

Implementasi Teknik Interkoneksi *Cross-Tied* Panel Surya dan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Berbasis Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) Dalam Kondisi *Partial Shading*

Deka Muhammad Noor¹, Efendi S Wirateruna², Bambang Minto Basuki³
^{1,2,3}) Universitas Islam Malang

dekamuhammadnoor1987@email.com, efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id, bambang.minto@unisma.ac.id

Abstract

Abstract— This paper describes the cross-tied interconnection technique for solar panels integrated with Maximum Power Point Tracking (MPPT) based on the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. PV arrays experience a reduction in maximum power output due to partial shading conditions (PSC). Furthermore, PSC transforms the PV characteristic curve from a single peak to a multi-peak curve. The proposed interconnection method activates cross-tied interconnections to enhance the Global Maximum Power Point. String current and sub-string voltage are used to detect PSC patterns. By conducting case studies, we developed a cross-tied interconnection technique integrated with PSO-based MPPT. A comparison was made between the proposed technique and the Series-Parallel (SP) configuration. The performance results show that the cross-tied interconnection technique combined with the PSO-based MPPT algorithm outperforms the Series-Parallel (SP) configuration in terms of power output. Furthermore, the implementation of the cross-tied interconnection technique effectively maximizes power generation under partial shading conditions. Thus, the interconnection technique can be combined with the PSO-based MPPT algorithm to optimize output under PSC. partial shading conditions.

Keywords— PV Array, Partial Shading Condition, cross-tied interconnection technique, MPPT, PSO Algorithm

Abstraksi

Abstrak— Makalah ini menjelaskan teknik interkoneksi *cross-tied* panel surya yang terintegrasi dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Array PV mengalami penurunan daya maksimum akibat kondisi *partial shading*. Selain itu, PSC mengubah kurva karakteristik PV dari puncak tunggal menjadi kurva dengan banyak puncak. Metode interkoneksi yang diusulkan mengaktifkan interkoneksi *cross-tied* untuk meningkatkan *Global Maximum Power Point*. Arus String dan tegangan sub-string digunakan untuk mendeteksi pola PSC. Dengan mengambil studi kasus, kami mengembangkan teknik interkoneksi *cross-tied* yang terintegrasi dengan MPPT PSO. Terdapat perbandingan antara teknik yang diusulkan dengan konfigurasi Seri-paralel (SP). Hasil kinerja menunjukkan bahwa teknik interkoneksi *cross-tied* yang dikombinasikan dengan MPPT berbasis algoritma PSO mengungguli konfigurasi Seri-paralel (SP) dalam hal keluaran daya. Selain itu, implementasi teknik interkoneksi *cross-tied* mampu memaksimalkan produksi daya pada kondisi *partial shading*. Dengan demikian, teknik interkoneksi dapat dikombinasikan dengan MPPT berbasis algoritma PSO untuk mengoptimalkan keluaran pada kondisi PSC.

Kata Kunci— PV Array, kondisi *partial shading*, teknik interkoneksi *cross-tied*, MPPT, Algoritma PSO.

I. PENDAHULUAN (ARIAL, 11 PT, BOLD)

Penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) digunakan sebagai alternatif penggunaan energi dikarenakan penggunaan yang ramah lingkungan. Energi baru terbarukan tersebut memiliki target paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan 30% pada tahun 2050. Saat ini pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil terutama batubara masih mendominasi, sedangkan Indonesia sangat kaya dengan energi baru terbarukan dengan sebagian besar energi diperoleh dari energi surya.

Indonesia adalah negara tropis dan beradada pada garis khatulistiwa yang mana mampu menerima cahaya matahari mencapai 3×10²⁴ jam pertahunnya. Dengan demikian pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit

listrik (PLTS) dapat mengatasi ketergantungan akan pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil.[1], [2]

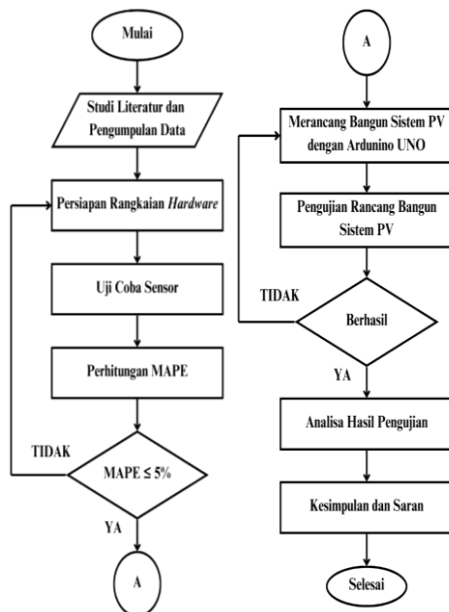
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yaitu mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang terdiri dari sistem panel surya atau sistem fotovoltaik (PV). Suhu dan intensitas matahari merupakan faktor yang mempengaruhi efisiensi fotovoltaik dikarenakan faktor tersebut tidak linier. Ketika salah satu modul PV mengalami penyinaran tidak merata (*partial shading*) ini akan meningkatkan suhu modul PV yang mana akan mengakibatkan rugi-rugi daya dan menimbulkan fenomena hotspot sehingga dapat merusak modul PV.[3], [4], [5]

Dalam penelitian ini membahas sebuah sistem peningkatan daya keluaran dari panel surya dengan menggunakan metode teknik interkoneksi *cross-tied* dan

teknik Maximum Power Point Tracking (MPPT). Metode rekonfigurasi ini merupakan penataan ulang sambungan modul PV untuk meningkatkan daya keluaran ketika salah satu modul pv mengalami *partial shading* dan metode ini digabungkan dengan metode MPPT. MPPT adalah sebuah metode yang digunakan untuk mencari titik operasi panel surya agar berada pada titik optimal pada kondisi *partial shading* dengan menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)..

II. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alur penelitian

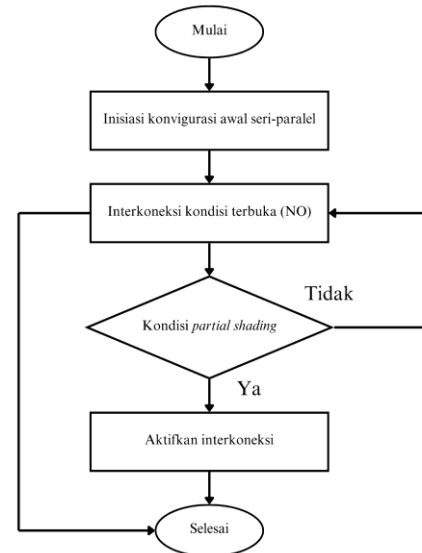
Gambar 1 menunjukkan penelitian ini dimulai dari studi literatur baik dari buku, paper maupun dari jurnal hasil penelitian sebelumnya. Langkah selanjutnya yakni mengumpulkan data-data dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini..

Kemudian mempersiapkan alat dan bahan, selanjutnya melakukan uji coba sensor dan menghitung mean absolute percentage error (MAPE). Apabila MAPE diperoleh $\leq 5\%$, dengan menggunakan Persamaan (2.7), maka penelitian dilanjutkan dengan merancang bangun sistem PV dengan arduino UNO. Kemudian melakukan pengujian rancang bangun sistem PV dan analisa hasil pengujian. Langkah yang terakhir yakni menarik kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

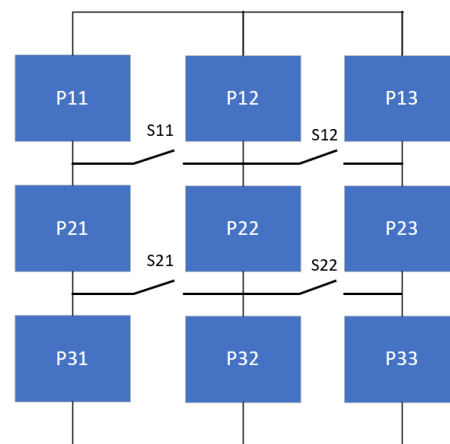
B. Prinsip kerja Metode Teknik Interkoneksi Cross-Tied

Metode Adaptive Cross Tied Interconnection (ACTI) adalah sebuah metode penyusunan modul fotovoltaik. . Metode ini digunakan untuk meminimalisir akan adanya kondisi *partial shading*

dengan cara menambahkan koneksi tambahan dan juga sakelar kedalam susunan fotovoltaik. Pada Gambar 3. Dalam kondisi awal, konfigurasi tersusun secara seri-parallel tanpa adanya tambahan interkoneksi. Ketika modul mengalami kondisi penyiangan yang tidak seragam atau *partial shading condition* (PSC), interkoneksi akan diaktifkan ke susunan modul fotovoltaik. Diagram alur metode teknik interkoneksi *cross-tied* dapat dilihat pada Gambar 2.



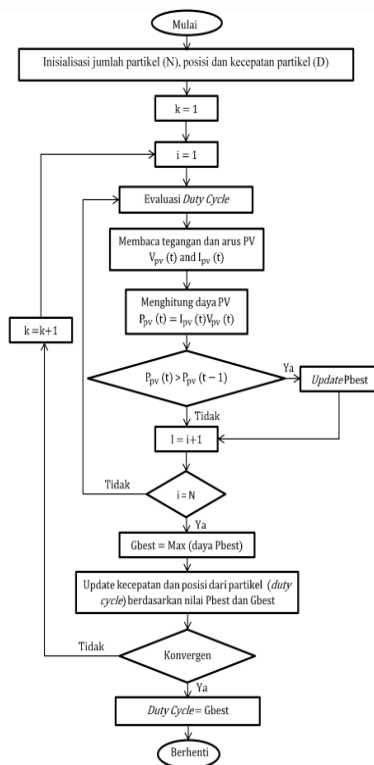
Gambar 2. Teknik interkoneksi *cross-tied*



Gambar 3. Konvigurasi teknik interkoneksi *cross-tied*

C. Perancangan MPPT berbasis Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)

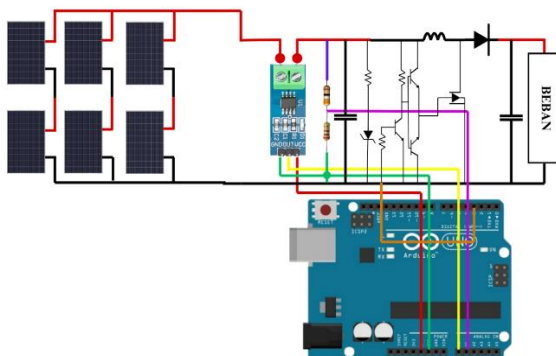
Penelitian ini menggunakan MPPT berbasis algoritma PSO untuk mencari GMPP (Global Maximum Power Point) dengan memanfaatkan daya keluaran dari PV dan keluaran kendali berupa *duty cycle*. Parameter utama yang diamati dalam penelitian ini adalah dsumber daya (Watt) yang dihasilkan oleh PV array, yang digunakan sebagai masukan algoritma PSO dan keluaran dari *boost* konverter. Pada Gambar 3 dijelaskan *flowchart* algoritma PSO pada sistem MPPT.



Gambar 4

D. Perancangan Sistem

Pada Gambar 4 ditunjukkan perancangan sistem PV. Modul PV disusun secara seri-paralel sebanyak 6 buah dengan 1 buah modul memiliki daya maksimum (P_{max}) 10Wp. Konfigurasi lalu terhubung dengan *boost* konverter dengan pengendali MPPT menggunakan kontroler Arduino UNO. Sensor tegangan dan sensor arus dipasang pada sisi *output* konfigurasi atau sisi *input boost* konverter untuk melihat performa algoritma PSO dalam kondisi *partial shading* (PSC) pada modul PV.



Gambar 5

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat dua skema pola shading yang di ujikan pada penelitian ini. Yaitu pola *shading* non-diagonal dan pola *shading* diagonal. Pengujian dilakukan pada kondisi lapangan dengan menggunakan sinar matahari langsung untuk sumber energi. Sinar matahari diukur

menggunakan *lightmeter* yang terdapat pada Gambar 6. Dengan iradiasi kurang lebih 831lux pada setiap kasus.

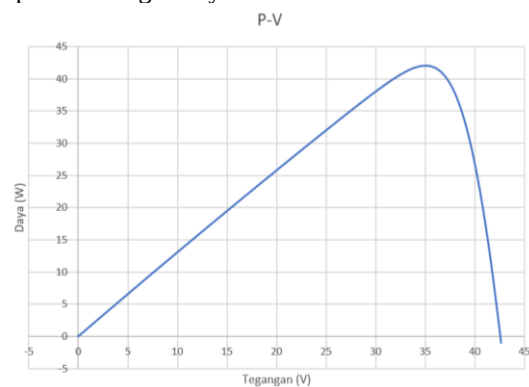


Gambar 6 Lightmeter

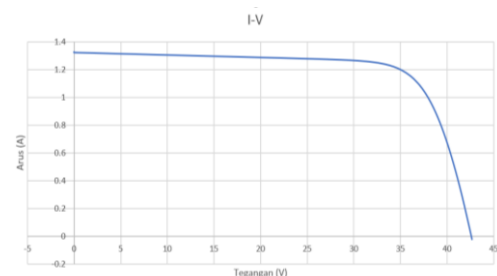
Pengujian pertama dilakukan dengan iradiasi penuh tanpa shading untuk mengetahui kurva karakteristik dari modul PV yang akan diuji. Kemudian pengujian menggunakan pola *shading*.

A. Kurva Karakteristik

Pada pengujian ini, modul PV dengan konfigurasi seri paralel di uji dengan iradiasi penuh tanpa *shading* untuk mengetahui kurva karakteristik dari modul PV. Pada Gambar 7 Kurva P-V dan Gambar 8 Kurva I-V. Terlihat bahwa kurva karakteristik hanya memiliki satu titik puncak dengan daya maksimum sebesar 42.9W



Gambar 7. Kurva P-V

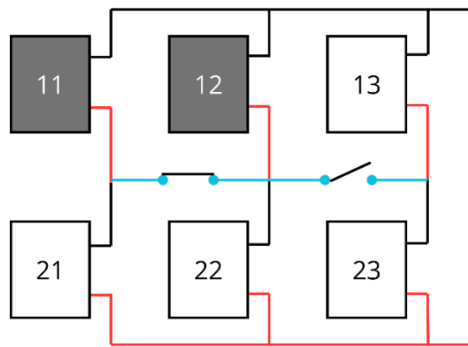


Gambar 8. Kurva I-V

B. Sekema Satu

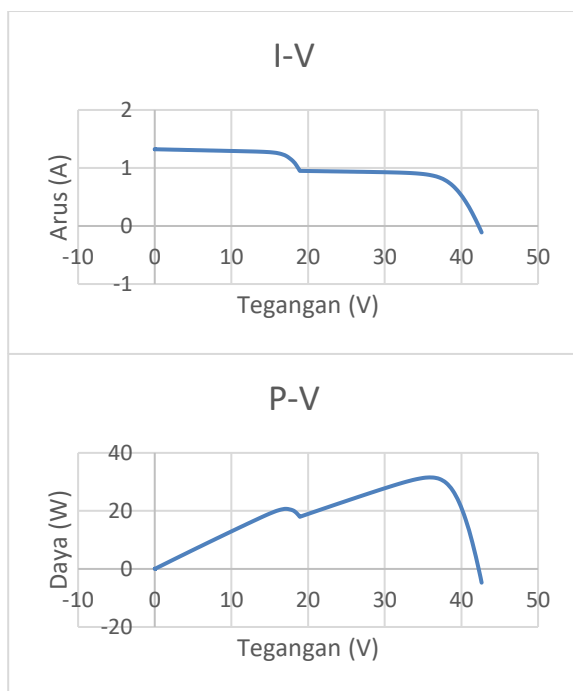
Pada sekema ini modul PV mengalami *partial hading* dengan pola non-diagonal. Pada Gambar 9

terlihat bahwa modul PV dengan warna yang berbeda menunjukkan bahwa modul PV terkena shading, yaitu pada modul 11, dan 12.



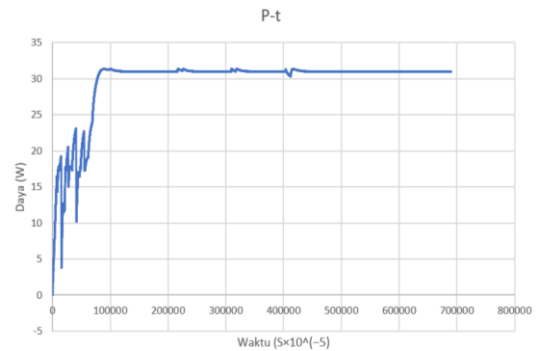
Gambar 9. Shading non-diagonal

Hasil pengujian kurva karakteristik pada pola non-diagonal ini ditampilkan pada Gambar 10. Terlihat bahwa kurva karakteristik mengalami lebih dari satu titik puncak (*multi peak*) dikarenakan kondisi *partial shading*.



Gambar 10. Kurva karakteristik Sekema Satu

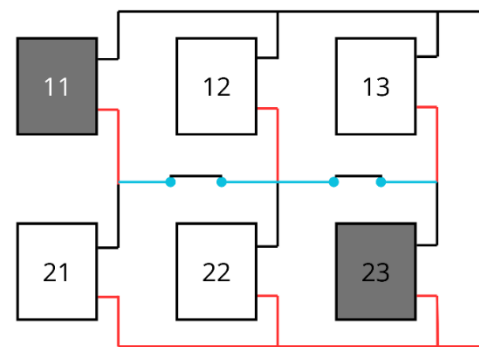
Hasil pengujian sekema satu dengan MPPT berbasis algoritma PSO ditampilkan pada Gambar 11. Dengan daya maksimal 33.9W



Gambar 11. Grafik Daya Sekema Satu

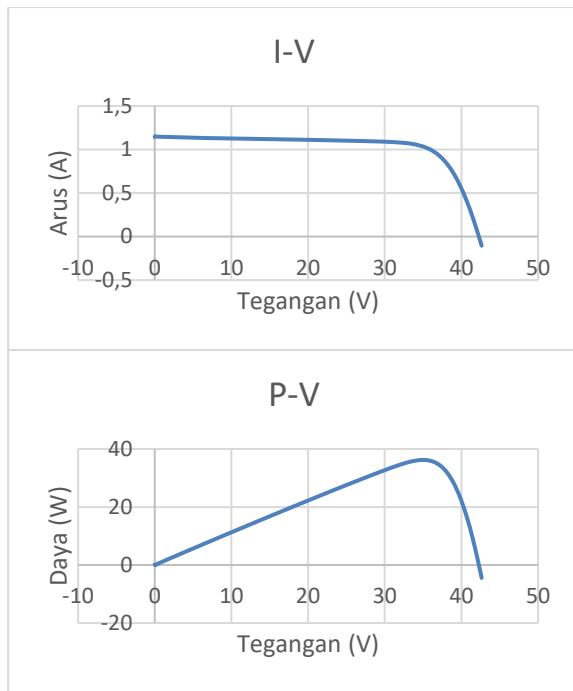
C. Sekema Dua

Pada sekema ini modul PV mengalami *partial hading* dengan pola diagonal. Pada Gambar 12 terlihat bahwa modul PV dengan warna yang berbeda menunjukkan bahwa modul PV terkena shading, yaitu pada modul 11, dan 23.



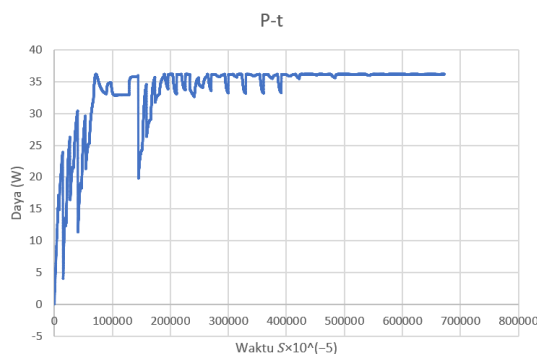
Gambar 12. Shading Diagonal

Hasil pengujian kurva karakteristik pada pola non-diagonal ini ditampilkan pada Gambar 13. Terlihat bahwa kurva karakteristik hanya memiliki satu titik puncak yang mewakili GMPP. Artinya teknik interkoneksi cross-tied mampu menangani kondisi *partial shading* dengan polan naungan diagonal



Gambar 13. Kurva Karakteristik Sekema Dua

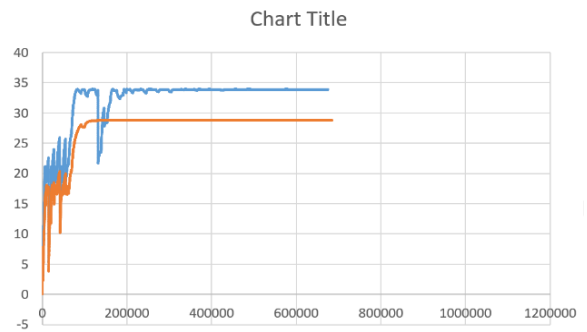
Hasil pengujian sekema satu dengan MPPT berbasis algoritma PSO ditampilkan pada Gambar 14. Dengan daya maksimal 36.2W



Gambar 14. Grafik Daya Sekema Dua

D. Perbandingan

Pengujian sistem dibandingkan. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui performa dari teknik interkoneksi *cross-tied*. Perbandingan dilakukan dengan kondisi yang sama untuk tiap konfigurasi. Pada perbandingan ini teknik interkoneksi *cross-tied* dibandingkan dengan konfigurasi seri-paralel dengan pola shading yang sama.



Gambar 15. Grafik Perbandingan Teknik Interkoneksi Cross-Tied

Pada Gambar 15. Ditampilkan grafik perbandingan. Pada grafik berwarna biru menunjukan grafik daya teknik interkoneksi *cross-tied*, sedangkan yang berwarna merah bata adalah grafik daya konfigurasi seri-paralel. Terlihat bahwa teknik interkoneksi *cross-tied* lebih unggul dibandingkan dengan konfigurasi seri-paralel dengan selisih daya 5.1W.

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini teknik interkoneksi *cross-tied* yang terintegrasi MPPT berbasis algoritma PSO diimplementasikan pada sistem PV. Pada hasil percobaan dengan perlakuan yang sama, teknik interkoneksi *cross-tied* yang terintegrasi MPPT berbasis algoritma PSO dapat menangani kondisi partial shading dengan pola naungan diagonal yang menjadikan kurva karakteristik hanya mempunyai satu titik puncak yang mempresentasikan GMPP. Sedangkan pola bayangan non-diagonal kurva karakteristik tetap mengalami multi peak dan disinilah algoritma PSO bekerja untuk mencari GMPP. Pada hasil pengujian terlihat bahwa teknik interkoneksi *cross-tied* yang terintegrasi MPPT berbasis algoritma PSO dapat memaksimalkan daya keluarannya dengan pola naungan diagonal maupun non diagonal. Percobaan perbandingan juga dilakukan. Teknik interkoneksi *cross-tied* dibandingkan dengan konfigurasi seri paralel yang keduanya terintegrasi MPPT berbasis algoritma PSO. Hasil yang diperoleh adalah teknik interkoneksi *cross-tied* lebih unggul dibandingkan dengan konfigurasi seri-paralel. Hasil daya teknik interkoneksi *cross-tied* menunjukkan angka 33.9W sedangkan pada konfigurasi seri-paralel di angka 28.8W selisih 5.1W dengan presentase selisih 16.27%. Dengan hasil ini dapat disimpulkan bahwa teknik interkoneksi *cross-tied* lebih unggul menangani partial shading dengan konfigurasi seri paralel.

DAFTAR PUSTAKA (ARIAL, 11 PT, BOLD)

- [1] M. Rois, A. Haqq, I. Cholissodin, and A. A. Soebroto, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya dalam Kondisi Berbayang Sebagian dengan Particle Swarm Optimization (PSO)," 2021. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>

- [2] H. Hazman and A. Asnil, "Measurement of I-V and P-V Characteristics of Solar Panels Under Partial Shading Conditions," *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 99–114, May 2022, doi: 10.46574/motivecton.v4i2.116.
- [3] S. Wirateruna, A. Fitri, and A. Millenia, "DESIGN OF THE MAXIMUM POWER POINT TRACKING PV SYSTEM BASED ON P&O ALGORITHM 4 Efendi."
- [4] D. Verma, S. Nema, A. M. Shandilya, and S. K. Dash, "Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems," Feb. 01, 2016, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.rser.2015.10.068.
- [5] N. N. Thanh and N. P. Quang, "SIMULATION OF RECONFIGURATION SYSTEM USING MATLAB-SIMULINK ENVIRONMENT," *J. Comput. Sci. Cybern.*, vol. 34, no. 2, pp. 127–143, Oct. 2018, doi: 10.15625/1813-9663/34/2/9194.
- [6] Y. H. Anoi, A. Yani, and Y. W., "Analisis sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 0–5, 2020, doi: 10.24127/trb.v8i2.1051.
- [7] H. Assiddiq et al., "STUDI PEMANFAATAN ENERGI MATAHARI SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF TERBARUKAN BERBASIS SEL FOTOVOLTAIK UNTUK MENGATASI KEBUTUHAN LISTRIK RUMAH SEDERHANA DI DAERAH TERPENCIL".
- [8] R. Zainul, A. Alif, H. Aziz, S. Arief, and S. Darajat, "MODIFIKASI DAN KARAKTERISTIK I-V SEL FOTOVOLTAIK CU 2 O/CU-GEL NA 2 SO 4 MELALUI ILLUMINASI LAMPU NEON," 2015.
- [9] E. S. Wirateruna, M. J. Afroni, and A. F. Ayu, "Implementation of PSO algorithm on MPPT PV System using Arduino Uno under PSC," *Int. J. Artif. Intell. Robot.*, vol. 5, no. 1, pp. 13–20, May 2023, doi: 10.25139/ijair.v5i1.6029.
- [10] A. Ahmad, M. Rafif Akhdan, and M. Riyan Ardiyansyah, RANCANG BANGUN PHOTOVOLTAIC SIMULATOR UNTUK PENGUJIAN KARAKTERISTIK PANEL SURYA. Telekomunikasi....
- [11] A. M. Ajmal, T. Sudhakar Babu, V. K. Ramachandaramurthy, D. Yousri, and J. B. Ekanayake, "Static and Dynamic Reconfiguration Approaches for Mitigation of Partial Shading Influence in Photovoltaic Arrays."
- [12] S. Pareek, N. Chaturvedi, and R. Dahiya, "Optimal interconnections to address partial shading losses in solar photovoltaic arrays," *Sol. Energy*, vol. 155, pp. 537–551, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.06.060.
- [13] G. Sai Krishna and T. Moger, "Reconfiguration strategies for reducing partial shading effects in photovoltaic arrays: State of the art," *Sol. Energy*, vol. 182, no. March, pp. 429–452, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.02.057.
- [14] E. S. Wirateruna, U. I. Malang, M. J. Afroni, U. I. Malang, D. M. Noor, and U. I. Malang, "An Approach of MPPT based on PSO Algorithm and an Adaptive Cross Tied Interconnection (ACTI) Technique for PV array".
- [15] E. S. Wirateruna and A. F. A. Millenia, "Design of MPPT PV using Particle Swarm Optimization Algorithm under Partial Shading Condition," *Int. J. Artif. Intell. Robot.*, vol. 4, no. 1, pp. 24–30, May 2022, doi: 10.25139/ijair.v4i1.4327.
- [16] R. Eberhart and J. Kennedy, "New optimizer using particle swarm theory," *Proc. Int. Symp. Micro Mach. Hum. Sci.*, pp. 39–43, 1995, doi: 10.1109/mhs.1995.494215.
- [17] H. Mubarak and B. A. Whiancaka, "Optimasi Sistem Turbin Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 19, no. 01, pp. 1–10, 2020, doi: 10.31358/techne.v19i01.226.
- [18] F. Perancangan dan Realisasi Konverter DC-DC Tipe Boost Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535 Padillah and S. Saodah, "Perancangan dan Realisasi Konverter DC-DC Tipe Boost Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535," *J. Reka Elkomika*, vol. 2, no. 1, pp. 2337–439, 2014.
- [19] N. H. Baharudin, T. M. N. T. Mansur, F. A. Hamid, R. Ali, and M. I. Misrun, "Topologies of DC-DC converter in solar PV applications," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 368–374, 2017, doi: 10.11591/ijeecs.v8.i2.pp368-374.
- [20] I. Irkham, I. Setiawan, and A. Nugroho, "Perancangan Boost Converter Sebagai Suplai Inverter Menggunakan Dspic30F4011 Dengan Metode Kontrol Proportional Integral," *Transient*, vol. 7, no. 3, p. 737, 2019, doi: 10.14710/transient.7.3.737-744.
- [21] I. Oladimeji et al., "Design and Construction of an Arduino - Based Solar Power Parameter-Measuring System With Data Logger," *Arid Zo. J. Eng. Technol. Environ. Azojete*, vol. 16, no. 2, pp. 255–268, 2020, [Online]. Available: <https://azojete.com.ng/index.php/azojete/article/view/206>
- [22] W. Djatmiko, "Prototipe Resistansi Meter Digital," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, no. November, pp. 1–8, 2017.
- [23] W. VanDeventer et al., "Short-term PV power forecasting using hybrid GASVM technique," *Renew. Energy*, vol. 140, pp. 367–379, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.02.087