

INTISARI

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) telah meningkatkan efisiensi sistem *solar tracker* dalam mengoptimalkan penyerapan energi surya hingga 25–35% dibandingkan sistem statis. Namun, penerapan IoT pada sistem mandiri berbasis baterai menimbulkan tantangan konsumsi daya yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konsumsi daya pada *solar tracker* berbasis mikrokontroler ESP32 dengan menerapkan teknik *Dynamic Frequency Scaling* (DFS) dan *Sleep Mode* Adaptif. DFS diaktifkan secara dinamis berdasarkan nilai intensitas cahaya (lux), khususnya ketika nilai lux mencukupi, posisi servo tidak berubah selama minimal dua menit, dan waktu operasional masih di bawah pukul 17.00. Sementara itu, *Sleep Mode* Adaptif diterapkan ketika sistem berada dalam kondisi tidak aktif, dengan mempertimbangkan waktu operasional dan penurunan intensitas cahaya, sehingga sistem secara otomatis masuk ke mode daya rendah menjelang malam. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan pengujian langsung terhadap konsumsi daya pada tiga kondisi operasional: mode normal, DFS aktif, dan sleep mode. Data dikumpulkan menggunakan sensor INA219 dan volt-ampere meter, serta dianalisis untuk menghitung efisiensi daya secara terpisah antara ESP32 dan sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa DFS mampu menurunkan konsumsi daya mikrokontroler ESP32 hingga 20,76%, sedangkan *Sleep Mode* Adaptif memberikan efisiensi konsumsi daya sistem secara keseluruhan sebesar 54,06%. Temuan ini menunjukkan bahwa penggabungan kedua teknik tersebut efektif dalam memperpanjang masa pakai baterai dan meningkatkan efisiensi sistem *solar tracker* berbasis IoT.

Kata kunci: penjajakan matahari, reduksi daya, skala frekuensi dinamis, mode tidur adaptif, ESP32.

ABSTRACT

The advancement of the Internet of Things (IoT) has significantly improved the efficiency of solar tracker systems, increasing solar energy absorption by 25-35% compared to static systems. However, IoT implementation in battery-powered standalone systems presents challenges due to increased power consumption. This research aims to optimize power usage in an ESP32-based dual-axis solar tracker by applying Dynamic Frequency Scaling (DFS) and Adaptive Sleep Mode. DFS is dynamically activated based on light intensity (lux), particularly when the lux value is sufficient, the servo position remains unchanged for at least two minutes, and the time is before 17:00. Adaptive Sleep Mode is triggered when the system becomes inactive, based on both operational time and reduced light intensity, allowing the system to automatically enter a low-power state during nighttime. The study uses a quantitative experimental method by measuring power consumption under three operating conditions: normal mode, DFS-enabled, and sleep mode. Data were collected using INA219 sensors and a volt-ampere meter, then analyzed to calculate power efficiency separately for the ESP32 and the overall system. Results show that DFS reduces ESP32 power consumption by 20.76%, while Adaptive Sleep Mode improves total system efficiency by 54.06%. These results demonstrate the effectiveness of combining DFS and Adaptive Sleep Mode in extending battery life and improving the energy efficiency of IoT-based solar tracking systems.

Key words: Solar Tracker, Power Optimization, Dynamic Frequency Scaling (DFS), Adaptive Sleep Mode, ESP32