

Optimasi PV dengan Metode MPPT Berbasis Algoritma Genetika

Ayas Sutomo Hadi¹, Taqiyyuddin Alawiy², Efendi S Wirateruna³
^{1,2,3}) Universitas Islam Malang

22001053021@unisma.ac.id, taqijjuddin.alawiy@unisma.ac.id, efendi.s.wirateruna@unisma.ac.id

Abstract

This research analyzes the implementation of genetic algorithm (GA) on maximum power point tracking (MPPT) system with buck-boost DC-DC converter for solar panels. The test results show an increase in the output power efficiency of solar panels under various operational conditions. This research designs a genetic algorithm (GA)-based MPPT system to optimize the power of solar panels using buck-boost converters. Testing includes calculation, design, and evaluation of electronic components with the result of increasing PV power output efficiency under various environmental conditions. This research evaluates Incremental Conductance (INC), Perturb and Observe (P&O), and Genetic Algorithm (GA) algorithms for MPPT on solar panels using buck-boost converters. Results show that GA is superior in stability and efficiency compared to other algorithms. This study evaluates Incremental Conductance, Perturb and Observe, and Genetic Algorithm algorithms on MPPT with buck-boost converter. As a result, the genetic algorithm achieves a maximum power of 26.16 W, showing the best efficiency and stability compared to the other algorithms.

Keywords— MPPT, GA, Buck-Boost Converter, Photovoltaic, Arduino.

Abstraksi

Penelitian ini menganalisis implementasi algoritma genetika (GA) pada sistem maximum power point tracking (MPPT) dengan konverter DC-DC buck-boost untuk panel surya. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan efisiensi daya output panel surya pada berbagai kondisi operasional. Penelitian ini merancang sistem MPPT berbasis algoritma genetika (GA) untuk mengoptimalkan daya panel surya menggunakan konverter buck-boost. Pengujian mencakup perhitungan, perancangan, dan evaluasi komponen elektronik dengan hasil meningkatkan efisiensi output daya PV dalam berbagai kondisi lingkungan. Penelitian ini mengevaluasi algoritma Incremental Conductance (INC), Perturb and Observe (P&O), serta Genetic Algorithm (GA) untuk MPPT pada panel surya menggunakan konverter buck-boost. Hasil menunjukkan bahwa GA lebih unggul dalam stabilitas dan efisiensi dibandingkan algoritma lainnya. Penelitian ini mengevaluasi algoritma Incremental Conductance, Perturb and Observe, serta Genetic Algorithm pada MPPT dengan konverter buck-boost. Hasilnya, algoritma genetika mencapai daya maksimum 26,16 W, menunjukkan efisiensi dan stabilitas terbaik dibandingkan algoritma lainnya.

Kata Kunci— MPPT, GA, Buck-Boost Converter, Photovoltaic, Arduino.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sumber energi terbarukan meningkat di zaman sekarang karena ketersediaan sumber energi fosil semakin menipis dan dampak negatif penggunaan energi konvensional terhadap lingkungan [1]. Banyak yang telah beralih ke penggunaan sumber daya energi terbarukan sebagai sumber daya listrik karena efek perubahan iklim yang dapat dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar fosil dan meningkatnya emisi CO₂ juga mendorong pertumbuhan teknologi energi terbarukan [2]. Oleh karena itu, penggunaan energi terbarukan adalah solusi yang sangat baik. Salah satu solusi yang paling menjanjikan untuk memenuhi

kebutuhan energi yang berkelanjutan adalah sistem fotovoltaik (PV) energi matahari [3]. Namun, karakteristik non-linear panel surya disebabkan oleh variasi dalam output daya yang disebabkan oleh variasi radiasi, temperatur matahari, dan efisiensi yang kurang dari 20% [4]. Oleh karena itu, perlunya mendapatkan daya keluaran yang optimal dari panel surya tersebut.

Komponen penyimpanan energi yang paling sering digunakan dalam aplikasi fotovoltaik yaitu baterai karena mampu menangkap variasi energi, yang memperbaiki karakteristik dinamis sistem. Untuk mengisi dan memanfaatkan baterai, dibutuhkan rangkaian converter yang mampu mengatur arah aliran energi [5]. Maka, dibutuhkan sebuah konverter tegangan, salah satu cara untuk melakukan ini

adalah dengan menggunakan konverter DC-to-DC. Sistem konverter buck boost dapat mengatur tegangan keluarannya untuk lebih rendah atau lebih besar dari tegangan masukannya [6], [7], [8].

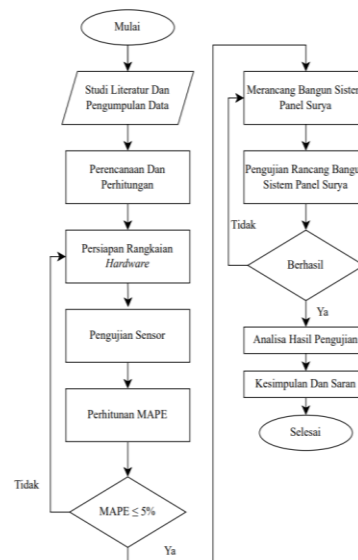
Output panel surya memiliki titik daya maksimum (MPP), yang menghasilkan listrik dengan efisiensi tertinggi. Karena kondisi cahaya matahari berubah setiap saat, menghasilkan radiasi dan tegangan yang berubah, dengan metode maksimum power point tracking (MPPT) dibutuhkan untuk melacak titik daya maksimum dan meningkatkan produksi daya panel surya [9]. Dengan kontrol MPPT, konversi energi maksimum diharapkan pada berbagai kondisi beban. Nilai arus dan tegangan sel fotovoltaik akan berbeda dalam jumlah daya keluaran maksimumnya.

PnO, IC, dan voltase konstan adalah beberapa metode untuk menghasilkan pengendali MPPT. Metode-metode ini memiliki kekurangan, seperti keterbatasan dalam menghadapi kondisi lingkungan yang kompleks dan perubahan cepat. Pada artikel ini kami menggunakan metode genetika algoritma yang merupakan salah satu cara untuk membuat pengendali MPPT untuk mengatasi kekurangan pada metode sebelumnya[10]. Algoritma ini dapat digunakan untuk menemukan solusi terbaik dalam ruang pencarian yang kompleks, mengambil inspirasi dari proses evolusi alami. Dengan mempertimbangkan radiasi matahari, suhu, dan kondisi beban, GA dapat digunakan dalam sistem fotovoltaik untuk mengoptimalkan pengisian dan pengosongan baterai[4], [11]. Dengan penggunaan GA, sistem dapat secara proaktif mengubah rencana untuk memaksimalkan daya, dan meningkatkan kinerja pada beban.

Dengan menerapkan algoritma MPPT yang didasarkan pada GA dan converter buck-boost, diharapkan metode ini dapat memanfaatkan energi terbarukan, memaksimalkan keluaran daya dari PV, serta menurunkan biaya operasional.

II. METODE PENELITIAN

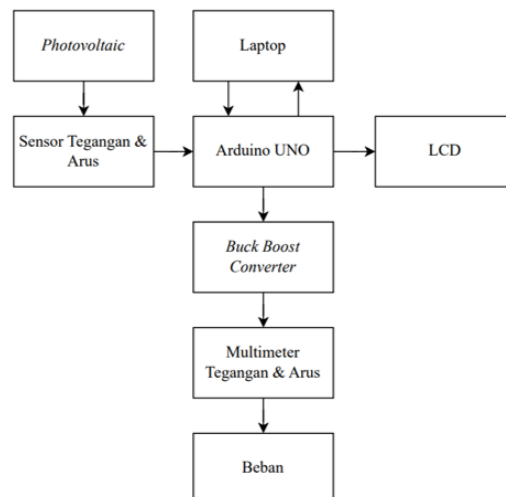
Gambar 1. menunjukkan bahwa penelitian ini dimulai dengan melihat literatur sebelumnya, baik buku maupun jurnal yang berkaitan dengan penelitian. Langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data dari studi sebelumnya tentang subjek penelitian. Setelah melakukan perencanaan, perhitungan, dan persiapan rangkaian hardware, sensor diuji, dan dihitung mean absolut percentage error (MAPE). Jika MAPE yang diperoleh kurang dari 5%, penelitian dapat dilanjutkan.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Algoritma genetika (GA) digunakan untuk mengubah rangkaian buck-boost dan sebagai kontrol pemrograman untuk Arduino UNO. Setelah itu, uji coba rancang bangun sistem panel surya dilakukan dan dievaluasi hasilnya. Langkah terakhir adalah pengambilan kesimpulan dan saran penelitian.

Merancang buck-boost converter untuk panel surya (PV) 20 Wp membutuhkan blok diagram yang berisi tahapan untuk membantu proses perancangan. Gambar 2 menunjukkan gambar blok diagram yang biasa digunakan dalam skripsi ini.



Gambar 2. Blok diagram Sistem

Gambaran umum tentang bagaimana algoritma genetika memanfaatkan pengubah buck-boost (catu daya atau adaptor) untuk mengoptimalkan desain panel surya pada system panel surya. Sumber daya atau adaptor menyuplai tegangan ke Arduino UNO, sementara sensor voltase dan arus mengukur tegangan dan arus dari output photovoltaic.

Selanjutnya, nilai tegangan, arus, daya, PWM, dan siklus kerja dari output fotovoltaiik ditampilkan di LCD. Arduino mendapatkan perintah dari program untuk melaksanakan algoritma genetika (GA) yang nantinya dikirim ke rangkaian converter buck-boost guna mendapatkan tegangan, arus, dan daya optimal dari output converter buck-boost. Untuk mengukur nilai yang keluar bisa memanfaatkan multimeter digital untuk mengukur nilai voltase dan arus dari converter buck-boost.

Pada penelitian ini menggunakan photovoltaic merk Mitsuyama 20 Wp, dengan tegangan dan arus pada daya maksimum 18V dan 1,14A.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya yang digunakan

Merk	MITSUYAMA
Model	156P-20
Maximum Power (Pmax)	20 W
Maximum Power Voltage (Vmp)	18 V
Maximum Power Current (Imp)	1,14 A
Open Circuit Voltage (Voc)	20,6 V
Short Circuit Current (Isc)	1,29 A
Nominal Operating Cell Temp (Noct)	45±2°C
Maximum System Voltage	1000 V
Maximum Series Fuse	16 A

Dalam penelitian kali ini kami menggunakan cahaya matahari sebagai sumber panel surya (photovoltaic) untuk pengambilan data.

Pada penelitian ini, perangkat keras Arduino UNO R3 digunakan sebagai kontrol pemrograman dan aplikasi Arduino IDE 2.3.2.

Agar converter buck-boost dapat berfungsi secara optimal, maka dilakukan perhitungan sesuai dengan Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Konverter Buck-Boost

Parameter	Nilai
V Input	18 Vdc
Duty cycle	39%
Frekuensi switching	33000 Hz
Nilai Tahanan	1,84 Ω
Riak Tegangan	0.2 V

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai dan komponen elektronika yang dibutuhkan berdasarkan Parameter Buck-boost Converter:

1. Menghitung nilai induktansi minimum (Lmin)

Karena konverter ini menggunakan mode kontinu penguatan (CCM), parameter yang dihitung memiliki nilai induktansi minimum (Lmin). Nilai induktor minimum di sini adalah sebagai penyimpan energi yang akan mengalir saat Mosfet kondisi off, menurut persamaan berikut:

$$L_{min} = \frac{R(1 - D_{max})^2}{2F_s}$$

$$L_{min} = \frac{1,84(1 - 0,39)^2}{2 \times 33000}$$

$$L_{min} = 0,0005637H = 563,7\mu H$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, diperoleh nilai induktansi minimum sebesar 563,7μH. Oleh karena itu, dipilih nilai L > Lmin agar arus pada inductor tidak turun menjadi 0 saat kondisi stabil. Setidaknya nilai L harus lebih besar 25% dari Lmin sesuai teori yang diusulkan oleh D. W. Hart, sehingga ditetapkan nilai L sebesar 704,62μH yang ada di pasaran.

2. Menghitung nilai Kapasitansi minimum (Cmin)

sebelum menentukan nilai kapasitor, perlu dicari nilai ripple voltage pada kapasitor filter, yang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{out} = -V_{in} \frac{D}{(1 - D)}$$

$$V_{out} = -18 \frac{0,39}{(1 - 0,39)}$$

$$V_{out} = 11,5 V$$

$$V_r = \frac{1}{100} \times V_{out}$$

$$= \frac{1}{100} \times 11,5V$$

$$= 0,115V$$

$$V_{r_{cpp}} = 5_mV = 0,005V$$

$$V_{cpp} = V_r - V_{r_{cpp}}$$

$$= 0,115 - 0,005$$

$$= 0,11 V$$

Kemudian, untuk mengurangi fluktuasi tegangan akibat proses switching, dipakai 2 kapasitor yang nilainya dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$C = \frac{D}{F_s \times R_{min}} \times \frac{V_{out}}{V_{cpp}}$$

$$C = \frac{0,39}{33000 \times 1,84} \times \frac{11,5}{0,11}$$

$$C = 0,00067145F$$

$$C = 671,45\mu F$$

Menurut hasil perhitungan, nilai kapasitansi minimum yang diperoleh adalah 671,45μF. Maka ditetapkan nilai C > Cmin sebesar 680μF di pasaran. Di sini kita menggunakan 25V dan 16V.

3. Menentukan jenis diode

Dioda ditentukan dengan menggunakan persamaan, dan hasilnya adalah diode tipe MIC 10 A yang mampu mengurangi kehilangan daya serta penurunan tegangan.

4. Pemilihan jenis MOSFET

Untuk melakukan proses switching pada konverter Buck-boost, MOSFET harus memenuhi dua syarat berikut:

- Beroperasi pada frekuensi 33000 Hz.
- Beroperasi dengan arus di atas 1A.

Nilai parameter converter Buck-boost, nilai induktor, kapasitor, dan frekuensi switching dirangkum dalam tabel 3 :

Tabel 3. Parameter Buck-Boost Converter

Parameter	Nilai
Resistor	1,84 Ω
Induktor	704,62 μ H
Kapasitor	680 μ F 25V dan 16V
Frekuensi <i>switching</i>	33000 Hz
Dioda	MIC 10 A
Mosfet	IRF 9540 N

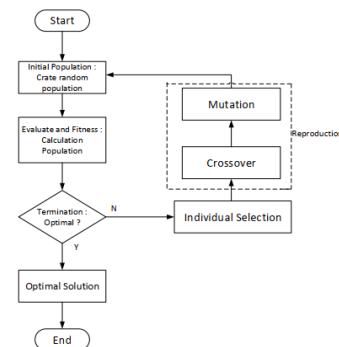
Penelitian ini menggunakan algoritma genetika (AG) untuk mengoptimalkan pencarian titik daya maksimum (Maximum Power Point/MPP) pada panel surya di berbagai kondisi radiasi dan suhu. Sistem MPPT dirancang untuk memaksimalkan efisiensi pengisian baterai dengan mengatur tegangan keluaran panel melalui konverter buck-boost.

Tahapan pertama melibatkan inisialisasi populasi awal, di mana sejumlah individu (kromosom) dengan nilai duty cycle acak dihasilkan sebagai solusi awal untuk menentukan MPP. Evaluasi fungsi kebugaran dilakukan dengan menghitung daya keluaran panel surya ($P = V \times I$), yang menjadi indikator kemampuan individu mendekati MPP.

Proses optimasi meliputi seleksi individu dengan nilai fitness terbaik, crossover untuk menggabungkan karakteristik unggul dari dua induk, dan mutasi untuk memperkenalkan variasi agar solusi tidak terbatas pada optimum lokal. Algoritma ini terus dijalankan hingga kriteria optimal atau jumlah iterasi maksimum tercapai.

Hasil optimasi berupa duty cycle terbaik diterapkan pada konverter buck-boost untuk memastikan panel surya bekerja di MPP, sehingga daya yang dihasilkan optimal untuk pengisian baterai. Dengan pendekatan ini, sistem MPPT mampu beradaptasi terhadap perubahan

iradiasi dan suhu, meningkatkan efisiensi pengisian baterai. Diagram alir algoritma menggambarkan seluruh proses optimasi dari awal hingga menemukan solusi terbaik.

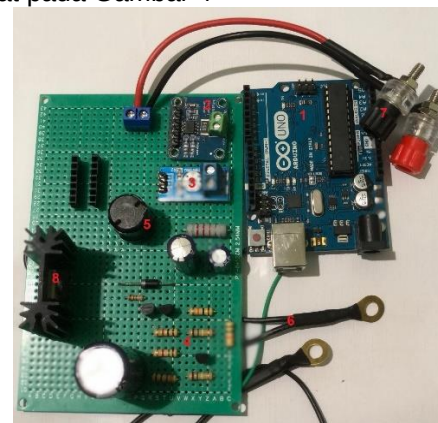


Gambar 3. Flowchart Algoritma Genetika

Sebuah rancang bangun yang utuh dibuat untuk setiap bagian yang telah dibuat sebelumnya. Panel surya, sensor arus dan tegangan, driver mosfet, buckboost converter, dan mikrokontroler Arduino Uno dengan menggunakan metode algoritma genetika MPPT. Karena penelitian ini tidak membahas sudut kemiringan panel surya (PV), panel surya berada pada posisi tegak lurus dengan sinar matahari.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah membuat ide untuk sistem panel surya dengan Arduino UNO, lanjutkan dengan membangun rancang bangun yang utuh yang terdiri dari masukan sistem panel surya, sensor arus dan tegangan, konverter buck-boost, dan mikrokontroler Arduino UNO untuk algoritma genetika (GA) MPPT dan beban. Selanjutnya, pasang keseluruhan rangkaian perangkat keras untuk sistem panel surya dengan Arduino UNO. Implementasi keseluruhan rangkaian hardware system panel surya dengan Arduino UNO terlihat pada Gambar 4



Gambar 4. Modul MPPT

Pengujian Simulasi dengan Aplikasi Matlab

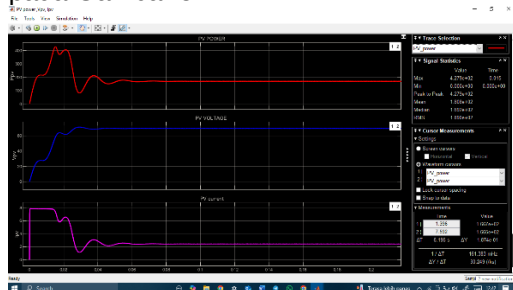
Penelitian ini membandingkan kinerja algoritma Incremental Conductance (INC), Perturb and Observe (P&O), dan Genetic Algorithm (GA) dalam sistem pengejaran titik

daya maksimum (MPPT) menggunakan konverter buck-boost. Hasil simulasi dan analisis ilmiah diberikan di bawah ini.

1. Incremental Conductance (INC)

Dalam algoritma Incremental Conductance (INC), daya PV menunjukkan reaksi awal dengan fluktuasi yang berarti sebelum mencapai keadaan stabil. Titik daya maksimum yang tercatat mencapai sekitar 427,9W dalam periode singkat, yaitu 0,015 detik. Osilasi ini muncul akibat penggunaan metode iterative dalam algoritma untuk mendeteksi perubahan daya terhadap tegangan (dP/dV) dalam rangka mencapai MPP. Tegangan PV menunjukkan peningkatan yang konsisten hingga mencapai sekitar 60V, menandakan kemampuan algoritma dalam mendeteksi perubahan parameter sistem. Namun, arus PV menunjukkan variasi signifikan di awal simulasi sebelum menetap pada nilai yang mendekati 3A. Variasi awal ini disebabkan oleh proses iterative algoritma dalam mencari titik terbaik.

Osilasi awal dalam algoritma INC dapat diurai sebagai akibat dari kepekaan algoritma terhadap variasi parameter sistem, yang mengarah pada respons yang cepat tetapi menghasilkan fluktuasi yang cukup signifikan. Algoritma ini lebih efisien dalam cepatnya mencapai daya maksimum meskipun ada osilasi awal yang signifikan. Untuk grafik pada Gambar 5.



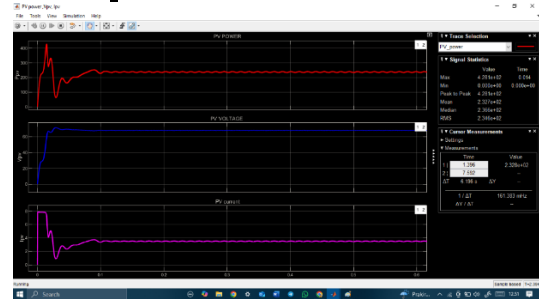
Gambar 5. Grafik Simulasi INC

2. Peturb anda Observe

Pada algoritma Perturb and Observe (P&O), Output PV menunjukkan fluktuasi di sekitar nilai daya maksimum sekitar 428,1 W. Hal ini terjadi karena karakteristik P&O yang secara bertahap menyesuaikan tegangan untuk mencapai MPP, namun sering mengalami perubahan kecil akibat sensitivitas terhadap variasi iradiasi atau suhu. Tegangan PV dapat menjaga stabilitas di sekitar 60V, meskipun ada sedikit variasi pada daya. Arus PV juga memperlihatkan variasi kecil di awal respons, tetapi berhasil mencapai kestabilan pada nilai sekitar 3A.

Fluktuasi kecil yang terlihat pada P&O disebabkan oleh metode iterative yang diterapkan untuk mencapai MPP, yang cenderung peka terhadap perubahan

lingkungan. Walaupun begitu, algoritma ini memperlihatkan kestabilan daya yang baik di sekitar nilai puncak. Untuk grafik pada Gambar_6



Gambar 6. Grafik Simulasi P&O

3. Algorithm Genetika (GA)

Dalam algoritma Genetic (GA), daya PV menunjukkan respons yang lebih stabil dengan nilai puncak tercatat sekitar 427,8 W. Stabilitas ini dicapai berkat mekanisme optimasi berbasis populasi yang mengurangi osilasi selama pencarian MPP. Tegangan PV menunjukkan peningkatan yang sangat konsisten hingga mencapai 60V tanpa fluktuasi signifikan, yang mengindikasikan efisiensi GA dalam mengoptimalkan parameter system secara menyeluruh. Arus PV menunjukkan kestabilan yang lebih cepat daripada dua algoritma lainnya, dengan nilai yang mendekati 3A. Pendekatan optimasi global dalam algoritma GA memungkinkan pencarian Solusi terbaik tanpa terjebak pada nilai maksimum lokal, sehingga menghasilkan respons daya, tegangan, dan arus yang lebih halus dibandingkan dengan INC dan P&O. Algoritma ini sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan stabilitas tinggi. Untuk grafik pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik simulasi GA

Pengujian Hardware dengan Cahaya Matahari

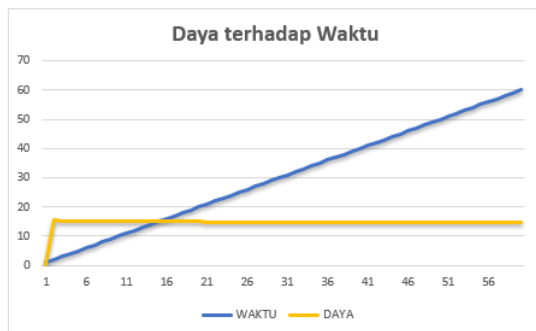
Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada beban konstan 220 ohm dengan menggunakan Cahaya matahari. Pada saat uji coba dilakukan pengukuran intensitas Cahaya dengan kuat penerangan dari matahari 78200 lux seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Implementasi Alat

1. Pengujian tanpa Algoritma

Pada kondisi tanpa menggunakan algoritma, hasil pengujian daya terhadap waktu pada output panel surya menggunakan cahaya matahari yang diterima oleh panel surya dengan kuat penerangan 78200 lux. Hubungan antara daya yang dihasilkan oleh panel surya terhadap waktu tanpa menggunakan algoritma optimasi ditunjukkan pada Gambar 9. Pengujian dilakukan dengan intensitas cahaya matahari 78.200 lux yang diterima panel surya. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa daya yang dihasilkan (ditunjukkan oleh garis kuning) mencapai nilai maksimum sekitar 10 watt pada awal pengujian ($t = 1$ menit) dan tetap stabil hingga akhir pengujian ($t = 60$ menit). Selain itu, waktu pengujian meningkat secara linear dari $t = 1$ menit hingga $t = 60$ menit, menunjukkan bahwa dalam kondisi ini, daya yang dihasilkan

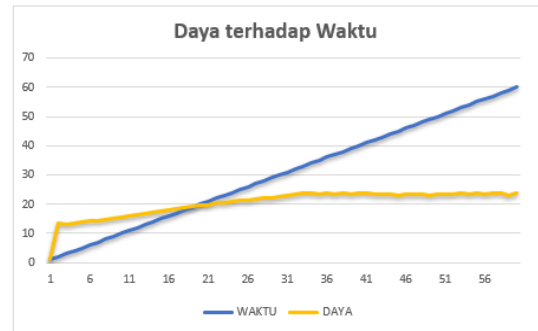


Gambar 9. Grafik Implementasi Tanpa Algoritma

2. PNO

Dengan menggunakan algoritma Perturb and Observe (P&O), hubungan antara daya yang dihasilkan oleh panel surya terhadap waktu ditunjukkan pada grafik berikut. Pengujian dilakukan pada kondisi di mana panel surya menerima 78.200 lux intensitas cahaya matahari. Berdasarkan grafik, waktu pengujian (ditunjukkan oleh garis biru) meningkat secara linear dari $t = 1$ menit hingga $t = 60$ menit, dan daya (ditunjukkan oleh garis kuning) mencapai nilai maksimum sekitar 20 watt pada awal pengujian ($t = 1$ menit), menunjukkan bahwa algoritma P&O berhasil menjaga daya output panel surya pada nilai yang lebih tinggi dibandingkan tanpa algoritma. Hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma P&O dapat meningkatkan

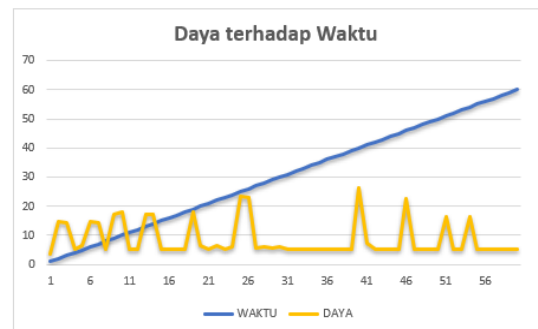
efisiensi kinerja panel surya dalam kondisi intensitas cahaya yang konstan.



Gambar 10. Grafik Implementasi Algoritma P&O

3. GA

Hubungan antara daya yang dihasilkan oleh panel surya terhadap waktu ditunjukkan pada grafik di bawah. Pengujian dilakukan dengan intensitas cahaya matahari 78.200 lux. Daya, yang ditunjukkan oleh garis kuning di grafik, mengalami variasi yang signifikan selama pengujian. Meskipun ada perbedaan, daya maksimum dihasilkan pada interval tertentu mencapai sekitar 20 watt. Waktu pengujian, yang meningkat secara linear dari $t = 1$ menit hingga $t = 60$ menit, menunjukkan bahwa algoritma Genetika sedang mencari solusi terbaik untuk meningkatkan efisiensi output daya meskipun stabilitas daya belum tercapai sepenuhnya. Hasil ini menunjukkan bagaimana algoritma genetika berfungsi untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya dalam kondisi intensitas cahaya konstan.



Gambar 11. Grafik Implementasi Algoritma Genetika (GA)

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari perancangan, pengujian, hasil dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan:

1. Penelitian ini membandingkan kinerja algoritma Incremental Conductance (INC), Perturb and Observe (P&O), dan Genetic Algorithm (GA) dalam sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT) menggunakan konverter buck-boost. Simulasi menunjukkan algoritma INC mencapai daya maksimum 427,9 W

dengan osilasi awal signifikan, P&O memiliki stabilitas daya baik di 428,1 W dengan fluktuasi kecil, dan GA menghasilkan respons paling halus dengan daya maksimum 427,8 W. GA unggul dalam stabilitas, INC cepat mencapai MPP, dan P&O stabil dengan fluktuasi minimal.

2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma MPPT dapat meningkatkan daya output panel surya secara signifikan dibandingkan dengan metode tanpa algoritma. Hasil ini ditunjukkan pada konverter buck-boost dengan cahaya matahari sebesar 78200 lux. Jika tidak ada algoritma, daya puncak hanya mencapai 1,59 W. Namun, dengan algoritma P&O, daya puncak meningkat menjadi 23,77 W dalam 60 detik, sementara algoritma genetika memberikan hasil terbaik dengan 26,16 W dalam 40 detik. Ini menunjukkan bahwa algoritma genetika lebih baik dalam menemukan nilai daya maksimum (MPPT) daripada metode lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Kumar, G. Jain, and D. K. Palwalia, "Genetic algorithm based maximum power tracking in solar power generation," in *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Power and Advanced Control Engineering, ICPACE 2015*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICPACE.2015.7274907.
- [2] A. Sukma, P. : Desain, D. Simulasi, A. S. Pratiwi, S. Dwitya Nugraha, and E. Sunarno, "Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Converter untuk Penyimpanan Energi pada Sistem Fotovoltaik (Design and Simulation of Bidirectional DC-DC Converter for Energy Storage in Photovoltaic System)," 2020.
- [3] J. E. Elektro, H. B. Nurjaman, and T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga." [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- [4] J. Y. Shi, F. Xue, Z. J. Qin, W. Zhang, L. T. Ling, and T. Yang, "Improved global maximum power point tracking for photovoltaic system via cuckoo search under partial shaded conditions," *Journal of Power Electronics*, vol. 16, no. 1, pp. 287–296, Jan. 2016, doi: 10.6113/JPE.2016.16.1.287.
- [5] P. Sulistomo, I. Setiawan, and M. Facta, "IMPLEMENTASI PENGENDALIAN SISTEM PENGISIAN/PENGOSONGAN BATERAI PADA SISTEM PHOTOVOLTAIC STAND-ALONE MENGGUNAKAN BIDIRECTIONAL CONVERTER DENGAN METODE PROPORTIONAL-INTEGRAL BERBASIS MIKROKONTROLER DSPIC30F4011."
- [6] W. Karni¹, I. Nyoman, W. Satiawan², I. Bagus, and F. Citarsa³, "RANCANG BANGUN BUCK-BOOST CONVERTER SEBAGAI REGULATOR TEGANGAN KELUARAN PADA PANEL SURYA Design of Buck-Boost Converter for Controlling Output Voltage of Solar Panel."
- [7] H. Shayeghi, S. Pourjafar, and F. Sedaghati, "A buck-boost converter; design, analysis and implementation suggested for renewable energy systems," *Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 1–14, 2020, doi: 10.22068/IJEEE.17.2.1862.
- [8] O. Elbaksawi, "Design of Photovoltaic system using Buck-Boost converter Based on Incremental Conductance MPPT with PID Controller."
- [9] M. Leuca, D. Kadarnis, and A. Hamzah, "DESAIN DAN SIMULASI MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PERTURB AND OBSERVE (P&O) DENGAN KENDALI ARDUINO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN KECEPATAN RENDAH."
- [10] P. K. Pathak and A. K. Yadav, "Design of battery charging circuit through intelligent MPPT using SPV system," *Solar Energy*, vol. 178, pp. 79–89, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.solener.2018.12.018.
- [11] H. Chee Yang, J. Al-Fattah Yahaya, dan Asmarashid Ponniran, and K. P. KUNCI MPPT Pengisian Baterai Energi Surya Panel MATLAB, "Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Canggih Studi Algoritma MPPT untuk Sistem Pengisian Baterai Tenaga Surya," 2022.