaian terhadap seberapa efisien sistem tersebut dalam mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Langkah-langkah umum yang dapat diambil untuk mengukur kinerja photovoltaic stand-alone melibatkan persiapan alat dan perlengkapan, termasuk multimeter, pyranometer (untuk mengukur intensitas radiasi matahari), termometer (untuk mengukur suhu), dan pencatat data. Pastikan bahwa semua peralatan dalam kondisi baik dan terkalibrasi. Lakukan pengukuran intensitas radiasi matahari dengan meletakkan pyranometer di lokasi representatif penerimaan radiasi matahari pada modul PV. Ini memberikan informasi tentang jumlah energi matahari yang tersedia untuk diubah menjadi listrik. Selanjutnya, ukur tegangan dan arus PV dengan menghubungkan multimeter ke terminal keluaran modul PV saat terpapar sinar matahari. Catat nilai-nilai ini secara berkala untuk melihat bagaimana perubahan intensitas cahaya matahari memengaruhi produksi listrik. Analisis data tersebut termasuk pencatatan intensitas radiasi matahari, tegangan, dan arus PV dalam interval waktu yang konsisten. Data ini akan digunakan untuk menganalisis kinerja sistem.

Jika sistem PV terhubung dengan baterai, lakukan pengukuran tegangan dan arus baterai secara berkala untuk memahami efisiensi penyimpanan energi. Setelah mengumpulkan data, lakukan analisis terhadap perubahan produksi listrik seiring dengan variasi intensitas radiasi matahari dan suhu. Hitung efisiensi sistem PV dengan membandingkan total energi yang dihasilkan oleh modul PV dengan energi yang dikonsumsi oleh beban atau disimpan dalam baterai, dengan rumus: Efisiensi (%) = (Energi Listrik yang Dihasilkan / Energi Matahari yang Diterima) * 100. Untuk mengukur daya keluaran efektif sistem PV, kalikan tegangan dan arus keluaran modul pada saat yang sama. Hal ini memberikan gambaran tentang seberapa besar daya listrik yang benar-benar diberikan oleh sistem. Pastikan juga melakukan perawatan dan pemeliharaan rutin, seperti membersihkan panel surya dari debu

atau kotoran yang dapat mengurangi efisiensi, serta memeriksa komponen sistem seperti baterai dan kabel untuk memastikan semuanya berfungsi dengan baik. Proses ini melibatkan pemantauan dan analisis data secara teratur untuk memahami kinerja sistem secara keseluruhan dan menentukan perbaikan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi.

Dengan menggunakan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada grafik di atas, daya yang diukur dapat dihitung untuk menentukan efisiensi daya MPPT. Data efisiensi daya MPPT diperoleh dari berbagai pengukuran, terutama selama musim penghujan di Indonesia.



GAMBAR 2.1. GAMBAR PENGUKURAN DAYA

Tabel Daya Masuk dan Keluar dari MPPT pada pengukur menunjukkan bahwa efisiensi daya MPPT bervariasi tergantung pada cuaca di lapangan. Membandingkan daya yang dihasilkan oleh MPPT dengan daya yang masuk ke baterai membuat perhitungan efisiensi menjadi lebih mudah dipahami.

Dalam kondisi cuaca musim penghujan di Indonesia pada pengukuran pertama, sistem photovoltaic yang menggunakan MPPT menunjukkan karakteristik efisiensi yang berubah-ubah sesuai dengan berbagai kondisi cuaca yang mempengaruhi photovoltaic. Meskipun efisiensi daya dapat mencapai lebih dari 90%, ada perbedaan hingga lebih dari 70%.

Pada pengukuran kedua, tercatat energi matahari sebesar 5,4 kWh/m², jumlah yang lebih besar dibandingkan pengukuran pertama karena intensitas cuaca yang berbeda. Energi yang dihasilkan dari photovoltaic menuju MPPT mencapai 4,7 Wh, dihitung dari luas area di bawah grafik pengukuran daya secara real-time.

TABEL 2.1. TABEL DAYA MASUK DAN KELUAR DARI MPPT PADA PENGUKUR.

No	MPPT in(W)	MPPT out (W)	Efisiensi Daya (%)
1	13,50	12,49	92
2	12,28	11,37	93
3	12,67	11,73	93
4	12,27	11,36	93
5	9,52	8,67	91
6	9,88	9,01	91
7	8,40	7,57	90
8	6,93	6,14	89
9	7,59	6,80	90
10	4,75	3,99	84
11	5,02	4,28	85
12	4,52	3,77	84
13	4,12	3,37	82
14	3,96	3,27	83
15	3,36	2,65	79
16	3,56	2,82	79

No	MPPT in(W)	MPPT out (W)	Efisiensi Daya (%)
17	2,67	2,01	75
18	2,99	2,28	76

Pengukuran daya pada MPPT yang menuju baterai menunjukkan energi sebesar 3,8 Wh. Hasil ini menunjukkan nilai efisiensi MPPT dalam cuaca yang sedikit lebih cerah dari sebelumnya.

Hasil menunjukkan bahwa ketika cuaca lebih cerah, efisiensi energi meningkat, dengan perbedaan sebesar 0,009 dibandingkan dengan cuaca yang lebih cerah sebelumnya.

Dengan cuaca yang lebih cerah dari sebelumnya, efisiensi daya MPPT berubah saat beroperasi dalam kondisi musim hujan di Indonesia. Saat pengukuran daya terbesar dilakukan, efisiensi daya MPPT mencapai 92%. Pengukuran kedua, yang dilakukan dari matahari terbit hingga matahari terbenam, mencapai 80% efisiensi energi.

Hasil pengukuran energi yang diperoleh dengan membandingkan MPPT dan yang lain menghasilkan hasil berikut.

TABEL 2.2. PERBANDINGAN HASIL ENERGI YANG DIDAPKAN

Irradiasi matahari (Wh/m ² /hari)	dengan MPPT (mWh)	dengan SCC lain (mWh)	Temperatu re rata rata
7138,51	37758,06	32861,31	24,42

Hasil pengukuran energi yang didapatkan dengan membandingkan antara mono dan Poly menghasilkan hasil sebagai berikut

TABEL 2.3. PERBANDINGAN HASIL ENERGI YANG DIDAPKAN DENGAN PERBANDINGAN JENIS PV

Irradiasi matahari (Wh/m ² /hari)	polycrystalline 10wP (mWh)	monocrystalline 120 Wp (mWh)	Temperatu re rata rata
7138,51	37758,06	475298,4593	24,42

Hasil analisis di dapatkan bahwa monocrystalline mendapatkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan polycrystalline sebesar 4,9%. MPPT menghasilkan energi lebih besar sebanyak 14% lebih banyak dibandingkan dengan SCC lain.

Hasil efisisensi daya yang didapatkan dari MPPT menunjukkan bahwa efisiensi diantara 92,6% s/d 75,25%. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi cuaca, karena efisiensi daya dari saklar kecepatan tinggi memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan energi matahari yang diterima.

3. Kesimpulan

Logger *photovoltaic* dirancang untuk berfungsi dengan baik dalam menganalisis kinerja dari sistem *photovoltaic* mandiri. *Logger* ini terdiri dari sensor arus dan mikrokontroler yang dapat menyimpan data ke dalam microSD. Hasil pengukuran efisiensi daya MPPT menunjukkan rentang antara 92,6% hingga 75,25%, dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Efisiensi daya dari saklar kecepatan tinggi memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan tingkat energi matahari yang diterima. Hasil analisis antara sel monokristalin dan polikristalin menunjukkan perbedaan, dengan sel monokristalin menghasilkan energi lebih besar karena jenis

semikonduktor yang digunakan. MPPT, jika dibandingkan dengan SCC, menunjukkan kinerja yang lebih baik karena metodenya lebih efektif dalam mentransfer energi ke baterai. Pengukuran menunjukkan bahwa modul *photovoltaic monocrystalline* cenderung lebih unggul daripada *polycrystalline* dalam sistem mandiri. Efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dari sel monokristalin memberikan keuntungan dalam menghasilkan daya yang lebih besar dari sinar matahari yang tersedia. Meskipun biaya produksi modul monokristalin mungkin lebih tinggi, keunggulan ini dapat menjadi pertimbangan penting untuk aplikasi di mana ruang terbatas dan efisiensi energi menjadi prioritas utama. Sementara itu, modul polikristalin dapat menjadi pilihan yang lebih ekonomis untuk aplikasi dengan anggaran terbatas, meskipun dengan pengorbanan sedikit pada efisiensi konversi energi. Kesimpulannya, pemilihan antara modul *monocrystalline* dan *polycrystalline* seharusnya didasarkan pada kebutuhan khusus sistem dan pertimbangan biaya.

Daftar Pustaka

- [1] B.S. Hartono, Y. Budiyo and R. Setiabudy 2013, 'Review of microgrid technology', Quality in Research, 127-132
- [2] T. Georgitsioti, G. Pillai, N. Pearsall, G. Putrus, I. Forbes and R. Anand 2015, 'Short-term performance variations of different photovoltaic system technologies under the humid subtropical climate of Kanpur in India', IET Renewable Power Generation, 9(5), 438-445
- [3] Ghazali. A M., and Rahman, AMA 2012, ' The Performance of Three Different Solar Panels for Solar Electricity Applying Solar Tracking Device under the Malaysian Climate Condition', Energy and Environment Research, 2(1), 235-243
- [4] O.A. Rosyid, Smart Cities 2017, 'Comparative Performance Testing of Photovoltaic Modules in Tropical Climates of Indonesia', Automation & Intelligent Computing System, 81-86
- [5] I.N.S. Kumara, M. Ashari, A.S. Sampeallo, and A.A.G.A 2018, 'Simulated Energy Production and Performance Ratio of 5 MW Grid-Connected Photovoltaic under Tropical Savannah Climate in Kupang Timor Island of Indonesia', Pawitra, International Journal of Engineering and Technology innovation, 7(2), 117-129
- [6] Elieser Tarigan, Djuwari, and Lasman Purba 1999, 'Photovoltaic system performance monitoring. Guidelines for measurement, data exchange and analysis', Energy Procedia, 47, 85-93 (2014) 7. IEC 61724
- [7] Mertens, Konrad 2018, 'Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice', 2nd Edition, Wiley
- [8] R. A. Ananto, R. . Duanaputri, A. H. Santoso, and M. F. Hakim, "Perencanaan Desain Single Tuned Passive Filter Harmonisa Pada AC Microgrid Turbin Tenaga Angin", *elposys*, vol. 10, no. 1, pp. 78–81, Mar. 2023.
- [9] R. A. Ananto and A. H. Santoso, "Analisis Performance Jangka Pendek Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Sistem Stand-alone System", *elposys*, vol. 8, no. 1, pp. 22–27, May 2023.
- [10] A. Ruzaimi, S. Shafie, W. Z. W. Hassan, N. Azis, M. E. Ya'acub and E. E. Supeni, "Microcontroller Based DC Energy Logger

- for Off-Grid PV System Application," *2019 IEEE International Circuits and Systems Symposium (ICSSyS)*, Kuantan, Malaysia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICSSyS47076.2019.8982430.
- [11] L. Abualigah et al., "Wind, Solar, and Photovoltaic Renewable Energy Systems with and without Energy Storage Optimization: A Survey of Advanced Machine Learning and Deep Learning Techniques," *Energies*, vol. 15, no. 2, p. 578, Jan. 2022, doi: 10.3390/en15020578.
- [12] Z. YanQi, Z. Qiang, Z. Long, D. Kun, W. Dingmei and Z. Ruixiao, "The key technology for optimal scheduling and control of wind-photovoltaic-storage multi-energy complementary system," *2020 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC)*, Chengdu, China, 2020, pp. 1517-1522, doi: 10.1109/iSPEC50848.2020.9351154.
- [13] G. Barchi, M. Pierro, M. Secchi and D. Moser, "Residential Renewable Energy Community: a Techno-Economic Analysis of the Italian Approach," *2023 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2023 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Madrid, Spain, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope57605.2023.10194754.
- [14] A. Harrouz, D. Belatrache, K. Boulal, I. Colak and K. Kayisli, "Social Acceptance of Renewable Energy dedicated to Electric Production," *2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, Glasgow, UK, 2020, pp. 283-288, doi: 10.1109/ICRERA49962.2020.9242904.
- [15] N. M. Elsayed, R. A. Swief, S. O. Abdellatif and T. S. Abdel-Salam, "Photovoltaic Applications for Lighting Load Energy Saving: Case Studies, Educational Building," *2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*, Aswan, Egypt, 2019, pp. 564-569, doi: 10.1109/ITCE.2019.8646485.