



Rancang Bangun Alat Pengukur Panel Surya Monocrystalline Dan Polycrystalline Dengan Metode pulse Repair Battery Charger

Leo Rivaldo Simanjuntak¹, Muhammad Fadlan Siregar²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

leorivaldosimanjuntak975@gmail.com

Abstract

One of the global challenges, including in Indonesia, is the issue of energy. Indonesia has a solar energy potential of 4.8 kWh/m²/day, making it an ideal choice for renewable energy, particularly in households. Monocrystalline and polycrystalline solar panels are commonly used; however, their performance depends on the manufacturer and testing conditions. Standard testing is conducted under Standard Test Conditions (STC) based on IEC 61215, though these conditions rarely occur in real-world operations. Actual panel efficiency is influenced by factors such as location, temperature, and radiation intensity, leading to discrepancies between field performance and manufacturer specifications. This study aims to measure and compare the performance of both panel types using a Pulse Repair Battery Charger. The experimental method produced data that was analyzed in tables. The results showed that both monocrystalline and polycrystalline panels have suboptimal performance with efficiencies of 7.19% and 7.29%, respectively. A Fill Factor value of 0.2 indicates material quality issues. To improve performance, further evaluation of internal resistance and optimization of panel design and maintenance is required.

Keywords: *Solar Energy, Pulse Repair Battery Charger, Fill Factor*

Abstrak

Salah satu tantangan global, termasuk di Indonesia, adalah masalah energi. Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 4,8 kWh/m²/hari, menjadikannya pilihan tepat untuk energi terbarukan, terutama di rumah tangga. Panel surya tipe monocrystalline dan polycrystalline umumnya digunakan, namun kinerjanya bergantung pada produsen dan kondisi pengujian. Pengujian standar dilakukan di bawah Standard Test Conditions (STC) berdasarkan IEC 61215, namun kondisi ini jarang terjadi dalam praktik sehari-hari. Efisiensi aktual panel dipengaruhi oleh faktor seperti lokasi, suhu, dan intensitas radiasi, yang menyebabkan perbedaan antara kinerja lapangan dan spesifikasi pabrikan. Penelitian ini bertujuan mengukur dan membandingkan kinerja kedua tipe panel menggunakan alat Pulse Repair Battery Charger. Metode eksperimental ini menghasilkan data yang dianalisis dalam tabel. Hasilnya menunjukkan bahwa panel monocrystalline dan polycrystalline memiliki kinerja suboptimal dengan efisiensi masing-masing 7,19% dan 7,29%. Nilai Fill Factor sebesar 0,2 menunjukkan masalah kualitas material. Untuk meningkatkan kinerja, diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap resistansi internal serta optimasi desain dan pemeliharaan panel.

Kata kunci: *Solar Energy, Pulse Repair Battery Charger, Fill Factor*

1. Pendahuluan

Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi negara-negara di seluruh dunia, termasuk Indonesia, adalah permasalahan terkait energi (Akhsassi et al., 2018). Indonesia memiliki potensi energi radiasi matahari yang signifikan, dengan rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari (Ridho et al., 2019). Potensi ini menjadikan energi matahari sebagai pilihan yang sangat cocok untuk sumber energi baru dan terbarukan, terutama pada skala rumah tangga. Pada penerapannya, jenis panel surya yang umum digunakan dalam sektor rumah tangga

adalah panel surya tipe monocrystalline dan polycrystalline. Kedua tipe panel ini memiliki kinerja yang bervariasi tergantung pada produsen dan kondisi pengujian. Untuk mengevaluasi kinerja panel surya, pengujian dapat dilakukan di laboratorium (uji indoor) maupun melalui eksperimen lapangan (uji outdoor) (Witono et al., 2021).

Produsen panel surya biasanya melakukan pengujian berdasarkan kondisi standar yang disebut Standard Test Conditions (STC), yang mengacu pada standar IEC yang umum digunakan dalam sektor rumah tangga 61215. Pengujian ini biasanya dilakukan pada satu titik



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

operasi di bawah kondisi standar, termasuk irradiance sebesar 1000 W/m^2 atau setara dengan radiasi matahari puncak pada permukaan yang tegak lurus terhadap sinar matahari pada hari cerah tanpa awan atau suhu permukaan sebesar 25°C , dan Air Mass (AM) 1,5 G, yang merupakan spektrum cahaya yang secara simulasi mendekati kondisi sinar matahari (Syahwil & Kadir, 2021). Namun, kondisi STC ini jarang ditemui dalam pengoperasian nyata, karena pengukuran kinerja di bawah STC umumnya dilakukan melalui uji flash oleh produsen (Witono et al., 2021).

Oleh karena itu, prediksi energi yang akurat perlu memperhitungkan kondisi operasi aktual, seperti lokasi instalasi, suhu pengoperasian panel, intensitas dan spektrum radiasi, kecepatan angin, sudut insidensi cahaya, serta berbagai faktor lainnya. Faktor-faktor ini menyebabkan efisiensi aktual panel surya di lapangan sering kali berbeda dari efisiensi yang tercantum pada spesifikasi produk yang dikeluarkan oleh pabrikan

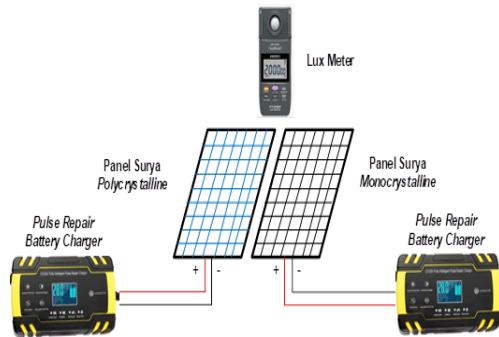
Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengukur dan membandingkan kinerja panel surya tipe monocrystalline dan polycrystalline melalui pengembangan alat pengukur menggunakan metode pulse repair battery charger. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih mendalam mengenai karakteristik dan performa kedua jenis panel surya tersebut.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dikombinasikan dengan pengukuran langsung menggunakan alat Pulse Repair Battery Charger. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam memberikan data yang akurat dan relevan untuk analisis lebih lanjut. Data yang dikumpulkan dari hasil pengukuran akan diolah dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Penyajian data dalam bentuk ini bertujuan untuk memudahkan proses analisis, memungkinkan identifikasi pola, tren, dan anomali dengan lebih efisien.

a. Model dan Tata Letak Alat

Untuk memastikan bahwa sistem atau alat uji yang akan dirancang sesuai dengan rencana, berikut ini disajikan deskripsi gambar rencana pola susunan alat yang akan dibuat. Gambar ini bertujuan untuk memperlihatkan tampilan dan fungsi dari konstruksi alat sebelum benar-benar dibuat. Pola rencana alat uji yang akan dibuat serta susunan tata letak alat dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1: Pola Uji Pengukur Panel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline Menggunakan Pulse Repair Battery Charger

b. Desain Rangkaian Pengukur Panel Surya

Rangkaian pengukur panel surya yang dirancang dalam penelitian ini akan mengukur tegangan, arus, dan daya keluaran dari panel surya jenis monocrystalline dan polycrystalline. Alat ini akan dilengkapi dengan sensor tegangan dan arus yang dihubungkan ke mikrokontroler untuk melakukan pemrosesan data. Berikut adalah dijelaskan bagaimana pola rangkaian masing-masing tipe panel surya yang diukur menggunakan pulse repair battery charger:

- A. Rangkaian Pengukur Panel Surya Polycrystalline dengan Pulse Repair Battery Charger.



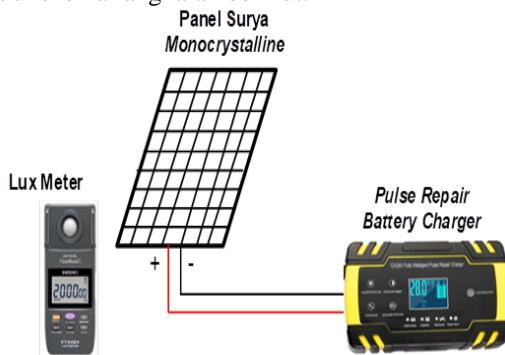
Gambar 2: Instalasi Pengukuran Panel Surya Polycrystalline

- B. Rangkaian Pengukur Panel Surya Monocrystalline dengan Pulse Repair Battery Charger.



Gambar 4: Instalasi Pengukuran Panel Surya Monocrystalline

Dari Gambar di atas dapat dilihat bahwa hubungan polycrystalline berkualitas baik, nilai FF biasanya lebih instalasinya cukup sederhana yaitu dapat dijelaskan tinggi. melalui skema rangkaian berikut:



Gambar 5: Skema Rangkaian Instalasi Pengukuran Panel Surya Monocrystalline dengan Pulse Repair Battery Charger

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah Tabel 1 yang menampilkan hasil pengukuran Panel Surya Type Polycrystalline dengan menggunakan *pulse repair battery charger*:

Tabel 1: Panel Surya Type Polycrystalline

Hari	Jam (WIB)	G (W/m ²)	V _{mp} (volt)	I _{mp} (ampere)	V _{oc} (volt)	I _{sc} (ampere)
Senin 07 Oktober 2024	10.00	511,13	16,2	0,34	38,3	0,53
	11.00	547,48	18,0	0,22	38,6	0,55
	12.00	504,02	16,0	0,10	37,4	0,53
	13.00	411,58	17,7	0,17	34,3	0,29
	14.00	411,60	18,1	0,16	36,4	0,43
Rata-rata		477,16	17,2	0,20	37,0	0,47

Untuk mengetahui bagaimana panel surya tipe polycrystalline bekerja dengan baik yaitu dengan menghitung parameter Nilai Fill Factor (FF), Daya output panel surya (Pout), Daya input panel surya (Pin) dan Efisiensi Panel Surya (η). Untuk lebih jelas berikut masing-masing hasil perhitungannya:

1. Nilai Fill Factor (FF)

$$FF = (I_{mp} \times V_{mp}) / (I_{sc} \times V_{oc})$$

$$FF = (0,2 \times 17,2) / (0,47 \times 37)$$

$$FF = 0,2$$

Nilai Fill Factor yang diperoleh adalah 0,2. Secara umum, nilai FF yang ideal untuk panel surya berkualitas tinggi berada pada rentang 0,7 hingga 0,85. Namun, hasil FF yang relatif rendah ini dapat menunjukkan beberapa hal, antara lain:

1. Kualitas Panel Surya: Nilai FF yang rendah mungkin mengindikasikan bahwa kualitas material atau fabrikasi dari panel surya kurang optimal. Pada panel

2. Efisiensi Sistem: Dengan nilai FF yang rendah, efisiensi panel surya dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik juga akan berkurang. Hal ini berarti bahwa meskipun panel menerima radiasi matahari yang cukup, output daya yang dihasilkan mungkin tidak optimal.

Oleh karena itu nilai FF sebesar 0,2 menunjukkan bahwa panel surya tersebut mungkin mengalami beberapa masalah terkait efisiensi atau kualitas material. Pengujian lebih lanjut mungkin diperlukan untuk memeriksa faktor-faktor lain, seperti resistansi internal atau kondisi lingkungan tempat panel dioperasikan. Untuk meningkatkan performa, perlu dipertimbangkan optimasi dari desain atau pemeliharaan panel tersebut.

2. Daya output panel surya (Pout)

$$\text{Rumus: } Pout = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$Pout = 37 \times 0,47 \times 0,2$$

$$Pout = 3,48 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya output yang dihasilkan oleh panel surya tersebut adalah 3,48 Watt. Nilai ini mencerminkan kemampuan panel untuk menghasilkan daya listrik dalam kondisi pengujian yang telah ditetapkan. Berikut beberapa poin penting yang dapat ditarik dari hasil ini:

1. Kapasitas Daya Output Rendah: Hasil daya output sebesar 3,48Watt relatif rendah, yang kemungkinan disebabkan oleh kombinasi nilai Fill Factor (FF) yang rendah serta kondisi tegangan dan arus yang tidak optimal. Pada panel surya yang berkualitas baik, dengan nilai FF yang lebih tinggi, daya output seharusnya bisa lebih besar.

2. Potensi Optimasi Sistem: Daya output ini menunjukkan bahwa meskipun panel surya mampu menangkap radiasi matahari, konversi energi yang dihasilkan belum optimal. Penyebabnya bisa karena kualitas panel surya, desain yang kurang efisien, atau faktor lain seperti kondisi operasional (misalnya, suhu, orientasi, atau pemeliharaan panel).

3. Efisiensi Panel: Berdasarkan daya output yang rendah ini, efisiensi panel dalam mengonversi energi matahari menjadi listrik juga kemungkinan kecil. Panel surya dengan efisiensi tinggi biasanya mampu menghasilkan daya yang lebih besar dengan nilai Voc, Isc dan FF yang lebih optimal.

Daya output sebesar 3,48Watt menunjukkan bahwa panel surya ini menghasilkan daya yang rendah, yang bisa menjadi indikator adanya keterbatasan dalam performa panel. Rendahnya nilai Fill Factor dan nilai arus hubung singkat (Isc) yang relatif kecil turut berkontribusi terhadap rendahnya daya output

3. Daya input panel surya (Pin)

Rumus: $Pin = G \times Apv$

$$Pin = 477,16 \times 0,1$$

$$Pin = 47,72 \text{ Watt}$$

Daya input sebesar 47,72Watt menunjukkan bahwa panel surya ini menerima energi radiasi matahari yang cukup baik. Namun, bila dibandingkan dengan daya output yang hanya mencapai 3,48 Watt, terlihat bahwa efisiensi konversi energi panel masih rendah.

4. Efisiensi Panel Surya (η)

Rumus: $\eta = Pout/Pin \times 100\%$

$$\eta = 3,48/47,72 \times 100\%$$

$$\eta = 7,29 \%$$

Efisiensi panel surya sebesar 7,29% menunjukkan bahwa konversi energi dari radiasi matahari menjadi listrik pada panel ini masih jauh dari optimal. Hasil ini mengindikasikan bahwa hanya sebagian kecil dari daya input yang berhasil dikonversi menjadi output listrik, yang berarti potensi energi matahari yang tersedia belum dimanfaatkan secara maksimal.

Berikut adalah Tabel 2 yang menampilkan hasil pengukuran Panel Surya Type Monocrystalline dengan menggunakan pulse repair battery charger:

Tabel 2: Panel Surya Type Monocrystalline

Hari	Jam (WIB)	G (W/m ²)	V _{mp} (volt)	I _{mp} (ampere)	V _{oc} (volt)	I _{sc} (ampere)
Senin 07 Oktober 2024	10.00	511,13	15,9	0,28	38,5	0,47
	11.00	547,48	17,5	0,21	38,3	0,51
	12.00	504,02	15,2	0,18	37,1	0,49
	13.00	411,58	16,4	0,17	34,0	0,26
	14.00	411,60	17,0	0,12	36,2	0,38
	Rata-rata	477,16	16,4	0,19	36,8	0,42

Untuk mengetahui bagaimana panel surya tipe monocrystalline bekerja dengan baik yaitu dengan menghitung parameter Nilai Fill Factor (FF), Daya output panel surya (Pout), Daya input panel surya (Pin) dan Efisiensi Panel Surya (η). Untuk lebih jelas berikut masing-masing hasil perhitungannya:

1. Nilai Fill Factor (FF)

Rumus:

$$FF = (Imp \times Vmp)/(Isc \times Voc)$$

$$FF = (0,19 \times 16,4)/(0,42 \times 36,8)$$

$$FF = 0,2$$

Nilai Fill Factor sebesar 0,2 menunjukkan bahwa panel surya ini mungkin memiliki masalah efisiensi, baik karena faktor kualitas panel, kerugian internal, atau kondisi lingkungan operasional yang kurang optimal. Untuk meningkatkan kinerja panel, perlu dilakukan pemeriksaan lebih lanjut terhadap desain panel, material yang digunakan, serta optimasi dalam instalasi dan pemeliharaan. Nilai FF ini juga memberikan indikasi bahwa sistem tidak bekerja pada kapasitas optimal dalam menghasilkan daya dari energi matahari yang diterima.

2. Daya output panel surya (Pout)

Rumus:

$$Pout = Voc \times Isc \times FF$$

$$Pout = 36,8 \times 0,42 \times 0,2$$

$$Pout = 3,09 \text{ Watt}$$

Daya output panel surya sebesar 3,09Watt menunjukkan bahwa performa panel masih jauh dari optimal. Nilai Fill Factor yang rendah, serta kemungkinan faktor lingkungan dan kualitas panel, berkontribusi terhadap rendahnya daya yang dihasilkan. Untuk meningkatkan daya output, peningkatan kualitas panel, optimasi pemasangan, dan pemeliharaan yang tepat sangat diperlukan.

3. Daya input panel surya (Pin)

Rumus: $Pin = G \times Apv$

$$Pin = 477,16 \times 0,09$$

$$Pin = 42,94 \text{ Watt}$$

Daya input sebesar 42,94Watt menunjukkan bahwa panel surya menerima radiasi matahari dengan baik, namun efisiensi konversi dari daya input ke daya output sangat rendah, dengan daya output hanya sebesar 3,09 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada cukup energi yang tersedia, panel surya tidak mampu mengubahnya menjadi listrik secara efisien.

4. Efisiensi Panel Surya (η)

Rumus:

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

$$\eta = 3,09/42,94 \times 100\%$$

$$\eta = 7,19 \%$$

Efisiensi panel surya sebesar 7,19% menunjukkan bahwa panel ini memiliki kinerja yang kurang optimal dalam mengonversi energi matahari menjadi listrik. Rendahnya efisiensi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kualitas panel, kondisi operasional, dan faktor lingkungan. Untuk meningkatkan efisiensi, langkah-langkah seperti peningkatan kualitas panel,

optimasi orientasi, dan pemeliharaan yang baik harus dipertimbangkan.

4. Kesimpulan

Dari analisis yang dilakukan, nilai Fill Factor (FF) sebesar 0,2 mengindikasikan adanya masalah signifikan terkait efisiensi dan kualitas material pada panel surya yang diuji. Angka ini menunjukkan bahwa panel mungkin tidak berfungsi dengan baik, kemungkinan disebabkan oleh kerugian internal, kualitas bahan yang digunakan, atau kondisi lingkungan operasional yang kurang optimal.

Daya output panel surya monocrystalline sebesar 3,09Watt dan panel polycrystalline sebesar 3,48Watt menunjukkan performa yang kurang optimal. Rendahnya nilai Fill Factor serta keterbatasan kualitas dan faktor lingkungan berkontribusi pada daya yang dihasilkan.

Daya input panel surya polycrystalline sebesar 47,72Watt dan panel monocrystalline sebesar 42,94Watt menunjukkan bahwa keduanya menerima energi radiasi matahari dengan baik. Namun, efisiensi konversi rendah terlihat dari daya output yang hanya 3,48Watt untuk polycrystalline dan 3,09Watt untuk monocrystalline.

Efisiensi panel surya polycrystalline sebesar 7,29% dan panel monocrystalline sebesar 7,19% menunjukkan bahwa keduanya memiliki kinerja yang kurang optimal dalam mengonversi energi radiasi matahari menjadi listrik. Ini berarti hanya sebagian kecil dari daya input yang berhasil dikonversi menjadi output listrik, sehingga potensi energi matahari yang tersedia belum dimanfaatkan secara maksimal.

Daftar Rujukan

- [1] Aghaei, M., Fairbrother, A., Gok, A., Ahmad, S., Kazim, S., Lobato, K., Oreski, G., Reinders, A., Schmitz, J., & Theelen, M. (2022). Review of degradation and failure phenomena in photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112160.
- [2] Akhsassi, M., El Fathi, A., Erraissi, N., Aarich, N., Bennouna, A., Raoufi, M., & Outzourhit, A. (2018). Experimental investigation and modeling of the thermal behavior of a solar PV module. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 180, 271–279. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.06.052>
- [3] Fadli, M., Insani, A. K., Delima, K., & Mahfud, T. A. R. (2022). Kajian Mekanika pada Materi Pesawat Sederhana: Review Publikasi Ilmiah. *Mitra Pilar: Jurnal Pendidikan, Inovasi, Dan Terapan Teknologi*, 1(2), 171–190.
- [4] Idris, M. (2019). Rancang panel surya untuk instalasi penerangan rumah sederhana daya 900 watt. *Jurnal Elektronika Listrik Dan Teknologi Informasi Terapan*, 1(1), 17–22.
- [5] Kashem, S. B. A., Jayasinghe, D., Chowdhury, M. E. H., Khandakar, A., Ashraf, A., Kunju, A. A., Nashbat, M., Hasan-Zia, M., Saraei, E. K. A., & Tabassum, M. (2022). A Review and Analysis of the Effects of Colors of Light On the Performance of Solar Photovoltaic Panels. *International Journal of Integrated Engineering*.
- [6] Kurniati, S., Syam, S., Nursalim, N., & Galla, W. F. (2022). ANALISIS OPERASIONAL DAN SISTEM PEMELIHARAAN PENGGUNAAN PANEL SOLAR SEL PADA USAHA AYAM POTONG. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(2), 23–30.
- [7] Kusuma, U., & Setyarsih, W. (2021). Kajian literatur pengembangan instrumen kemampuan problem solving pada materi fisika. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 10(2), 16–127.
- [8] Manurung, J. P., & Boedoyo, M. S. (2022). Life Cycle Assessment pada Solar Photovoltaics. *Jurnal Penelitian Sains Teknologi*, 13(1), 20–27.
- [9] Mulyadi, D., Rusirawan, D., & Novrita, I. (2023). Desain Pembangkit Listrik Turbin Uap Berbahan Bakar Batu Bara yang Efektif dan Ramah Lingkungan. *Jurnal Tekno Insentif*, 17(1), 58–68.
- [10] Nuryadi, A., & Sudiar, N. Y. (2023). Systematic Literature Review of Ocean Wave Renewable Energy. *Journal of Climate Change Society*, 1(2).
- [11] Pane, Z. A., Priharti, W., & Silalahi, D. K. (2022). Memaksimalkan Daya Output Panel Surya Menggunakan Metode Konvergensi Cahaya Dan Penjejak Matahari. *EProceedings of Engineering*, 9(5).
- [12] Priajana, P. G. G., Kumara, I. N. S., & Setiawan, I. N. (2020). Grid Tie Inverter untuk PLTS Atap di Indonesia: Review Standar dan Inverter yang Compliance di Pasar Domestik. *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 7(2).
- [13] Prima, E. C., Utami, M. P., Setiawan, A., & Suhendi, E. (2022). Review Penggunaan Reduced Graphene Oxide/TiO₂ sebagai Fotoelektrode pada Dye-Sensitized Solar Cell. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, 6(1), 1–9.
- [14] Riafinola, H., Suciningtyas, I. K. L. N., Sholihuddin, I., & Puspita, W. R. (2022). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Penggunaan Listrik Rumah Tangga. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 6(2), 79–84.
- [15] Ridho, M. A., Winardi, B., & Nugroho, A. (2019). Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Menggunakan Software Pvyst 6.43. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(4), 883–890.
- [16] Risti, E., Khasanah, A., Muharomah, F. N. A., Navisa, P., & Fadhallah, E. G. (2022). Studi Literatur: Potensi Limbah Kulit Singkong Karet (*Manihot glaziovii*) sebagai Elektroda Superkapasitor pada Lampu Portabel. *Journal of Tropical Upland Resources (J. Trop. Upland Res.)*, 4(1), 11–17.
- [17] SONI, A., & Tiwari, S. (2023). ENHANCING SOLAR PANEL EFFICIENCY THROUGH COOLING TECHNIQUES: A REVIEW. *I-Manager's Journal on Circuits & Systems*, 11(1).
- [18] Subarkah, R., Heryana, G., & Widiawaty, C. D. (2022). The Development of Photovoltaic Application in Indonesia: A Review.
- [19] Syahwil, M., & Kadir, N. (2021). Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 3(1), 26–35.
- [20] Ummah, H. F., Setiati, R., Dadi, Y. B. V., Ariq, M. N., & Malinda, M. T. (2021). Solar energy as natural resource utilization in urban areas: Solar energy efficiency literature review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 780(1), 012007.
- [21] Wirsuyana, G. P. M., Hartati, R. S., & Manuaba, I. B. G. (2022a). Metode Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya: Sebuah Tinjauan Literatur. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 21(2), 211–224.
- [22] Wirsuyana, G. P. M., Hartati, R. S., & Manuaba, I. B. G. (2022b). Metode Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya: Sebuah Tinjauan Literatur. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 21(2), 211–224.
- [23] Witono, K., Asrori, A., & Harijono, A. (2021). The Comparison of Performance Polycrystalline and Amorphous Solar Panels under Malang City Weather Conditions (Perbandingan Kinerja Panel Surya Tipe Polycrystalline dan Amorphous dibawah Kondisi Cuaca Kota Malang). *Bulletin of Science Education*, 1(2), 125–135. <https://www.attractivejournal.com/index.php/bse/index>