

RANCANG BANGUN CHARGING BATTERY SOLAR CELL MENGGUNAKAN SISTEM MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT)

Fauzan Hasibuan¹, Parlin Siagian², Haris Gunawan³

fauzanhhasibuan78@gmail.com¹, parlinsiagian@dosen.pancabudi.ac.id²,

harisgunawan@dosen.pancabudi.ac.id³

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Panel surya, atau sering disebut sebagai panel fotovoltaik (PV), adalah perangkat yang mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik. Jenis panel surya polycrystalline adalah jenis yang paling umum digunakan. Rendahnya efisiensi dari panel surya polycrystalline yang hanya sebesar 13-16% dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik, maka di perlukan teknologi MPPT untuk meningkatkan efisiensi, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui peningkatan efisiensi dari penggunaan SCC MPPT dan tanpa penggunaan SCC MPPT pada panel surya di Universitas Pembangunan Panca Budi Kota Medan. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti berapa lama waktu yang di butuhkan untuk pengisian daya baterai dan berapa peningkatan efisiensi yang di hasilkan setelah menggunakan MPPT, dengan kondisi lingkungan seperti iradiasi matahari, intensitas cahaya matahari dan suhu di Universitas Pembangunan Panca Budi Kota Medan. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengukur serta membandingkan output daya yang dihasilkan panel surya Polycrystalline selama 3 (hari) hari penelitian dan diinterpretasikan. Hasil yang diperoleh adalah SCC PWM menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan SCC MPPT. Selama tiga hari pengujian dengan rata-rata iradiasi matahari sebesar 571W/m², rata-rata intensitas cahaya matahari sebesar 104.305 Lux dan rata-rata suhu 43.85 derajat celcius, rata-rata SCC MPPT menghasilkan daya sebesar 14.44 Watt, sedangkan SCC PWM menghasilkan daya rata-rata sebesar 21.99 Watt. Selisih rata-rata output daya yang dihasilkan dari kedua panel surya tersebut sebesar 7.55 Watt. Hal ini menunjukan bahwa, SCC PWM terbukti lebih unggul dibandingkan SCC MPPT.

Kata Kunci: Panel Surya, Polycrystalline, MPPT, Solar Charge Controller Pulse Width Modulation.

ABSTRACT

Solar panels, also known as photovoltaic (PV) panels, are devices that convert direct sunlight into electricity. Polycrystalline solar panels are the most commonly used type. The low efficiency of polycrystalline solar panels, which only converts solar energy into electrical energy at a rate of 13-16%, necessitates the use of MPPT technology to enhance efficiency. Therefore, a study is needed to determine the increase in efficiency from using SCC MPPT and without SCC MPPT on solar panels at Universitas Pembangunan Panca Budi in Medan. This research aims to investigate how long it takes to charge a battery and the efficiency gain after using MPPT under environmental conditions such as solar irradiance, light intensity, and temperature at Universitas Pembangunan Panca Budi in Medan. The method used in this study involves measuring and comparing the output power generated by polycrystalline solar panels over a period of three days and interpreting the results. The findings show that SCC PWM performs better than SCC MPPT. During three days of testing with an average solar irradiance of 571 W/m², an average light intensity of 104,305 Lux, and an average temperature of 43.85°C, SCC MPPT produced an average power output of 10 watts, while SCC PWM produced an average power output of 11.1 watts. The average difference in output power between the two solar panels was 1.1 watts. This indicates that SCC PWM is superior to SCC MPPT.

Keywords: Solar Panels, Polycrystalline, MPPT, Solar Charge Controller Pulse Width

Modulation.

PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara yang sangat diuntungkan karena letak astronomis dan letak geografis, yang mejadikan wilayah negara Indonesia mendapatkan potensi sumber energi terbarukan dengan jumlah yang sangat melimpah. Energi surya merupakan salah satu energi yang ketersediaannya melimpah khususnya di daerah tropis. Energi surya memiliki beberapa keunggulan seperti bebas polusi, umur panjang, perawatan yang mudah, dan tidak berbahaya bagi lingkungan [1].

Pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan harus terus dikembangkan mengingat keterbatasan jumlah pasokan di alam dan semakin mahalnya harga energi fosil itu sendiri setiap tahunnya sebagai sumber energi konvensional yang digunakan PLN (Juen, 2020). Indonesia sebagai negara tropis yang memiliki luas daratan hampir mencapai 2 juta KM² dan mendapatkan sinar matahari sepanjang waktu dengan durasi lebih dari 6 jam sehari (2.400 jam dalam kurun setahun) dengan rata-rata intensitas radiasi yang diterima mencapai 4.8 kWh/m² per harinya [2].

Kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan industri. Penelitian dan pengembangan di bidang sumber energi terbarukan akan memberikan kontribusi yang cukup besar dalam memenuhi kebutuhan energi dewasa ini [3].

Permasalahan utama yang didapat dari panel surya adalah nilai efisiensinya yang kecil, dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya. Energi matahari dikonversi menjadi energi listrik dengan efisiensi hanya sebesar 18%. Energi tersebut berkurang pada saat energi tersebut digunakan ke peralatan listrik karena pengaruh efisiensi tegangan, baterai, kabel, inverter menjadi 10-15% [4]. Pemicu rendahnya konversi antara lain perubahan intensitas sinar matahari, suhu operasi, dan arus beban. Selain itu, panel surya memiliki karakteristik yang non-linear, hal ini membuat kita sulit untuk mendapatkan titik maksimum dari panel surya tersebut. Modul sel surya (PLTS) lebih efektif digunakan di daerah pegunungan dengan suhu udara yang lebih rendah dibanding di daerah pesisir dengan suhu udara yang lebih tinggi [5] Pada saat pengujian tegangan yang dihasilkan oleh Panel Surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya[6]. Diperlukan sistem pencari daya yang maksimal (Maximum Power Point Tracker) pada panel surya untuk meningkatkan nilai efisiensi dari panel surya. MPPT merupakan sistem elektronis yang secara keseluruhan mengubah-ubah titik operasi elektronis modul sel surya sehingga dapat mengirim daya maksimal yang tersedia [7].

Dari tahun 1954 hingga 2018, semua peneliti fokus pada MPPT, yang merupakan target utama dari penelitian ini. Untuk menindak lanjuti sejarah pengembangan pelacakan titik daya maksimum dalam sistem PV serta mengeksplorasi kelebihan dan kekurangan dari banyak metode MPPT yang diusulkan dalam literatur. Sejarahnya mencakup teknik MPPT offline dan online beserta perbaikannya sebagaimana didokumentasikan dalam literatur selama periode 1954–2018 [8].

Tujuan penggunaan MPPT adalah untuk memastikan bahwa pada kondisi lingkungan apa pun (khususnya radiasi dan suhu matahari), daya maksimum dapat diekstraksi dari modul PV. Hal ini dicapai dengan mencocokkan MPP dengan tegangan dan arus operasi konverter yang sesuai. MPPT bekerja sebagai berikut. Pertama, arus dan tegangan susunan PV masing-masing dirasakan oleh sensor arus dan tegangan. Nilai-nilai ini dimasukkan ke dalam blok MPPT yang menghitung MPP pada siklus pengambilan sampel tertentu. Setelah ditemukan, blok MPPT memberikan nilai referensi untuk arus (I^*) dan tegangan (V^*). Ini adalah nilai yang perlu dicocokkan dengan konverter; dalam kebanyakan kasus, hanya satu

variabel yang dipilih (biasanya tegangan). Kemudian nilai daya terukur dibandingkan dengan nilai MPP sekarang. Jika terdapat perbedaan diantara keduanya, maka duty cycle (d) konverter disesuaikan dalam upaya mengurangi perbedaan tersebut. Kontrol dilakukan oleh PI atau pengontrol histeresis. Dalam kasus tertentu, siklus kerja ditentukan secara langsung, yaitu tanpa pengontrol PI. Setelah nilai terukur sama dengan nilai referensi, daya maksimum dari array diekstraksi [9].

Pada penelitian sebelumnya tentang sistem MPPT dengan metode P&O yang diimplementasikan pada turbin bayu guna memenuhi kebutuhan enegi listrik di kawasan pedesaan dan daerah terpencil, menunjukkan bahwa daya output yang dikeluarkan turbin angin yang terintegrasi MPPT, mampu mendapatkan daya listrik yang lebih maksimum daripada turbin angin yang tidak menggunakan MPPT, penelitian ini dilakukan di Seminar Nasional CITEE Yogyakarta [10].

Pada penelitian sebelumnya mengenai perancangan sistem penerangan jalan umum berbasis converter DC/DC Single Ended Primary Inductor Concerter yang diintegrasikan dengan sistem MPPT dan PMW menyatakan bahwa efisiensi dan nilai daya output Panel surya lebih besar jika dibandingkan dengan Panel surya yang tidak terintegrasi MPPT. Teknologi MPPT menghasilkan efisiensi mencapai 45,80% sedangkan PLTS yang tidak menggunakan MPPT hanya memiliki tingkat efisiensi 30% [11].

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengatasi faktor-faktor yang dapat mengurangi efisiensi sel tersebut [12]. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencarian titik daya maksimum dari sistem panel surya untuk mengurangi penurunan efisiensi daya yang dihasilkan dan mengoptimalkan daya yang dihasilkan photovoltaic.

METODE PENELITIAN

Eksperimen adalah metode yang digunakan pada penelitian yang menjadi dasar penulisan ini. Ini berarti bahwa data yang diperoleh di lapangan baik melalui pengamatan lapangan dianalisis dan diinterpretasikan untuk menyelesaikan masalah penelitian.

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama 3 (Tiga) hari, dimulai dari 10 September hingga 012 Septembers tahun 2024. Penelitian ini dilakukan di Universitas Pembangunan Panca Budi Kota Medan.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat dari gambar di bawah ini.

Table 1 Alat dan bahan

NO.	Alat dan Bahan	Keterangan
1.	<i>Solar Cell 50Wp Polycrystalline MY SOLAR MODEL:MY50S-12 MODEL:IK-50</i>	2 Buah
2.	<i>Solar Charge Controller Pulse Width Modulation</i>	1 Buah
3.	<i>Solar Charge Controller Maximum Power Point Tracker (MPPT)</i>	1 Buah
4.	<i>Baterai 12V 8Ah VRLA (Valve Regulated Lead Acid)</i>	2 Buah
5.	<i>Watt Meter 100A</i>	1 Buah
6.	<i>Digital Lux Meter Kuber AS803</i>	1 Buah
7.	<i>Solar Power Meter SM206-Solar</i>	1 Buah

8.	Digital Multimeter Sanwa CD800a	1 Buah
9.	Alat ukur suhu dan kelembapan Elitech RC-4	1 Buah
10.	Kabel	Secukupnya
11.	Tang Potong	1 Buah
12.	Obeng	1 Buah

- 1) Panel surya polycrystalline 50 Wp
- 2) Solar Charge Controller Pulse Width Modulation digunakan sebagai kontrol pengisian baterai dan melihat indikator kapasitas pengisian baterai.
- 3) Solar Charge Controller Maximum Power Point Tracker digunakan sebagai kontrol pengisian baterai, melihat indikator kapasitas pengisian baterai dan sebagai pencari daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya.
- 4) Baterai 12V 8Ah VRLA (Valve Regulated Lead Acid) sebagai media penyimpanan energi yang dihasilkan oleh panel surya.
- 5) Watt meter dc digunakan untuk Mengukur ampere, tegangan, dan daya yang dihasilkan oleh masing-masing panel surya.
- 6) Digital Lux Meter Kuber AS803 digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari.
- 7) Solar Power Meter SM206-Solar digunakan untuk mengukur iradiasi cahaya matahari.
- 8) Digital Multimeter Sanwa CD800a digunakan untuk mengukur tegangan, dan kapasitas baterai.
- 9) Alat ukur suhu dan kelembapan Elitch RC-4 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan selama penelitian.
- 10) Kabel digunakan untuk menghubungkan panel surya ke SCC dan baterai.
- 11) Tang potong digunakan untuk memotong kabel yang akan digunakan.
- 12) Obeng digunakan untuk membuka dan menutup baut pada SCC PWM dan SCC PFM.

KAWACHI

GP-50P-36

Cell Type	Poly-crystalline Silicon Solar Cell
Peak Power (Pmax)	50 WP
Max. Power Volt (Vmp)	18.2V
Max. Power Current (Imp)	2.75A
Open Circuit Volt (Voc)	21.6V
Short circuit current (Isc)	2.91A
Max. system Voltage	700V DC

Table 3 Spesifikasi Panel Surya Polycrystalline 2

MODEL IK-50

Cell Type	Polycrystalline Silicone Solar Cell
Peak Power (Pmax)	50 WP
Max. Power Volt (Vmp)	18V
Max. Power Current (Imp)	2.78A
Open Circuit Volt (Voc)	20.7V
Short circuit current (Isc)	2.98A
Max. system Voltage	700V DC

Proses Pengambilan Data

Dalam penelitian ini, proses pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

- 1) Lokasi pengujian di laksanakan di Universitas Pembangunan Panca Budi Kota Medan.
- 2) Data dikumpulkan setiap satu jam, pengujian dilakukan dari pukul 09:00 hingga 16:00 WIB.
- 3) Pengujian dilakukan selama 3 hari.
- 4) Data yang diambil dalam penelitian ini adalah output daya dari masing-masing panel surya, iradiasi matahari, intensitas cahaya matahari dan suhu udara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Berapa lama pengisian baterai tanpa dan dengan menggunakan MPPT

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai, dengan menggunakan Solar Charge Controller Maximum Power Point Tracker dan Solar Charge Controller Pulse Width Modulation pada suhu, intensitas cahaya matahari, iradiasi matahari dan suhu yang sama pada kedua panel surya. Pengujian dilakukan dengan mengukur berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai dengan kapasitas 8 Ah, 12v dan mengukur berapa tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan dengan intensitas cahaya matahari, iradiasi matahari, suhu dan kelembapan yang berbeda. Masing-masing panel surya dihubungkan ke watt meter untuk mengukur arus, tegangan, daya yang dihasilkan, selanjutnya watt meter dihubungkan ke Solar Charge Controller Maximum Power Point Tracker/Solar Charge Controller Pulse Width Modulation dan selanjutnya dihubungkan ke baterai. Selain output daya yang dihasilkan, diperlukan juga data intensitas cahaya matahari, iradiasi matahari, suhu dan kelembapan untuk mengetahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari panel surya untuk menghasilkan daya.

a) Hari Pertama

Table 4 Data Rata-rata Hari Pertama

MPPT							
Waktu Pengisian Baterai	Rata-rata Ampere Hour (Ah)	Rata-rata Ampere (A)	Rata-rata Watt (W)	Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata Kelembapan (%)	Rata-rata Iradiasi Cahaya Matahari W/m ²	Rata-rata Intensitas Cahaya Matahari
4jam	0.23	0.46	8.55W	35.5	53.85	227	31905
PWM							

Waktu Pengisian Baterai	Rata-rata Ampere Hour (Ah)	Rata-rata Ampere (A)	Rata-rata Watt (W)	Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata Kelembapan (%)	Rata-rata Iradiasi Cahaya Matahari W/m ²	Rata-rata Intensitas Cahaya Matahari
4jam	0.023	0.73	9.81	35.5	53.85	227	31905

Pada table merupakan data rata-rata pengisian baterai hari kedua penelitian. Dengan intensitas cahaya matahari 43.410–20.410 Lux dan iradiasi 303.8–151.5 W/m². Saat pengisian baterai, amper tertinggi mencapai 0.97A dengan MPPT dan 1.73A PWM.



Gambar 1. Grafik Suhu dan Kelembapan Pada Hari Pertama

Cuaca pada hari pertama penelitian mendung dengan rata-rata iradiasi cahaya matahari 227 W/m² dan intensitas cahaya matahari 31.905 lx dari pukul 10:00 WIB sampai dengan pukul 14:00 WIB. Pada table 4 kita dapat melihat output daya yang dihasilkan oleh MPPT dan PWM memiliki selisih daya sebesar 1.26W, dengan iradiasi cahaya matahari, intensitas cahaya matahari, suhu dan kelembapan yang sama.

b) Hari Kedua

Table 5 Data Rata-rata Hari Kedua

MPPT							
Waktu Pengisian Baterai	Rata-rata Ampere Hour (Ah)	Rata-rata Ampere (A)	Rata-rata Watt (W)	Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata Kelembapan (%)	Rata-rata Iradiasi Cahaya Matahari W/m ²	Rata-rata Intensitas Cahaya Matahari
2jam	0.049	0.94	15.89	51.35	57.05	975.5	182.100
PWM							
Waktu Pengisian Baterai	Rata-rata Ampere Hour (Ah)	Rata-rata Ampere (A)	Rata-rata Watt (W)	Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata Kelembapan (%)	Rata-rata Iradiasi Cahaya Matahari W/m ²	Rata-rata Intensitas Cahaya Matahari
2jam	0.049	1.71	23.34	51.35	57.05	975.5	182.100

Pada table 5 merupakan data rata-rata pengisian baterai hari kedua penelitian. Dengan intensitas cahaya matahari 180.300–120.400 Lux dan iradiasi 1080.5–871.98 W/m². Saat

pengisian baterai, amper tertinggi mencapai 0.97A dengan MPPT dan 1.73A dengan PWM.



Gambar 2. Grafik Suhu dan Kelembapan Pada Hari Kedua

Cuaca pada hari kedua penelitian lebih cerah dari hari pertama penelitian dengan rata-rata iradiasi cahaya matahari 975.5 W/m² dan intensitas cahaya matahari 182.100 lx dari pukul 10:00 WIB sampai dengan pukul 12:00 WIB. Pada table 5 kita dapat melihat output daya yang dihasilkan yang dihasilkan oleh MPPT dan PWM memiliki selisih daya sebesar 7.45W, dengan iradiasi cahaya matahari, intensitas cahaya matahari, suhu dan kelembapan yang sama.

c) Hari Ketiga

Table 6 Data Rata-rata Hari Ketiga

MPPT							
Waktu Pengisian Baterai	Rata-rata Ampere Hour (Ah)	Rata-rata Ampere (A)	Rata-rata Watt (W)	Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata Kelembapan (%)	Rata-rata Iradiasi Cahaya Matahari W/m ²	Rata-rata Intensitas Cahaya Matahari
3jam	0.033	1.12	18.88	44.7	48.6	510.5	98.910
PWM							
Waktu Pengisian Baterai	Rata-rata Ampere Hour (Ah)	Rata-rata Ampere (A)	Rata-rata Watt (W)	Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata Kelembapan (%)	Rata-rata Iradiasi Cahaya Matahari W/m ²	Rata-rata Intensitas Cahaya Matahari
3jam	0.155	2.19	30.12	44.7	48.6	510.5	98.910

Pada table 6 merupakan data rata-rata pengisian baterai hari ketiga penelitian. Dengan intensitas cahaya matahari 167.00–13.350 Lux dan iradiasi 956.3-108.3 W/m². Saat pengisian baterai, amper tertinggi mencapai 1.16A dengan MPPT dan 2.23A dengan PWM.



Gambar 3. Grafik Suhu dan Kelembapan Pada Hari keTiga

Cuaca pada hari ketiga penelitian cukup cerah dengan rata-rata iradiasi cahaya matahari 510.5 W/m^2 dan intensitas cahaya matahari 98.910 lx dari pukul 10:00 WIB sampai dengan pukul 13:00 WIB, pada pukul 11:00 WIB cahaya matahari kehilangan intensitas cahaya diangka 40.740 lx dan iradiasi cahaya diangka 251.6 W/m^2 , pada pukul 12:00 cahaya matahari kehilangan intensitas cahaya diangka 30.120 lx dan iradiasi cahaya diangka 114.7 W/m^2 dan beberapa menit kemudian matahari kembali cerah dengan intensitas cahaya matahari dengan angka 167.700 lx dan iradiasi cahaya matahari diangka 1020.1 W/m^2 . Pada table 6 kita dapat melihat output daya yang dihasilkan MPPT dan PWM memiliki selisih daya sebesar 11.24W , dengan iradiasi cahaya matahari, intensitas cahaya matahari, suhu dan kelembapan yang sama.

b) Berapa peningkatan efisiensi yang dihasilkan setelah menggunakan MPPT

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa peningkatan yang dihasilkan setelah menggunakan MPPT pada suhu, intensitas cahaya matahari, iradiasi matahari dan suhu yang sama. Pengujian di lakukan dengan menginterpretasikan data yang sudah di peroleh dari kedua panel surya, mengukur berapa ampere, watt dan ampere hour yang di hasilkan selama pengisian daya baterai, dengan kapasitas $8 \text{ Ah } 12\text{V}$.

Hari	Rata-Rata Iradiasi Matahari (W/m^2)	Rata-Rata Output Daya		Rata-Rata		
		SCC MPPT (W)	SCC PWM (W)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Intensitas Cahaya Matahari (lx)
1	227	5.75	6.2	35.5	53.85	31905
2	975.5	11.9	13.55	51.35	57.05	182.100
3	510.5	12.35	13.55	44.7	48.6	98.910
Rata-rata selama 3 hari	571	10	11.1	43.85	53.16	104.305

Table 7 merupakan data rata-rata output daya yang dihasilkan selama 3 (tiga) hari penelitian. Data tersebut menunjukan bahwa SCC PWM memiliki output daya yang lebih besar dari output daya yang dihasilkan SCC MPPT dengan selisih output daya sebesar 6.65W .

Untuk mengetahui mana yang lebih efisien antara MPPT dan PWM, kita perlu menghitung efisiensi pengisian baterai dengan menggunakan data yang didapat. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Output Power}}{\text{Input Power}}$$

Output Power

Perhitungan Efisiensi

MPPT

$$\text{Efisiensi MPPT} = \frac{50\text{W}}{14.44\text{W}} = 3.46\%$$

PWM

$$\text{Efisiensi MPPT} = \frac{50\text{W}}{21.09\text{W}} = 2.37\%$$

Pada penelitian ini, MPPT memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dari pada PWM dengan perbedaan sekitar 1.09%.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari data yang di hasilkan selama penelitian ini, didapat data MPPT memiliki efisiensi lebih besar 1.09% dari PWM. Pada penelitian ini, MPPT memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dari pada PWM dengan perbedaan sekitar 1.09%. Efisiensi MPPT yang lebih tinggi tidak secara otomatis membuat pengisian daya baterai lebih cepat. Faktor-faktor seperti kondisi cuaca, suhu lingkungan, dan kebutuhan baterai juga sangat penting dalam menentukan kecepatan pengisian daya baterai. dalam kasus ini PWM memiliki pengisian daya baterai yang lebih baik dengan tegangan pada saat penuh 13.10V dan MPPT sebesar 13.03V, didapatkan perbedaan tegangan batrei setelah terisi penuh sebesar 0.7V. Pilihan antara MPPT dan PWM harus didasarkan pada kebutuhan spesifik sistem dan kondisi operasi yang akan dihadapi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M kaliamoorthy, V Rajasekaran, and IGC Raj, “Single-phase fifteen-level grid-connected inverter for photovoltaic system with evolutionary programming based MPPT algorithm,” *Solar Energy*, pp. 314–329, 2014.
- [2] Wasistha, “Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Jakarta”.
- [3] B. Azmi *et al.*, “REVIEW PERBANDINGAN TEKNIK MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) UNTUK SISTEM PENGISIAN DAYA MENGGUNAKAN SEL SURYA (REVIEW COMPARISON MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) TECHNIQUE FOR CHARGING SYSTEMS USING SOLAR CELLS).”
- [4] J. H. R. Enslin, “MAXIMUM POWER POINT TRACKING: A COST SAVING NECESSITY IN SOLAR ENERGY SYSTEMS,” 1992.
- [5] Hamdani, H., Z. Tharo and S. Anisah, *PERBANDINGAN PERFORMANSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ANTARA DAERAH PEGUNUNGAN DENGAN DAERAH PESISIR*.

- [6] P. Siagian, H. Alam, M. Fahreza, and R. J. Tampubolon, “Peningkatan Daya Panel Surya Dengan Konsentrator Cahaya dari Bahan Aluminium Foil,” vol. IX, no. 2, 2024.
- [7] A. Faizal, B. Setyaji, J. Teknik Elektro, F. Sains dan Teknologi, U. H. Sultan Syarif Kasim Riau Jl Soebrantas No, and S. Baru, “Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode Sliding Mode Control,” *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 14, no. 1, pp. 22–31, 2016.
- [8] A. M. Eltamaly and A. Y. Abdelaziz Editors, “Green Energy and Technology Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems.” [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/8059>
- [9] Z. Salam, J. Ahmed, and B. S. Merugu, “The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review,” 2013, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.02.008.
- [10] A. Fitriah, F. Wijaya, and E. Fimansyah, “Implementasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Berbasis Perturb and Observe (P&O) pada Photovoltaic (PV) dengan Variasi Iradiasi,” *Seminar Nasional CITEE Yogyakarta*, pp. 120–124, 2019.
- [11] “yuskar”.
- [12] K. Moradi, M. Ali Ebadian, and C. X. Lin, “A review of PV/T technologies: Effects of control parameters,” *Int J Heat Mass Transf*, vol. 64, pp. 483–500, 2013, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.04.044.
- [13] Anisah, S., & Tarigan, A. D. (2023). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap On-Grid sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan. INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science, 6(1), 503-510.
- [14] Rahmani., B Mesra., Junaidi Agus. (2023). Pemanfaatan Inovasi Teknologi EBT Panel Surya pada Mesin Serut Lidi untuk Pemberdayaan Masyarakat Desa Bandar Senembah. *Jurnal SOLMA*, 12(3): 1186-1194; 2023
- [15] Rahmani., Khairul., Junaidi Agus., Sari Keumala Debby. (2023). Analysis of Shadow Effect on Solar PV Plant using Helioscope Simulation Technology in Palipi Village. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*. Vol. 9 No. 1 (2023)
- [16] Tharo, Z., & Hamdani, H. (2020). Analisis Biaya Atap Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga. *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 3(2), 65-71.