

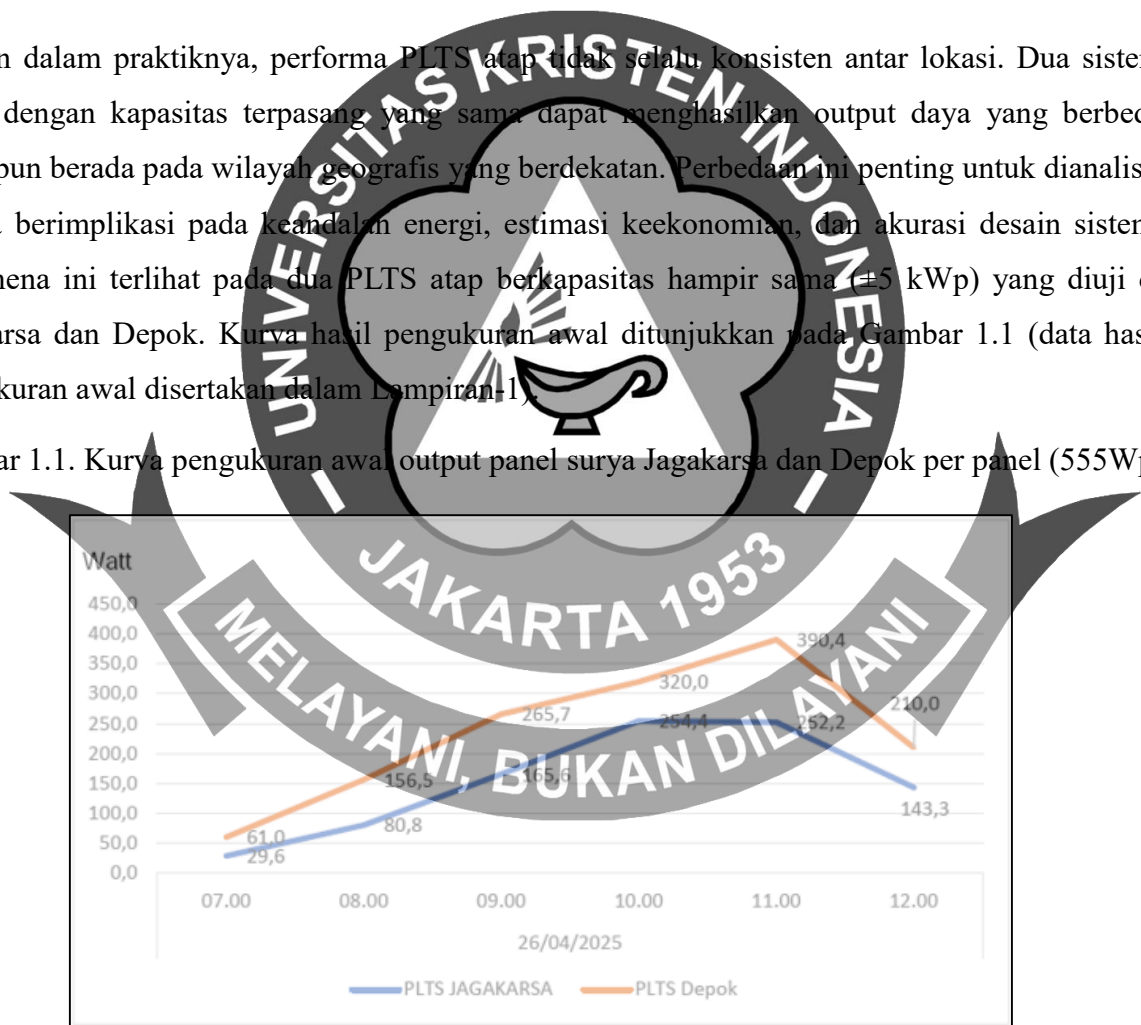
# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial di Indonesia karena karakteristik iklim tropis yang menyediakan iradiasi tinggi sepanjang tahun. Sejalan dengan target peningkatan bauran energi bersih, pemanfaatan PLTS atap mengalami pertumbuhan pesat karena kemudahan instalasi, biaya yang semakin murah, dan kemampuan menghasilkan energi secara desentralistik.

Namun dalam praktiknya, performa PLTS atap tidak selalu konsisten antar lokasi. Dua sistem PLTS dengan kapasitas terpasang yang sama dapat menghasilkan output daya yang berbeda meskipun berada pada wilayah geografis yang berdekatan. Perbedaan ini penting untuk dianalisis karena berimplikasi pada keandalan energi, estimasi keekonomian, dan akurasi desain sistem. Fenomena ini terlihat pada dua PLTS atap berkapasitas hampir sama ( $\approx 5$  kWp) yang diuji di Jagakarsa dan Depok. Kurva hasil pengukuran awal ditunjukkan pada Gambar 1.1 (data hasil pengukuran awal disertakan dalam Lampiran-1).

Gambar 1.1. Kurva pengukuran awal output panel surya Jagakarsa dan Depok per panel (555Wp)



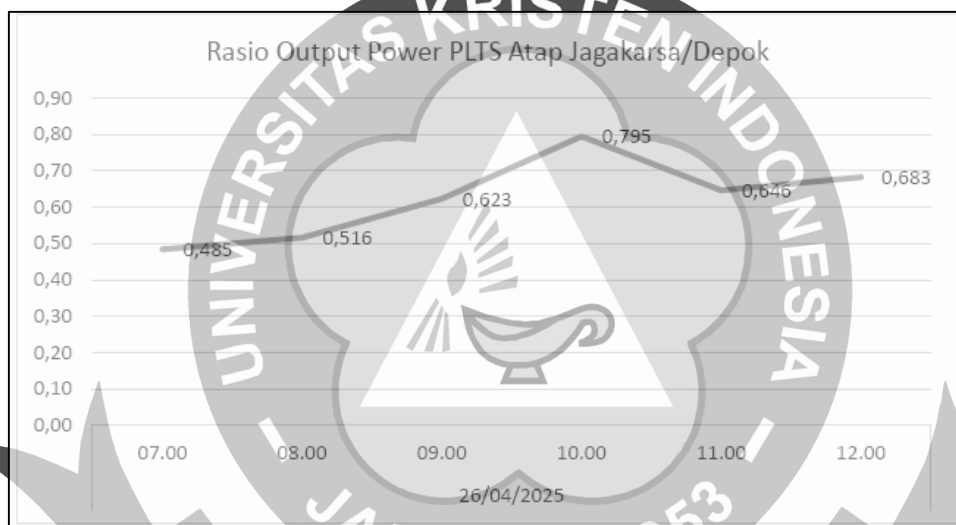
Sumber: Hasil Pengukuran langsung tanggal 26/04/2025

Dari Gambar 1.1 terlihat bahwa daya keluaran panel surya di Depok secara konsisten lebih tinggi dibandingkan Jagakarsa pada seluruh rentang waktu pengukuran. Perbedaan paling mencolok muncul pada periode iradiasi puncak (sekitar pukul 11.00–12.00), di mana panel di Depok mencapai daya maksimum signifikan lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat faktor

lingkungan maupun faktor sistem yang menyebabkan panel di Depok bekerja lebih dekat ke titik daya maksimumnya (MPP).

Konsistensi pola ini menunjukkan bahwa perbedaan bukan disebabkan oleh anomali sementara, tetapi merupakan indikasi bahwa karakter lokasi, konfigurasi sistem, atau performa MPPT memberikan kontribusi signifikan terhadap disparitas daya. Dengan demikian, data awal ini menjadi dasar untuk melakukan investigasi kuantitatif terhadap pengaruh iradiasi, suhu modul, konfigurasi string, serta respons dinamis MPPT pada kedua lokasi.

Gambar 1.2 Kurva rasio output panel surya Jagakarsa dan Depok per panel (555Wp)



Sumber: Hasil Pengukuran langsung tanggal 26/04/2025

Gambar 1.2 menunjukkan rasio daya panel Jagakarsa terhadap Depok yang berada hanya pada kisaran 48–79%, dengan rata-rata 63%. Fluktuasi rasio yang lebar ini mengindikasikan adanya faktor dinamis yang mempengaruhi performa sistem, seperti perubahan iradiasi cepat akibat pergerakan awan, perubahan suhu modul, atau respons MPPT yang berbeda pada setiap lokasi. Ketidakstabilan rasio memperkuat dugaan bahwa perbedaan keluaran tidak hanya ditentukan oleh rata-rata iradiasi atau orientasi panel, tetapi juga oleh transient response dari sistem MPPT terhadap kondisi iradiasi tropis yang berubah cepat.

Berdasarkan fenomena tersebut, diperlukan analisis kuantitatif untuk mengevaluasi kontribusi variabel seperti iradiasi, temperatur modul, konfigurasi string, dan terutama respons dinamis MPPT terhadap perbedaan output energi kedua PLTS. Hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang secara langsung membandingkan respons dinamis MPPT menggunakan data resolusi tinggi (1 detik) pada dua PLTS yang berlokasi dekat di wilayah tropis, sehingga penelitian ini memiliki urgensi ilmiah dan praktis.

## 1.2 Rumusan Masalah

- Bagaimana perbedaan desain sistem dan konfigurasi modul surya, meliputi orientasi, kemiringan, konfigurasi string, mempengaruhi daya keluaran dan performa PLTS di masing-masing lokasi?
- Bagaimana perbedaan karakteristik variabilitas iradiasi, temperatur, dan soiling pada PLTS atap di Jagakarsa dan Depok, dan seberapa besar perbedaan ini memengaruhi bentuk kurva I–V serta stabilitas operasi pada MPP?
- Bagaimana perbedaan respons dinamis MPPT pada kedua PLTS dalam menghadapi fluktuasi iradiasi cepat yang khas di wilayah tropis, ditinjau dari karakteristik *overshoot*, *tracking loss*, *recovery time*, dan stabilitas pencarian MPP?
- Bagaimana perbedaan tingkat efisiensi pelacakan MPP ( $\mu$ MPPT) antara kedua PLTS, terutama pada kondisi transien, dan apa implikasinya bagi stabilitas titik operasi PV?
- Seberapa besar kontribusi respons dinamis MPPT terhadap perbedaan energi hilang harian (*tracking loss*) antara PLTS Jagakarsa dan Depok?
- Faktor-faktor apa yang menyebabkan PLTS Depok menghasilkan energi lebih tinggi dibandingkan PLTS Jagakarsa, meskipun potensi iradiasi harian keduanya relatif sama?

## 1.3 Tujuan Penelitian

- Mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor lingkungan dan desain yang berkontribusi terhadap perbedaan output daya.
- Menganalisis dan membandingkan efisiensi MPPT serta respons dinamis sistem kedua PLTS terhadap fluktuasi iradiasi. Serta menganalisis perilaku dinamis MPPT (*tracking loss*, *overshoot*, *recovery time*) pada masing-masing lokasi.
- Mengkuantifikasi kontribusi kinerja MPPT terhadap perbedaan *yield* energi kumulatif. Memberikan rekomendasi untuk optimasi desain atau operasional berdasarkan temuan.

## 1.4 Batasan Penelitian

- Penelitian ini difokuskan secara eksklusif pada analisis komparatif dua sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap dengan kapasitas terpasang yang sama, yang berlokasi di Jagakarsa, Jakarta Selatan dan di pinggiran kota Depok. Temuan dari penelitian ini mungkin tidak dapat digeneralisasi secara langsung ke semua jenis PLTS atau ke semua kondisi geografis dan iklim tanpa studi lebih lanjut.

- Analisis berdasarkan data yang dikumpulkan dalam waktu tertentu, yang mungkin tidak mencakup semua variasi musiman.
- Kualitas analisis bergantung pada akurasi dan resolusi data dari sistem monitoring yang ada.
- Analisis terfokus pada iradiasi, suhu, bayangan, soiling, desain utama, dan kinerja MPPT; faktor minor lainnya tidak diinvestigasi mendalam.
- Analisis menggunakan model PV standar dan asumsi yang menyertainya, yang memiliki keterbatasan inheren.
- Fokus pada kinerja teknis, analisis ekonomi mendalam tidak termasuk.
- Penelitian ini tidak bertujuan mengidentifikasi algoritma MPPT yang digunakan oleh inverter, tetapi menganalisis respons dinamis yang tampak dari data empiris.

### 1.5 Manfaat Penelitian

- Memberikan kontribusi pada pengembangan dan pengetahuan di bidang teknik energi terbarukan, khususnya dalam pemahaman tentang efisiensi sistem PLTS di lingkungan tropis.
- Memperkaya literatur tentang pengaruh kondisi iklim lokal dan desain sistem terhadap output PLTS, yang masih minim di tingkat internasional.
- Menyediakan data empiris untuk validasi model performa dan respons MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dalam kondisi iradiasi yang fluktuatif.
- Menghasilkan rekomendasi teknis yang berguna bagi desainer dan instalatur sistem PLTS atap untuk memilih konfigurasi sistem, orientasi panel, dan inverter yang paling sesuai dengan karakteristik lingkungan lokal.
- Memberikan pemahaman kuantitatif tentang peran respons dinamis MPPT terhadap produksi energi, yang dapat dijadikan dasar untuk peningkatan perangkat lunak dan algoritma MPPT.
- Hasil penelitian dapat menjadi referensi untuk pengembangan algoritma MPPT yang lebih adaptif terhadap perubahan iradiasi cepat.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penyajian penelitian ini dibagi dalam beberapa bab dengan tujuan untuk memaparkan hasil penelitian secara sistematis. Secara garis besar, pembagian bab tersebut adalah sebagai berikut:

### 1) BAB 1: PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang masalah variasi output PLTS dan pentingnya energi surya, merumuskan masalah yang spesifik untuk dijawab dan tujuan penelitian, serta menguraikan batasan dan manfaat yang diharapkan.

### 2) BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Menyajikan teori fundamental terkait PLTS, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerjanya baik faktor design dan faktor lingkungan, prinsip kerja MPPT, serta merangkum penelitian terdahulu yang relevan untuk menempatkan studi ini dalam konteks ilmiah.

### 3) BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN

Mendeskripsikan pendekatan studi kasus komparatif, objek penelitian (dua PLTS), instrumen dan metode pengumpulan data (termasuk data resolusi tinggi), tahapan penelitian, serta teknik analisis data yang akan digunakan (statistik, pemodelan, analisis efisiensi MPPT).

### 4) BAB 4: HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan temuan dari analisis data, termasuk perbandingan karakteristik lingkungan, desain sistem, kinerja umum PLTS, analisis detail kinerja MPPT dan respons dinamis, serta diskusi mendalam mengenai kontribusi masing-masing faktor terhadap perbedaan output.

### 5) BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

Merangkum kesimpulan utama yang menjawab rumusan masalah, mengakui keterbatasan penelitian, dan memberikan saran praktis serta akademis untuk tindak lanjut.