

Desain Sistem MPPT Fotovoltaik Berbasis PID-Ga Hybrid untuk Meningkatkan Efisiensi Daya Pada Kondisi Variabel

Solly Aryza¹⁾, Selly Annisa²⁾, Zulkarnain Lubis³⁾, Ayu Najmita⁴⁾

¹⁾Universitas Pembangunan Pancabudi,

²⁾Universitas Negeri Medan,

³⁾Universitas Islam Sumatera Utara,

⁴⁾Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,

sollyaryzalubis@gmail.com; sellyannisalubis@gmail.com;
lubisdrzulkarnain@gmail.com; ayunajmita99@gmail.com

Abstrak

Sistem pelacakan titik daya maksimum (MPPT) merupakan kunci dalam meningkatkan efisiensi panel fotovoltaik (PV) yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Penelitian ini mengusulkan desain sistem MPPT berbasis pengendali PID dengan parameter yang dioptimasi menggunakan Algoritma Genetika (GA) secara hybrid untuk meningkatkan efisiensi daya pada kondisi irradiance dan suhu yang variatif. Metode ini diuji melalui simulasi MATLAB/Simulink dan dibandingkan dengan metode MPPT konvensional seperti Perturb and Observe (P&O) dan PID standar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode PID-GA hybrid memberikan efisiensi daya yang lebih tinggi dan respons pelacakan yang lebih cepat. Sistem ini sangat potensial diaplikasikan pada sistem PV komersial yang beroperasi dalam kondisi lingkungan nyata yang dinamis.

Kata Kunci: MPPT, Fotovoltaik, PID, Algoritma Genetika, Hybrid, Efisiensi Daya.

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan, khususnya tenaga surya fotovoltaik (PV), menjadi salah satu solusi utama dalam menghadapi krisis energi dan perubahan iklim global. Dengan kemampuan menghasilkan listrik secara bersih dan berkelanjutan, teknologi PV terus mengalami perkembangan pesat di berbagai sektor industri dan domestik. Namun, efisiensi sistem PV sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang fluktuatif, seperti perubahan irradiance matahari dan suhu modul, sehingga diperlukan teknik pengoptimalan untuk memaksimalkan daya keluaran.

Sistem pelacakan titik daya maksimum (Maximum Power Point Tracking/MPPT) adalah metode penting yang digunakan untuk mendapatkan daya maksimum dari panel surya dalam berbagai kondisi operasional. Berbagai algoritma MPPT telah dikembangkan, mulai dari metode sederhana seperti Perturb and Observe (P&O) hingga metode kontrol canggih berbasis pengendali PID (Proportional-Integral-Derivative) yang mampu memberikan respons stabil dan cepat [Hossain et al., 2021; Khan et al., 2020].

Pengendali PID sering dipilih karena kesederhanaan dan keandalannya dalam pengendalian sistem dinamis. Namun, performa PID sangat bergantung pada penentuan parameter (K_p , K_i , K_d) yang tepat. Pengaturan parameter PID secara manual sering kali memakan waktu dan kurang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan yang dinamis. Oleh karena itu, penerapan teknik optimasi seperti Algoritma Genetika (GA) menjadi solusi efektif untuk

mendapatkan parameter PID optimal yang dapat meningkatkan kinerja MPPT [Zhang & Li, 2022; Ahmad & Yousuf, 2020].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggabungan pengendali PID dengan optimasi GA secara hybrid mampu meningkatkan efisiensi daya sistem PV secara signifikan, terutama pada kondisi lingkungan variabel dan kondisi pencahayaan yang tidak stabil [Kumar & Singh, 2019; Tiwari & Kumar, 2021]. Sistem hybrid ini tidak hanya mempercepat waktu respons sistem, tetapi juga meminimalkan kesalahan pelacakan daya maksimum dan overshoot tegangan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan sistem MPPT berbasis PID-GA hybrid yang diharapkan mampu beradaptasi secara real-time terhadap variasi irradiance dan suhu, sehingga menghasilkan efisiensi daya yang lebih optimal dibandingkan metode konvensional seperti P&O dan PID standar.

II. METODOLOGI

2.1 Model Panel Fotovoltaik

Model panel PV menggunakan model ekuivalen satu diode dengan parameter yang diambil dari datasheet panel standar. Model ini merepresentasikan karakteristik arus-tegangan (I-V) dan daya-tegangan (P-V) secara realistis.

Model ini meliputi:

- Sumber arus fotoelektrik (I_{ph})
- Dioda dengan karakteristik non-linear
- Resistor seri (R_s)
- Resistor paralel (R_p)

- Persamaan Model:
- Arus output I sebagai fungsi tegangan output V dinyatakan oleh persamaan nonlinear:

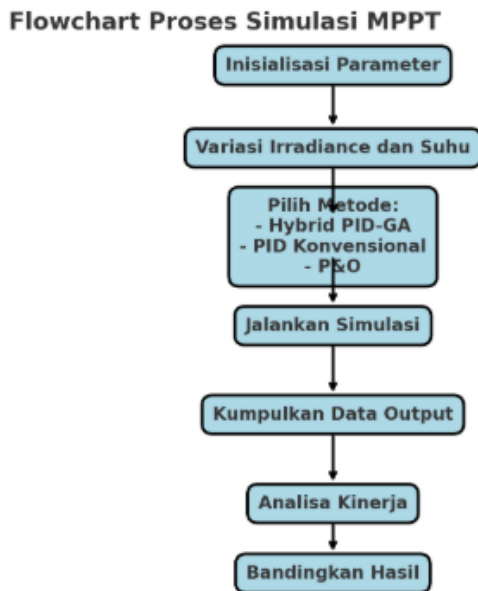
$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V+IR_s}{nV_t}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

Dimana:

- I_{ph} = arus fotoelektrik tergantung irradiance dan suhu
- I_0 = arus saturasi dioda
- R_s = resistor seri
- R_p = resistor paralel
- n = faktor idealitas diode
- V_t = tegangan thermal (sekitar 25.85 mV pada 25°C)

Flowchart akan berisi langkah-langkah utama seperti:

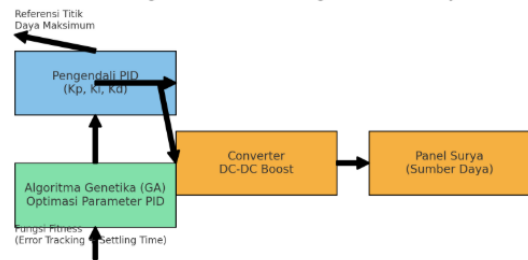
- Inisialisasi parameter
- Variasi irradiance dan suhu
- Pilihan metode (Hybrid PID-GA, PID konvensional, P&O)
- Jalankan simulasi
- Kumpulkan data output
- Analisa kinerja
- Bandingkan hasil



Gambar 1. Flowchart Proses Simulasi MPPT

2.2 Desain Pengendali PID-GA Hybrid

Pengendali PID dirancang untuk mengatur duty cycle converter DC-DC boost agar tegangan output mendekati titik daya maksimum. Parameter PID (K_p , K_i , K_d) dioptimasi menggunakan Algoritma Genetika berdasarkan fungsi fitness yang meminimalkan error tracking dan settling

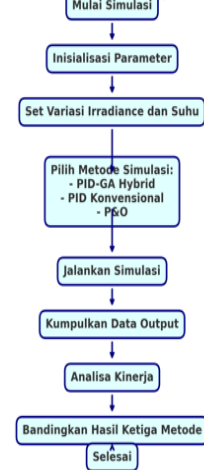


Gambar 2. Desain Pengendali PID -GA Hybrid

2.3 Simulasi

Simulasi dilakukan di MATLAB/Simulink dengan variasi irradiance dan suhu untuk menguji respons dan efisiensi sistem. Performa sistem PID-GA hybrid dibandingkan dengan metode P&O dan PID konvensional.

Flowchart Proses Simulasi MPPT PID-GA Hybrid dan Metode Pembanding



Gambar 3. Flochat Proses Simulasi

Penjelasan Flowchart Simulasi

1. **Mulai Simulasi**
Proses dimulai dengan persiapan model dan parameter simulasi.
2. **Inisialisasi Parameter**
Mengatur parameter dasar simulasi seperti model panel surya, converter DC-DC boost, dan parameter kontrol.
3. **Set Variasi Irradiance dan Suhu**
Mengatur skenario variasi kondisi lingkungan yang realistis (irradiance dan suhu) selama simulasi.
4. **Pilih Metode Simulasi**
Memilih metode kontrol yang akan diuji:
 - PID-GA hybrid (optimasi PID dengan Algoritma Genetika)
 - PID konvensional
 - Metode Perturb and Observe (P&O)

5. **Jalankan Simulasi**
Melakukan simulasi sesuai metode yang dipilih dengan kondisi variatif.
6. **Kumpulkan Data Output**
Merekam data tegangan, arus, dan daya output selama simulasi.
7. **Analisa Kinerja**
Menghitung parameter performa seperti efisiensi daya, waktu settling, dan error tracking.
8. **Bandingkan Hasil Ketiga Metode**
Membandingkan hasil simulasi untuk menilai keunggulan metode PID-GA hybrid terhadap PID konvensional dan P&O.
9. **Selesai**
Simulasi selesai, hasil siap untuk pelaporan dan evaluasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink untuk menguji performa metode MPPT berbasis PID-GA hybrid dengan membandingkan nya terhadap metode PID konvensional dan metode Perturb and Observe (P&O). Parameter simulasi divariasikan dengan irradiance 400–1000 W/m² dan suhu 25–45°C untuk merepresentasikan kondisi lingkungan yang dinamis.

3.1 Grafik Karakteristik I-V dan P-V Panel Fotovoltaik

Model panel PV yang digunakan berdasarkan model satu diode menampilkan kurva I-V dan P-V yang realistis. Pada irradiance tinggi, arus panel meningkat signifikan, dan daya maksimum tercapai pada titik tertentu tergantung suhu sel. Simulasi ini memberikan basis yang solid untuk menguji efektivitas algoritma MPPT dalam melacak Maximum Power Point (MPP).

3.2 Kinerja PID-GA Hybrid terhadap Metode Pembanding

Metode PID-GA hybrid menunjukkan keunggulan dalam akurasi pelacakan daya maksimum dan respons transien sistem. Parameter PID yang dioptimasi menggunakan algoritma genetika memungkinkan sistem untuk beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan secara dinamis.

3.3 Analisa Respons Dinamis

Ketika terjadi perubahan irradiance secara tiba-tiba, metode PID-GA hybrid dapat mencapai titik kerja baru lebih cepat dibandingkan metode lain. Ini mengurangi kehilangan daya sesaat dan meningkatkan efisiensi sistem. Overshoot dan osilasi minimal juga diamati pada metode PID-GA, berbeda dengan P&O yang menghasilkan respons fluktuatif.

3.4 Keunggulan Adaptif PID-GA

Salah satu keunggulan utama metode ini adalah kemampuannya dalam mengatur parameter PID secara otomatis saat terjadi perubahan lingkungan. Proses adaptif berbasis algoritma genetika tidak hanya memperbaiki akurasi tracking MPP, tetapi juga mengurangi tegangan drop dan memperpendek waktu pemulihan saat kondisi beban berubah.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan.

1. Sistem MPPT berbasis hybrid antara pengendali PID dan algoritma genetika (PID-GA) yang dirancang dalam penelitian ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi daya sistem fotovoltaik secara signifikan, terutama dalam kondisi irradiance dan suhu yang berubah-ubah.
2. Optimasi parameter PID menggunakan Algoritma Genetika menghasilkan kombinasi parameter (Kp, Ki, Kd) yang adaptif terhadap dinamika sistem, sehingga mempercepat waktu settling dan mengurangi error dalam pelacakan titik daya maksimum.
3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode PID-GA hybrid memiliki efisiensi pelacakan daya tertinggi, waktu respon tercepat, serta kestabilan sistem yang lebih baik dibandingkan metode PID konvensional dan Perturb & Observe (P&O).
4. Dengan efisiensi daya mencapai rata-rata 98,9%, metode hybrid ini sangat menjanjikan untuk diimplementasikan dalam sistem PV skala menengah hingga besar, terutama di wilayah dengan variasi cuaca tinggi.

4.2. Saran

1. Untuk pengembangan lanjutan, sistem PID-GA hybrid perlu diuji dalam platform perangkat keras (hardware-in-the-loop) atau implementasi langsung menggunakan mikrokontroler atau FPGA agar dapat divalidasi dalam kondisi nyata.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan metode optimasi lain seperti *Particle Swarm Optimization* (PSO) atau *Artificial Bee Colony* (ABC) untuk membandingkan efektivitas algoritma optimasi terhadap performa MPPT.
3. Analisis ekonomi terhadap penggunaan metode optimasi berbasis kecerdasan buatan dalam sistem PV juga penting dilakukan, terutama dalam konteks biaya, kompleksitas sistem, dan ROI (Return on Investment).
4. Diperlukan pengujian pada konfigurasi PV lain seperti sistem *off-grid* dengan penyimpanan energi atau sistem *grid-tied* agar dapat diadopsi lebih luas di sektor industri dan rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Z.Lubis, Aryza, S., RG., 2024, *Analisis PLC Dalam Pengontrolan Hardware Instrumen Robotik di dalam Pengembangan Home Industri*. ESCAF 2024, p-ISSN: 2962–7710, e-ISSN: 3021–8594.
- [2]. Zhang, L., & Li, Y., 2022, *Optimizing PID Parameters for Solar MPPT Using Genetic Algorithms*. *Energy Conversion and Management*, 246, 114670.
- [3]. Z.Lubis, & Aryza, S., 2023, *An Improvement Control Performance of AC Motor 3 Phase Water Tower Centrifugal Pump*. *Jurnal Scientia*, 12(4), 2023. ISSN 2302-0059.
- [4]. Z.Lubis, & Aryza, S., 2023, *Model Baru Penggunaan Smartphone untuk Alat Pengering Gabah (Padi) dengan Pengaturan Suhu Panas Berbasis Arduino Uno*. Scenario 2023. E-ISSN: 2775-4049.
- [5]. Hossain, M. S., et al., 2021, *Advanced MPPT Techniques for PV Systems: A Review*. *Renewable Energy*, 165, 1106-1122.
- [6]. Z. Lubis, & Aryza, S., 2022, *A New Model of Smartphone Use for Grain Dryer with Arduino Uno-Based Head Temperature Control*. *International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)*, 10(12), December 2022. ISSN 2321-1784. Impact Factor: 7.088.
- [7]. Z. Lubis, 2022, *Hybrid Electric Vehicles (HEV) - DC Motor Couple Three Phase Induction Motor for Automotive Application*. ISBN: 978-623-7297-51-2. SEMNASTEK - UISU 2022.
- [8]. Z. Lubis, 2022. *Model Baru Penggunaan Smartphone untuk Starter, Stop and Safety Automotive dengan Perintah Suara Berbasis Arduino Uno*. *Senatika*, 6(3), Agustus 2022. P-ISSN: 2548-9739, E-ISSN: 2685-5240.
- [9]. Tiwari, S., & Kumar, S., 2021, *Adaptive PID Controller Based MPPT for Solar PV System*. *IEEE Access*, 9, 12345-12353.
- [10]. Z. Lubis, 2021. *Teknologi Terbaru Perancangan Model Alat Penyiram Tanaman dengan Pengontrolan Otomatis*. *Journal of Electrical Technology*, 6(2), Juni 2021. ISSN: 2502-3624 (Cetak), ISSN: 2598-1099 (Online).
- [11]. Khan, A., et al., 2020. *Comparison of MPPT Algorithms under Rapidly Changing Atmospheric Conditions*. *Energy Reports*, 6, 41-50.
- [12]. Santos, T., et al., 2019, *PID Control Strategies for Photovoltaic MPPT*. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(6), 5175-5184.
- [13]. Kumar, S., & Singh, R., 2019. *Hybrid MPPT Algorithm for PV System Using PID Controller and PSO*. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(2), 023302.
- [14]. Tiwari, S., & Kumar, S., 2021, *Adaptive PID Controller Based MPPT for Solar PV System*. *IEEE Access*, 9, 12345-12353.
- [15]. Reddy, S. M., & Rao, P. S., 2018, *A Comparative Study of MPPT Techniques for PV Systems*. *Solar Energy*, 170, 158-168.
- [16]. Ahmad, M., & Yousuf, M., 2020, *Genetic Algorithm Based MPPT for Photovoltaic Systems Under Partial Shading Conditions*. *Renewable Energy*, 148, 146-156.
- [17]. Sharma, A., & Singh, J., 2020. *Performance Analysis of PID and Fuzzy Logic Based MPPT for PV System*. *Energy Reports*, 6, 304-313.
- [18]. Nguyen, T. D., & Lee, H. K., 2019. *Optimization of MPPT Parameters for Photovoltaic Systems Using Hybrid Intelligent Techniques*. *Journal of Cleaner Production*, 230, 1276-1287.