



Desain Implementasi *Maximum Power Point Tracking* Berbasis *Perturb and Observe* untuk Optimasi Daya Panel Surya

Evi Nafiatus Sholikhah

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

Alamat: Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo – Surabaya

Korespondensi penulis: evinafiatus@ppns.ac.id

Abstract. *The purpose of this study is to design the implementation of maximum power point tracking (MPPT) technique based on perturb and observe (P&O) algorithm. The solar panel system is designed from one solar panel connected to a dc-dc buck-boost converter and resistor. The P&O algorithm is implemented as a duty cycle control of the dc-dc buck-boost converter to regulate and track the maximum power point of the solar panel. The system was tested under three different irradiation conditions including 1000 W/m², 700 W/m², and 500 W/m². The test results show that the P&O algorithm successfully tracks and maintains power in the maximum power point (MPP) area with an accuracy of 98% but there are still oscillations in the MPP area due to the ongoing algorithm process.*

Keywords: *Algorithm, MPPT, P&O, Solar Panel.*

Abstrak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain implementasi teknik *maximum power point tracking* (MPPT) berbasis algoritma *perturb and observe* (P&O). Sistem panel surya dirancang dari satu panel surya terhubung dengan *dc-dc buck-boost converter* dan resistor. Algoritma P&O diimplementasikan sebagai kontrol *duty cycle* dari *dc-dc buck-boost converter* untuk mengatur dan melacak titik daya maksimum panel surya. Sistem diuji pada tiga kondisi iradiasi yang berbeda diantaranya 1000 W/m², 700 W/m², dan 500 W/m². Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma P&O berhasil melacak dan mempertahankan daya pada area *maximum power point* (MPP) dengan akurasi mencapai 98% namun masih terdapat osilasi pada area MPP akibat dari proses algoritma yang terus berlanjut.

Kata kunci: Algoritma, MPPT, P&O, Panel Surya.

1. LATAR BELAKANG

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi global yang terus meningkat. Panel surya (*photovoltaic/PV*) memiliki peran penting dalam konversi energi matahari menjadi energi listrik (Hbert n.d.). Namun, efisiensi panel surya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti intensitas cahaya matahari, suhu, dan kondisi lingkungan lainnya (Maghami et al. 2016). Untuk memaksimalkan daya keluaran dari panel surya, diperlukan suatu sistem kontrol yang mampu mengoptimalkan titik operasi panel surya agar selalu bekerja pada titik daya maksimum (*Maximum Power Point/MPP*). Teknik ini dikenal sebagai *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) (Baba, Liu, and Chen 2020).

Salah satu metode MPPT yang paling populer dan banyak digunakan adalah *Perturb and Observe* (P&O). Metode ini bekerja dengan cara memberikan gangguan (*perturb*) pada

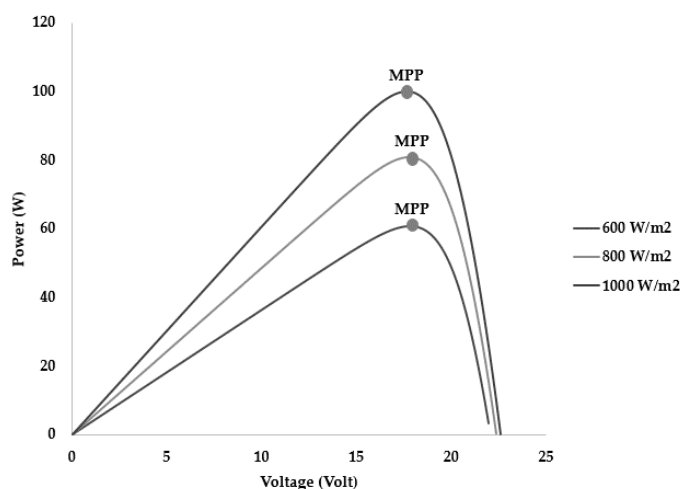
tegangan atau arus panel surya dan mengamati (*observe*) perubahan daya yang dihasilkan. Jika daya meningkat, gangguan tersebut diteruskan ke arah yang sama; jika daya menurun, arah gangguan dibalik. Kelebihan utama metode P&O adalah kesederhanaan implementasinya dan biaya yang relatif rendah. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan, seperti osilasi di sekitar MPP dan ketidakstabilan dalam kondisi perubahan irradiansi yang cepat (Sadick 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa metode P&O dalam mengoptimalkan daya keluaran panel surya, serta mengusulkan modifikasi untuk mengurangi osilasi dan meningkatkan kecepatan respon sistem. Dengan demikian, diharapkan efisiensi panel surya dapat ditingkatkan, sehingga kontribusi energi surya dalam pasokan energi global dapat lebih maksimal.

2. KAJIAN TEORITIS

Karakteristik Panel Surya

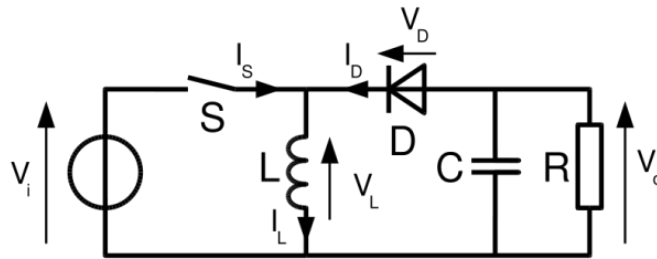
Panel surya (*photovoltaic/PV*) adalah perangkat yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Performa panel surya dapat dianalisis melalui karakteristik keluaran listriknya, yang direpresentasikan dalam bentuk kurva I-V (arus-tegangan) dan P-V (daya-tegangan). Karakteristik ini sangat penting untuk memahami bagaimana panel surya beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan dan beban. Output daya panel surya dipengaruhi oleh faktor lingkungan diantaranya irradiansi matahari dan suhu lingkungan. Semakin tinggi irradiansi matahari, maka akan semakin besar output daya panel surya yang dihasilkan. Setiap kondisi irradiansi matahari, panel surya memiliki satu titik daya maksimum seperti yang ditunjukkan kurva karakteristik P-V panel surya pada Gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik P-V Panel Surya

DC-DC Buck-Boost Converter

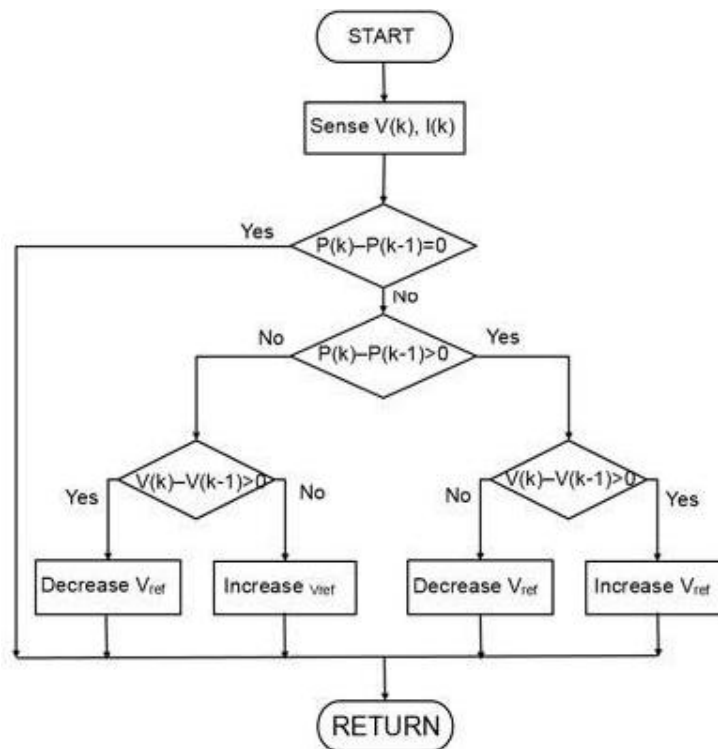
DC-DC buck-boost converter merupakan salah satu perangkat elektronika daya yang dapat berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan yang dihasilkan sistem panel surya. Rangkaian ekuivalen *dc-dc buck-boost converter* ditunjukkan pada Gambar 2 (Hart 2011). Teknik MPPT diterapkan dengan mengintegrasikan *buck-boost converter* antara panel surya dan beban. Dengan menyesuaikan *duty cycle* konverter, impedansi beban dapat dikontrol untuk memastikan panel surya beroperasi dalam area titik daya maksimum dari panel surya (Sholikhah, Windarko, and Sumantri 2022).



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen DC-DC Buck-Boost Converter

Algoritma *Perturb and Observe* (P&O)

Algoritma *Perturb and Observe* (P&O) adalah salah satu metode MPPT yang paling populer dan banyak digunakan dalam sistem panel surya karena kesederhanaan dan biaya implementasinya yang rendah. Prinsip kerjanya adalah dengan memberikan gangguan kecil (perturbasi) pada tegangan atau arus panel surya, kemudian mengamati perubahan daya yang dihasilkan; jika daya meningkat, arah perturbasi dipertahankan, sedangkan jika daya menurun, arah perturbasi dibalik. *Flowchart* algoritma P&O seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (Fuad 2022).



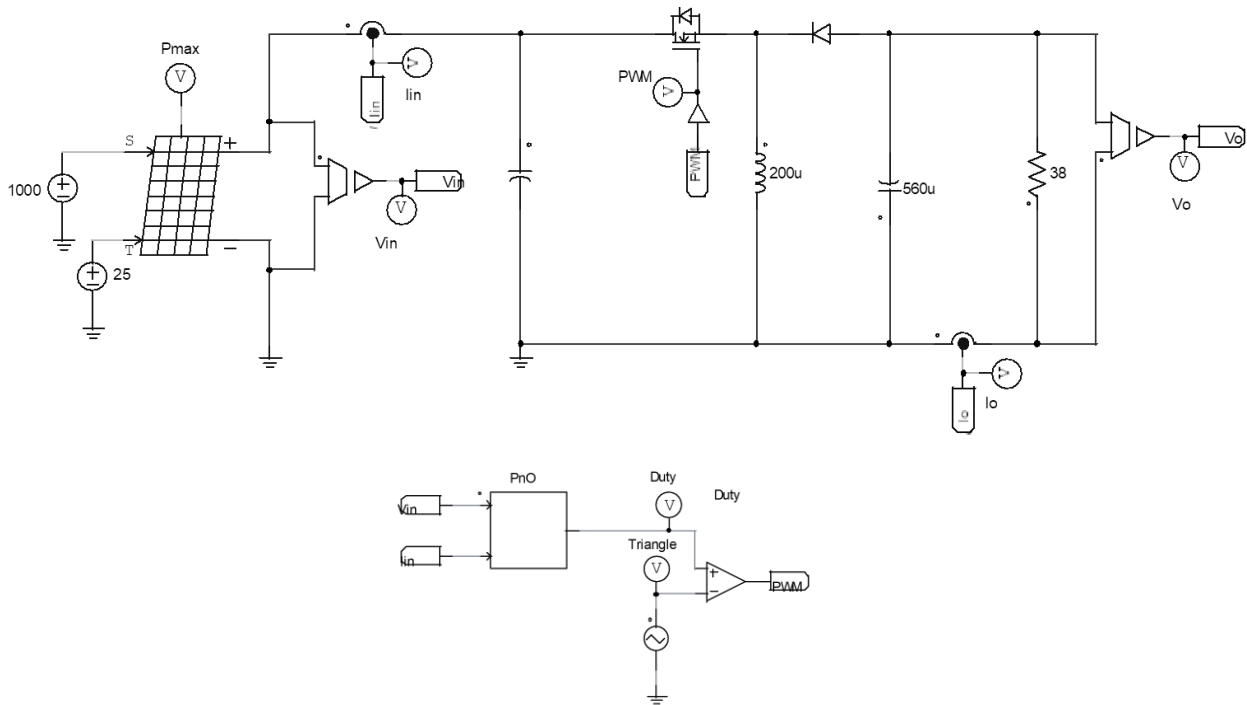
Gambar 3. Flowchart P&O (Fuad 2022)

Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah sebuah teknik sistem panel surya yang bertujuan untuk memastikan panel surya selalu beroperasi pada titik daya maksimum, yaitu kondisi di mana panel surya menghasilkan daya listrik tertinggi berdasarkan kondisi irradiasi cahaya matahari dan suhu yang diterima. MPPT bekerja dengan mengontrol tegangan atau arus keluaran panel melalui konverter DC-DC, seperti *buck-boost converter*, dan menggunakan algoritma untuk secara dinamis menyesuaikan titik operasi menuju MPP. Tanpa MPPT, efisiensi panel surya dapat menurun signifikan karena titik operasi mungkin tidak optimal. Dengan MPPT, sistem panel surya dapat memaksimalkan daya keluaran, merespons perubahan lingkungan secara *real-time*, dan mengurangi kerugian energi, sehingga meningkatkan performa dan keberlanjutan sistem energi terbarukan (Eltamaly and Abdelaziz 2020).

3. METODE PENELITIAN

Pengujian sistem dilakukan melalui simulasi untuk memvalidasi algoritma P&O dapat digunakan dalam melacak titik daya maksimum panel surya. Rangkaian simulasi terdiri dari satu panel surya terhubung dengan *dc-dc buck-boost converter* dan beban resistor yang dilengkapi dengan algoritma kontrol P&O untuk mengatur *duty cycle* dari *dc-dc buck-boost converter* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

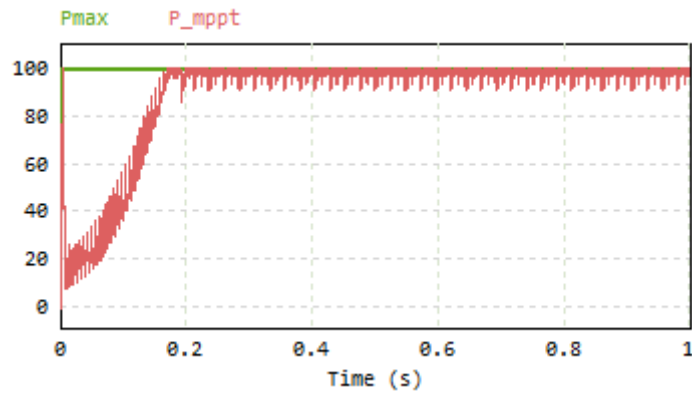


Gambar 4. Rangkaian Simulasi Sistem Panel Surya

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem PV diuji dengan iradiasi seragam yang berbeda, yaitu 1000 W/m^2 , 700 W/m^2 , dan 500 W/m^2 . Setiap kondisi iradiasi memiliki area titik daya maksimum (MPP) yang berbeda. Pada pengujian ini temperatur dari lingkungan diasumsikan pada suhu 25°C . Selain itu, untuk mengetahui performansi algoritma, hasil dari pelacakan algoritma dibandingkan dengan daya maksimum yang seharusnya dihasilkan oleh panel surya.

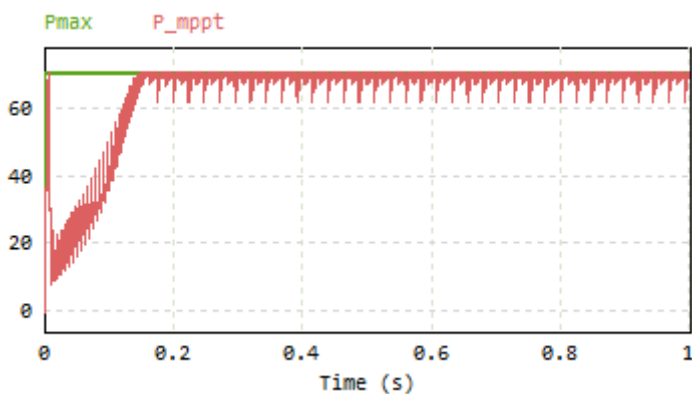
Pada kondisi 1, sistem diuji pada kondisi iradiasi 1000 W/m^2 . Grafik hasil simulasi seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Grafik ini menggambarkan kinerja MPPT mencapai dan mempertahankan titik daya maksimum (MPP). Garis hijau menunjukkan MPP sebenarnya, sedangkan garis merah menunjukkan hasil algoritma MPPPT berbasis P&O. Pada awalnya, daya mengalami peningkatan bertahap dengan osilasi signifikan hingga 0.2 detik, yang menunjukkan proses pencarian titik daya maksimum. Setelah itu, daya keluaran stabil di sekitar area titik daya maksimum (Pmax), algoritma berhasil melacak area titik daya maksimum yaitu 98 W pada *duty cycle* 78 %. Akurasi yang didapatkan yaitu 98%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma P&O berhasil mengoptimalkan daya keluaran panel surya dengan mendekati nilai daya Pmax. Meskipun terdapat osilasi kecil di sekitar MPP, sistem mampu mencapai kondisi stabil dengan akurasi yang tinggi.



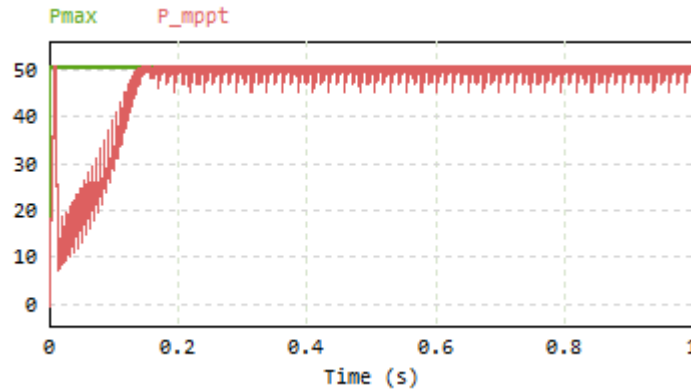
Gambar 5. Pengujian Sistem pada Irradiasi 1000 W/m²

Pada kondisi 2, MPPT berbasis P&O diuji di bawah iradiasi 700W/m². Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Di kondisi awal, selama fase pelacakan (0 hingga 0.16 detik), keluaran MPPT berbasis P&O menunjukkan osilasi yang signifikan saat sistem menyesuaikan untuk melacak area MPP. Osilasi tersebut secara bertahap berkurang, dan sekitar 0.16 detik, sistem menjadi stabil dan selaras dengan MPP yaitu 69 W pada *duty cycle* 75%. Ini menunjukkan bahwa algoritma dapat secara efektif konvergen ke area MPP dengan akurasi tinggi dalam kondisi kondisi stabil.

Pada kondisi 3, MPPT berbasis P&O diuji di bawah iradiasi 500W/m². Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 7. MPPT berbasis P&O menunjukkan osilasi selama fase pelacakan (0 hingga 0.16 detik) saat menyesuaikan diri dan konvergen ke MPP yaitu 48 W pada *duty cycle* 72%. MPPT berbasis P&O dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda, mempertahankan akurasi tinggi dalam operasi kondisi stabil. Namun, osilasi transien yang diamati menunjukkan perlunya penyempurnaan dalam desain algoritma P&O, seperti mengoptimalkan parameter, melakukan kombinasi algoritma P&O dengan algoritma berbasis *soft computing*. Hasil pengujian secara detail ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 6. Pengujian Sistem pada Irradiasi 700 W/m²



Gambar 7. Pengujian Sistem pada Irradiasi 500 W/m²

Tabel 1. Hasil Simulasi MPPT berbasis P&O

Irradiasi	Pmax	Pmppt	Duty Cycle	Akurasi	Waktu Pelacakan
1000 W/m ²	100 W	98 W	78 %	98 %	0.2 detik
700 W/m ²	70 W	69 W	75 %	98.5 %	0.16 detik
500 W/m ²	50 W	48 W	72 %	96 %	0.16 detik

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Algoritma MPPT berbasis P&O menunjukkan kinerja yang cukup bagus dalam melacak dan mempertahankan titik daya maksimum (MPP) dalam berbagai kondisi iradiasi. Pada kondisi iradiasi 1000 W/m², 700 W/m², dan 500 W/m², algoritma tersebut secara efektif berhasil dapat melacak area MPP dengan akurasi tinggi hingga 98% dalam waktu yang cukup singkat yaitu 0.2 detik, seperti yang ditunjukkan oleh keluaran daya masing-masing sebesar 98 W, 69 W, dan 48 W. Namun, pada saat di area MPP algoritma MPPT berbasis P&O terjadi osilasi dikarenakan akibat dari proses perturbasi yang terus berlanjut. Osilasi transien yang diamati menunjukkan perlunya penyempurnaan dalam desain algoritma P&O, seperti mengoptimalkan parameter atau melakukan kombinasi algoritma P&O dengan algoritma berbasis *soft computing*.

DAFTAR REFERENSI

- Ahuja, M., S. D. J. M. S. Manohar, and V. K. Jain. 2021. "Optimization of Photovoltaic Systems: A Survey on Maximum Power Point Tracking Techniques." *Energy* 232:120908. doi: 10.1016/j.energy.2021.120908.
- Al-Ammar, E., and M. J. E. Salama. 2021. "Comparative Study of MPPT Methods for Photovoltaic Systems: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 137:110582. doi: 10.1016/j.rser.2020.110582.
- Baba, Ali Omar, Guangyu Liu, and Xiaohui Chen. 2020. "Classification and Evaluation Review of Maximum Power Point Tracking Methods." *Sustainable Futures* 2:100020. doi: 10.1016/j.sftr.2020.100020.
- Eltamaly, Ali M., and Almoataz Y. Abdelaziz, eds. 2020. *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*. Cham: Springer International Publishing.
- Fuad, Syamsul. 2022. "OPTIMASI ALGORITMA FIREFLY PADA MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) SAAT KONDISI PANEL SURYA TERHALANGI SEBAGIAN." *MULTITEK INDONESIA* 16(1):21–36. doi: 10.24269/mtkind.v16i1.4844.
- Hart, Daniel W. 2011. *Power Electronics*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Hbert, Maurice. n.d. "Maximum Power Point Tracking: Background, Implementation and Classification." *ELECTRICAL ENGINEERING DEVELOPMENTS*.
- Kumar, A., and P. S. Satsangi. 2019. "A Review of Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Systems." *Energy Reports* 5:1023–34. doi: 10.1016/j.egypr.2019.05.015.
- Maghami, Mohammad Reza, Hashim Hizam, Chandima Gomes, Mohd Amran Radzi, Mohammad Ismael Rezadad, and Shahrooz Hajighorbani. 2016. "Power Loss Due to Soiling on Solar Panel: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59:1307–16. doi: 10.1016/j.rser.2016.01.044.
- Mishra, S., and K. P. Singh. 2020. "Analysis and Comparison of MPPT Techniques for Photovoltaic Systems." *IEEE Access* 8:30661–74. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2976530.
- Reddy, K. V. R., and N. R. R. P. S. Rao. 2018. "MPPT Techniques for Solar Energy Harvesting." *Energy Procedia* 153:162–67. doi: 10.1016/j.egypro.2018.10.046.
- Sadick, Abubakari. 2024. "Maximum Power Point Tracking Simulation for Photovoltaic Systems Using Perturb and Observe Algorithm." In *Solar Radiation - Enabling Technologies, Recent Innovations, and Advancements for Energy Transition*, edited by M. Aghaei and A. Moazami. IntechOpen.
- Sholikhah, Evi Nafiatus, Novie Ayub Windarko, and Bambang Sumantri. 2022. "Tunicate Swarm Algorithm Based Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic System

under Non-Uniform Irradiation.” *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)* 12(5):4559. doi: 10.11591/ijece.v12i5.pp4559-4570.

Singh, B., and S. P. Singh. 2019. “Maximum Power Point Tracking Algorithms: A Critical Review and Future Directions.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 101:48–58. doi: 10.1016/j.rser.2018.10.030.

Zhao, H., and C. K. Tse. 2017. “A Review of Maximum Power Point Tracking Methods for Photovoltaic Systems.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68:383–96. doi: 10.1016/j.rser.2016.09.067.