



**IMPLEMENTASI ALGORITMA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION
(PSO) DENGAN MAXIMUM POWER TRACKER (MPPT) UNTUK
MENGOPTIMALISASI DAYA PHOTOVOLTAIC DALAM KONDISI
PARTIAL SHADING**

SKRIPSI

**Diajukan kepada Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik**



Disusun Oleh :

ANNISA FITRI AYU MILLENIA

NPM : 21801053001

UNIVERSITAS ISLAM MALANG

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

2023

RINGKASAN

ANNISA FITRI AYU MILLENIA, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Islam Malang. Januari, 2023. “ *IMPLEMENTASI ALGORITMA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) DENGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) UNTUK MENGOPTIMALISASI DAYA PHOTOVOLTAIC DALAM KONDISI PARTIAL SHADING*”, Dosen Pembimbing I : M. Jasa Afroni; Dosen Pembimbing II : Efendi S Wirateruna.

Indonesia memiliki tantangan besar dalam pengelolaan energi utamanya tantangan dalam penerapan energi baru terbarukan (EBT) sebagai alternatif energi tak terbarukan utamanya untuk meminimalisir penggunaan energi fosil yang memiliki imbas yang buruk pada lingkungan. Salah satu EBT yang persediaannya sangat melimpah di alam semesta yakni matahari yang dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang terdiri dari sistem fotovoltaik (PV). Proses kerja sistem PV mulai dari fotovoltaik, *boost* konverter, MPPT berbasis algoritma PSO dan beban. Sistem PV merubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Perubahan intensitas radiasi matahari (insolasi) dan suhu permukaan panel yang tidak linier menjadi permasalahan utama sistem PV untuk mengefektifkan konversi energi.

Selain suhu dan insolasi, kondisi penyinaran modul PV juga menunjukkan pengaruh besar pada karakteristik sel surya. Seperti kondisi *partial shading* yang menyebabkan karakteristik keluaran modul PV menjadi lebih kompleks dan menunjukkan beberapa puncak pada kurva karakteristiknya. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan pengendalian PV dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracker (MPPT)* berbasis algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)* yang dapat menjaga PV tetap beroperasi pada titik efisiensi tertingginya. MPPT PSO akan mengatur produksi dan penyimpanan daya sistem PV melalui konverter yang dikendalikan oleh sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang berasal dari *duty cycle* hasil operasi MPPT berbasis algoritma PSO. Parameter algoritma PSO akan diatur sedemikian rupa sehingga dapat mencapai titik MPP dalam waktu yang relatif cepat.

Performa sistem PV dengan MPPT berbasis algoritma PSO yang didapatkan pada simulink MATLAB ketika PV berada pada kondisi normal dalam keadaan *Standart Test Condition (STC)* dan dalam kondisi *partial shading (PSC)* atau ketika PV dalam keadaan berbayang sebagian menunjukkan bahwa daya keluaran hasil pelacakan menggunakan MPPT PSO memiliki tingkat keakuratan yang baik dan pelacakan MPP yang relatif cepat yaitu sekitar 0,6S untuk menuju keadaan stabil. Hasil pengujian implementasi rangkaian *hardware* sistem PV dengan MPPT berbasis algoritma PSO dengan sumber matahari dalam kondisi normal dan PSC menunjukkan bahwa meskipun PSO mengalami beberapa puncak sebelum dapat mempertahankan titik daya pada MPP, namun PSO berhasil mencapai MPP yang optimal dan stabil dalam waktu yang relatif cepat. Begitu pula ketika pengujian perbandingan antara MPPT berbasis algoritma PSO dengan tanpa MPPT, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa MPPT berbasis algoritma PSO menunjukkan performa yang baik dan dapat mempertahankan MPP sebesar 1,73 W dibandingkan



dengan pengujian tanpa MPPT yang hanya dapat menemukan MPP sebesar 1,15 W.

Kata Kunci : Energi Baru Terbarukan (EBT), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Maximum Power Point Tracker* (MPPT), Sistem Fotovoltaik (PV), kondisi *partial shading* (PSC)



SUMMARY

ANNISA FITRI AYU MILLENIA, Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Islam Malang. Januari, 2023. “ *IMPLEMENTATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) BASED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) ALGORITHM TO OPTIMIZATION PHOTOVOLTAIC POWER IN PARTIAL SHADING CONDITION*”, Dosen Pembimbing I : M. Jasa Afroni; Dosen Pembimbing II : Efendi S Wirateruna.

Indonesia has big challenges in energy management, especially challenges in the application of renewable energy sources (RES) as an alternative to non-renewable energy, especially to minimize the use of fossil energy and its bad impact on the environment. One of the RES which is very abundant in the universe is the sun which is used as a solar power plant that consist of a photovoltaic (PV) system. The PV system work process starts from photovoltaics, boost converters, MPPT based on the PSO algorithm and loads. The PV system converts solar radiation into electrical energy. Changes in insolation and non-linear panel surface temperatures are the main problems of PV systems for effective energy conversion.

In addition to temperature and insolation, the irradiation conditions of the PV module also show a major influence on the characteristics of the solar cell. Such as partial shading conditions which cause the output characteristics of the PV module to become more complex and show several peaks in its characteristic curve. To overcome this, PV control is needed using the Maximum Power Point Tracker (MPPT) method based on the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm which can keep PV operating at its highest efficiency point. MPPT PSO will regulate the production and storage of PV system power through a converter controlled by a PWM (Pulse Width Modulation) signal originating from the duty cycle of MPPT operating results based on the PSO algorithm. The parameters of the PSO algorithm will be set in such a way that it can reach the MPP point in a relatively short time.

The performance of the PV system with MPPT based on the PSO algorithm on the MATLAB simulink when the PV is under normal conditions under Standard Test Condition (STC) and under partial shading (PSC) conditions shows that the output power tracking results using MPPT PSO have a good level of accuracy and MPP tracking which is relatively fast, which is about 0.6S to get to a stable state. The results of testing the implementation of the PV system hardware circuit with MPPT based on the PSO algorithm with solar sources under normal conditions and PSC show that even though PSO experiences several peaks before it can maintain the power point at MPP, PSO manages to achieve optimal and stable MPP in a relatively short time. Likewise, when MPPT based on the PSO algorithm is compared without MPPT, the results obtained show that MPPT based on the PSO algorithm shows good performance and can maintain an MPP of 1.73 W compared without MPPT which can only find an MPP of 1.15 W.

Keyword : Renewable Energy Source (RES), Solar Photovoltaic Systems, Partial Shading Condition (PSC), Maximum Power Point Tracker (MPPT), Particle Swarm Optimization (PSO)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki tantangan besar dalam pengelolaan energi utamanya tantangan dalam penerapan energi baru terbarukan (EBT). Penyediaan energi dalam negeri masih didominasi oleh energi fosil, sedangkan energi fosil merupakan energi tak terbarukan yang persediaannya semakin lama semakin menipis serta memiliki imbas yang buruk pada lingkungan terutama pada pemanasan global. Maka dari itu, penggunaan energi baru terbarukan (EBT) sebagai alternatif energi tak terbarukan dinilai sangat penting dalam pengelolaan energi dalam negeri. Penerapan energi baru terbarukan (EBT) sudah banyak digiatkan oleh pemerintah untuk meminimalisir penggunaan energi fosil dan imbasnya yang buruk pada lingkungan. energi baru terbarukan (EBT) merupakan energi yang paling murni karena bersumber dari alam dan persediaannya sangat melimpah di alam semesta. Misalnya: matahari, angin, sungai, tanaman dan lain sebagainya.

Kebutuhan listrik di Indonesia meningkat secara signifikan setiap tahunnya. Meskipun pada tahun 2020 kebutuhan listrik sempat turun 7% karena pandemi COVID-19, setelah tahun 2021 kebutuhan listrik kembali meningkat dan diperkirakan akan terus meningkat sesuai dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi dan kebijakan pemerintah. Saat ini batu bara mendominasi pemanfaatan energi fosil sebagai pemasok utama pembangkit listrik di Indonesia. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan meminimalisir dampak lingkungan, pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) untuk pembangkit listrik harus selalu ditingkatkan. Salah satu yang akan dianalisis lebih mendalam yaitu peningkatan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) [1].

Direktur Jenderal EBTKE, Dadan Kusdiana menguraikan bahwa sekarang adalah momen yang paling tepat untuk Indonesia melakukan transisi energi ke energi baru terbarukan. Pemerintah Indonesia mengambil beberapa langkah untuk meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan. Salah satunya dengan menambah pembangkit baru berbasis energi baru terbarukan setelah perekonomian

Indonesia pulih seperti biasa. Utamanya pada penyediaan listrik yang murah dan bersih seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terdiri dari sistem panel surya atau sistem fotovoltaik (PV) yang merubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Perubahan intensitas radiasi matahari (insolasi) dan suhu permukaan panel yang tidak linier menjadi permasalahan utama sistem fotovoltaik untuk mengefektifkan konversi energi. Selain suhu dan insolasi, kondisi penyinaran permukaan panel juga menunjukkan pengaruh besar pada karakteristik sel surya. Ketika lebih dari satu modul PV dihubungkan dan salah satunya terkena kondisi *partial shading*, maka insolasi yang diterima oleh kedua modul akan berbeda. Kondisi *partial shading* ini menyebabkan karakteristik keluaran modul PV menjadi lebih kompleks dan menunjukkan beberapa puncak pada kurva karakteristiknya. Untuk mengatasi sistem PV yang tidak linier dan karakteristik keluaran modul PV yang kompleks tersebut dibutuhkan pengendalian PV dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) dengan algoritma yang dapat menjaga fotovoltaik tetap beroperasi pada titik efisiensi tertingginya [3] [4].

Penelitian ini membahas tentang sebuah sistem kendali yang berfungsi supaya sistem fotovoltaik dapat dimaksimalkan kemampuannya dengan menggunakan metode *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). MPPT adalah sebuah metode yang bekerja dengan melacak titik daya keluaran tertinggi dari sistem fotovoltaik. Sistem kontrol MPPT akan mengatur produksi dan penyimpanan daya sistem fotovoltaik melalui konverter yang dikendalikan oleh sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang berasal dari *duty cycle* hasil operasi algoritma MPPT. Salah satu algoritma MPPT adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Optimalisasi MPPT menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan metode pemrograman yang digunakan untuk memaksimalkan keluaran daya agar berada pada daerah maksimum (*Maximum Power Point*). Parameter algoritma PSO akan diatur sedemikian rupa sehingga dapat mencapai titik MPP dengan waktu yang relatif cepat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang difokuskan pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana perancangan simulasi sistem PV dengan *maximum power point tracker* (MPPT) berbasis algoritma *particle swarm optimization* (PSO) untuk mengoptimalisasi daya *photovoltaic* dalam kondisi *partial shading*?
2. Bagaimana rancang bangun sistem PV dengan *maximum power point tracker* (MPPT) berbasis algoritma *particle swarm optimization* (PSO) dengan Arduino UNO untuk mengoptimalisasi daya *photovoltaic* dalam kondisi *partial shading*?
3. Bagaimana hasil pengujian sistem PV yang didapatkan dalam kondisi *partial shading* dengan menggunakan *maximum power point tracker* (MPPT) berbasis algoritma *particle swarm optimization* (PSO) dalam kondisi *partial shading*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Algoritma MPPT yang digunakan yaitu algoritma *particle swarm optimization* (PSO)
2. Konverter yang digunakan *boost* konverter
3. Model sistem disimulasikan dengan MATLAB/SIMULINK R2020a
4. Perangkat keras mikrokontroler menggunakan Arduino UNO

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan Rumusan Masalah, tujuan penelitian skripsi ini sebagai berikut:

1. Merancang simulink sistem PV dengan *maximum power point tracker* (MPPT) berbasis algoritma *particle swarm optimization* dalam kondisi *partial shading*
2. Merancang bangun sistem PV dengan *maximum power point tracker* (MPPT) berbasis algoritma *particle swarm optimization* (PSO) dengan Arduino UNO untuk mengoptimalisasi daya *photovoltaic* dalam kondisi *partial shading*
3. Mengetahui hasil pengujian sistem PV yang didapatkan dalam kondisi *partial shading* dengan menggunakan MPPT berbasis algoritma PSO

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat tercapai dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Memanfaatkan sumber energi matahari yang sangat melimpah sebagai energi baru terbarukan yang ramah lingkungan
2. Mengetahui bagaimana keandalan algoritma *particle swarm optimization* (PSO) dalam melakukan pelacakan titik operasi daya pada titik optimal
3. Bermanfaat sebagai literasi ketika merancang pembangkit listrik tenaga surya supaya mendapat daya yang maksimal

1.6 Sistematika Penulisan

Supaya memudahkan dalam mempelajari bagian-bagian menurut kesatuan tulisan, penulisan skripsi ini disusun sedemikian rupa menggunakan sistematika penulisan menjadi berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan dari penelitian skripsi yang dilakukan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka dan dasar teori yang berkaitan dengan pembahasan skripsi yang kebenarannya telah diverifikasi oleh penelitian-penelitian terdahulu.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi semua data teknis yang diperoleh di lapangan

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil dan pembahasan dari data yang telah diperoleh

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran dari penulis supaya penelitian ini dapat diperbaiki menjadi lebih baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari perancangan, pengujian, hasil dan analisa yang telah dilakukan dan didapatkan dari penelitian ini, maka diperoleh kesimpulan :

- 1) Performa sistem PV dengan MPPT berbasis algoritma PSO yang didapatkan pada simulink MATLAB ketika PV berada pada kondisi normal dalam keadaan *Standart Test Condition* (STC) yaitu suhu 25°C dan intensitas cahaya 1000 W/m² dan dalam kondisi berbayang sebagian (PSC) menunjukkan bahwa daya keluaran hasil pelacakan menggunakan MPPT PSO memiliki tingkat keakuratan yang baik dan pelacakan MPP yang relatif cepat yaitu sekitar 0,6s untuk menuju keadaan stabil.
- 2) Rancang bangun sistem PV menggunakan beberapa komponen yaitu panel surya yang disambungkan ke sensor arus dan tegangan serta *boost* konverter yang dipasangkan dengan Arduino UNO yang telah diimplementasikan MPPT berbasis algoritma PSO. Sensor masukan dan keluaran menunjukkan hasil performa yang cukup baik dengan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) yang diperoleh sensor tegangan resistor 200kΩ sebesar 2,42% dan sensor tegangan resistor 400kΩ sebesar 0,08%. MAPE sensor INA219 sebagai sensor arus masukan sebesar 0,01% dan sensor ACS712 sebagai sensor arus keluaran sebesar 0,14%. *Boost* konverter menunjukkan bahwa dengan nilai tegangan masukan dan beban yang konstan nilai tegangan keluaran *boost* konverter semakin meningkat seiring dengan peningkatan nilai *duty cycle*. Rata-rata efisiensi *boost* konverter yang didapatkan sebesar 63,10%.
- 3) Hasil pengujian implementasi rangkaian *hardware* sistem PV dengan MPPT berbasis algoritma PSO dengan sumber matahari dalam kondisi normal dan PSC menunjukkan bahwa meskipun PSO mengalami beberapa puncak sebelum dapat mempertahankan titik daya pada MPP, PSO berhasil mencapai nilai MPP yang optimal dan stabil dalam waktu yang relatif cepat. Begitu pula ketika pengujian perbandingan antara MPPT berbasis algoritma PSO dengan tanpa MPPT, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa MPPT berbasis

algoritma PSO menunjukkan performa yang baik dan dapat mempertahankan MPP sebesar 1,73 W dibandingkan dengan pengujian tanpa MPPT yang hanya dapat menemukan MPP sebesar 1,15 W.

5.2 Saran

Ilmu pengetahuan dan teknologi yang senantiasa mengalami kemajuan setiap tahunnya memerlukan proses, pemikiran yang kreatif serta penelitian yang mendalam. Proses, pemikiran serta penelitian tersebut tidak jauh dari kelebihan dan kekurangan. Maka dari itu, ada beberapa saran yang dapat menjadi masukan penelitian kedepannya yakni :

- 1) Penelitian tentang energi matahari sebaiknya dilakukan pada musim kemarau sehingga dapat meminimalisir variabel pengganggu berupa perubahan kondisi cuaca yang menyebabkan perubahan intensitas radiasi matahari pada permukaan panel surya.
- 2) Diperlukan konverter yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan supaya dapat lebih memaksimalkan daya keluaran dari PV serta konverter dengan efisiensi yang lebih baik sehingga dapat memaksimalkan keluaran konverter.
- 3) Untuk meningkatkan dan mempertahankan kinerja dan kecepatan pelacakan MPP perlu dilakukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut terhadap MPPT berbasis algoritma PSO.

DAFTAR PUSTAKA

- B. Eng. , M. Eng. Dr. Edi Hilmawan, S. Si. , M. Sc. Ira Fitriana, M. Eng. Ir. Agus Sugiyono, and M. Sc. Dr. Ir. Adiarso, *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station*. 2021.
- “Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. Diskusi Tantangan Pengembangan Energi Baru Terbarukan di Indonesia.” <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ebtke/diskusi-tantangan-pengembangan-energi-baru-terbarukan-di-indonesia>. (accessed Mar. 06, 2022).
- D. Verma, S. Nema, A. M. Shandilya, and S. K. Dash, “Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, pp. 1018–1034, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.068.
- Afroni Mohammad Jasa, E. S. Wirateruna, and O. Melfazen, “An Experimental Study of Partial Shading Effects on the P-V Characteristic Curve,” *11th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, pp. 22–27, 2022, doi: 10.1109/EECCIS54468.2022.9902950.
- E. S. Wirateruna, M. J. Afroni, and F. Badri, “Design of Maximum Power Point Tracking Photovoltaic System Based on Incremental Conductance Algorithm using Arduino Uno and Boost Converter,” *Applied Technology and Computing Science Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 101–112, May 2022, doi: 10.33086/atcsj.v4i2.2450.
- Efendi S Wirateruna, “ANALISA PERBANDINGAN IMPLEMENTASI MPPT PV BERBASIS ALGORITMA P&O DAN IC DENGAN ARDUINO UNO,” *JE-UNISLA : Electronic Control, Telecommunication, Computer Information and Power Systems*, vol. 7, pp. 14–20, 2022.
- Z. Zhao *et al.*, “A dynamic particles MPPT method for photovoltaic systems under partial shading conditions,” *Energy Convers Manag*, vol. 220, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113070.
- E. S. Wirateruna and A. F. A. Millenia, “Design of MPPT PV using Particle Swarm Optimization Algorithm under Partial Shading Condition,” *International Journal*

- of *Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR)*, vol. 4, no. 1, pp. 24–30, 2022, doi: 10.25139/ijair.v4i1.4327.
- [9] N. Safitri, T. Rihayat, and S. Riskina, *TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC*. Aceh: YAYASAN PUGA ACEH RISET, 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/341909134>
- [10] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. 2004.
- [11] Leopoldo Gil-Antonio, Martha Belem Saldivar-M´arquez, and Otniel Portillo-Rodriguez, “Maximum power point tracking techniques in photovoltaic systems: A brief review,” in *International Conference on Power Electronics (CIEP)*, 2016.
- [12] R. Eberhart and J. Kennedy, “A new optimizer using particle swarm theory,” *MHS’95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, pp. 39–43, doi: 10.1109/MHS.1995.494215.
- [13] H. Mubarak and B. A. Whiancaka, “Optimasi Sistem Turbin Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Metode Particle Swarm Optimization (PSO),” *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 19, no. 1, pp. 1–10, 2020, Accessed: Dec. 18, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31358/techne.v19i01.226>
- [14] N. Hanisah Baharudin, T. Muhammad Nizar Tunku Mansur, F. Abdul Hamid, R. Ali, and M. Irwanto Misrun, “Topologies of DC-DC Converter in Solar PV Applications,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 8, no. 2, p. 368, Nov. 2017, doi: 10.11591/ijeecs.v8.i2.pp368-374.
- [15] Irkham, I. Setiawan, and A. Nugroho, “PERANCANGAN BOOST CONVERTER SEBAGAI SUPLAI INVERTER MENGGUNAKAN DSPIC30F4011 DENGAN METODE KONTROL PROPORTIONAL INTEGRAL,” *Transient : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 7, no. 3, 2018.
- [16] A. Y. B, A. J. B, M. A. Afolayan, O. Ogunbiyi, I. S. M, and O. S. Z, “DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN ARDUINO-BASED SOLAR POWER PARAMETER-MEASURING SYSTEM WITH DATA LOGGER,” *ARID ZONE JOURNAL OF ENGINEERING, TECHNOLOGY & ENVIRONMENT*, vol. 16, no. 2, pp. 255–268, 2020, [Online]. Available: www.azojete.com.ng

- 7] W. VanDeventer *et al.*, “Short-term PV power forecasting using hybrid GASVM technique,” *Renew Energy*, vol. 140, pp. 367–379, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.02.087.

