UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Power Optimization of Photovoltaic Systems Using a Single-Axis Solar Tracker and Maximum Power Point
Tracking Based on Adaptive Modified Perturb and Observe**
Lanang Timur Anjo, Dr. Ir. Fahmizal, S.T., M.Sc., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

This research presents the integration of mechanical and electrical optimization strategies to enhance the energy extraction performance of photovoltaic (PV) panels. The static installation position of conventional PV systems and the highly fluctuating nature of solar irradiation and temperature result in suboptimal power generation. To address these limitations, a Real-Time Clock (RTC) based single-axis solar tracker is implemented as the mechanical optimization stage, while a Maximum Power Point Tracking (MPPT) controller serves as the electrical optimization stage. The output power of a PV panel may suffer from significant oscillations and tracking inefficiency due to the dynamic environmental conditions and the inherent weakness of conventional control algorithms. Implementing a combined solar tracker and adaptive MPPT algorithm can improve both tracking speed and steady-state performance by minimizing power ripple and accelerating convergence to the Maximum Power Point (MPP).

The electrical MPPT controller employs the Adaptive Modified Perturb and Observe (AM-P&O) algorithm implemented on a SEPIC Converter topology to overcome the power oscillation drawback of the conventional Perturb and Observe (P&O) algorithm. The AM-P&O algorithm dynamically adjusts its perturbation step size, enlarging the step when the operating point is far from the MPP to accelerate tracking, and shrinking the step close to zero upon reaching the MPP peak to dampen oscillations. The research methodology is conducted both analytically and experimentally, utilizing MATLAB/Simulink for simulation modeling and a 10 Wp hardware prototype for experimental validation.

The integration of the single-axis solar tracker successfully increases the average daily irradiation received by the PV panel by 34.99%, from 605.27 W/m^2 to 817.09 W/m^2. On the electrical side, the AM-P&O algorithm is empirically proven superior to the conventional P&O algorithm, reducing power ripple by 94.6%, from 1.12 W to 0.06 W, and accelerating tracking time by 44.4%, from 0.18 seconds to 0.10 seconds. The higher phase margin achieved through adaptive step adjustment also improves damping characteristics, resulting in a more stable output power profile. The integrated system achieves an overall power conversion efficiency of 85.65%, demonstrating the effectiveness of combining mechanical solar tracking with adaptive electrical MPPT control for comprehensive PV performance optimization.

Key words: Photovoltaic, Solar Tracker, MPPT, AM-P&O, SEPIC Converter

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Power Optimization of Photovoltaic Systems Using a Single-Axis Solar Tracker and Maximum Power Point
Tracking Based on Adaptive Modified Perturb and Observe**
Lanang Timur Anjo, Dr. Ir. Fahmizal, S.T., M.Sc., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRAK

Penelitian ini menyajikan integrasi strategi optimasi mekanis dan elektris untuk meningkatkan kinerja ekstraksi energi pada panel fotovoltaik (PV). Konfigurasi statis pada sistem PV konvensional serta sifat iradiasi matahari dan suhu yang sangat fluktuatif mengakibatkan pembangkitan daya menjadi tidak optimal. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, *single-axis solar tracker* berbasis *Real-Time Clock* (RTC) diimplementasikan sebagai tahap optimasi mekanis, sementara pengontrol *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berfungsi sebagai tahap optimasi elektris. Daya keluaran dari panel PV dapat mengalami osilasi yang signifikan dan inefisiensi pelacakan akibat kondisi lingkungan yang dinamis dan kelemahan bawaan dari algoritma kontrol konvensional. Implementasi gabungan antara *solar tracker* dan algoritma MPPT adaptif dapat meningkatkan kecepatan pelacakan maupun kinerja *steady-state* dengan meminimalkan *power ripple* dan mempercepat konvergensi menuju *Maximum Power Point* (MPP).

MPPT dengan algoritma *Adaptive Modified Perturb and Observe* (AM-P&O) yang diimplementasikan pada topologi konverter SEPIC untuk mengatasi kelemahan osilasi daya pada algoritma *Perturb and Observe* (P&O) konvensional. Algoritma AM-P&O secara dinamis menyesuaikan *perturbation step size*-nya, memperbesar langkah ketika titik operasi berada jauh dari MPP untuk mempercepat pelacakan, dan mengecilkan langkah mendekati nol saat mencapai puncak MPP untuk meredam osilasi. Metodologi penelitian dilakukan baik secara analitis maupun eksperimental, menggunakan MATLAB/Simulink untuk pemodelan simulasi dan prototipe perangkat keras 10 Wp untuk validasi eksperimental.

Integrasi *single-axis solar tracker* berhasil meningkatkan rata-rata iradiasi harian yang diterima oleh panel PV sebesar 34,99%, dari 605,27 W/m^2 menjadi 817,09 W/m^2. Pada sisi elektris, algoritma AM-P&O secara empiris terbukti lebih unggul dibandingkan algoritma P&O konvensional, di mana *power ripple* berkurang sebesar 94,6%, dari 1,12 W menjadi 0,06 W, dan waktu pelacakan menjadi lebih cepat sebesar 44,4%, dari 0,18 detik menjadi 0,10 detik. *Phase margin* yang lebih tinggi yang dicapai melalui penyesuaian langkah adaptif juga meningkatkan karakteristik redaman, sehingga menghasilkan profil daya keluaran yang lebih stabil. Sistem terintegrasi ini mencapai efisiensi konversi daya keseluruhan sebesar 85,65%, yang menunjukkan efektivitas penggabungan *solar tracking* mekanis dengan kontrol MPPT elektris adaptif untuk optimasi kinerja PV secara komprehensif.

Kata kunci: Photovoltaic, Solar Tracker, MPPT, AM-P&O, SEPIC Converter