

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi global yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir telah mendorong pencarian solusi energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu solusi utama adalah pemanfaatan energi terbarukan, seperti energi surya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS memanfaatkan panel fotovoltaik (PV) untuk mengonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Teknologi ini memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mengurangi emisi karbon, serta menyediakan sumber energi yang bersih dan terbarukan. Hal ini didukung oleh peraturan presiden nomor 22 tahun 2017 tentang rencana umum energi nasional (RUEN) yang menyatakan *roadmap* pengembangan energi nasional hingga tahun 2050, dengan prioritas utama yaitu peningkatan kapasitas energi terbarukan, pengurangan gas emisi rumah kaca, dan diversifikasi sumber energi untuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi dan batubara. Dengan adanya peraturan tersebut tentunya target penggunaan energi terbarukan semakin ditingkatkan, dan diimplementasikan secara berkelanjutan dengan cara peningkatan konversi energi bersih, diversifikasi energi, dan insentif energi untuk mencapai 23% di Tahun 2025 dan 31% di Tahun 2050.

Proses perubahan energi matahari menjadi listrik ini terjadi di sel surya yang biasa disebut efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik merupakan proses di mana energi cahaya matahari datang, yang mengenai permukaan sel surya yang diubah menjadi energi listrik. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya *output* yang dapat dihasilkan oleh panel surya yaitu intensitas cahaya matahari berpengaruh terhadap kinerja panel surya dalam menghasilkan energi listrik (Dimas Ady Pratama, 2018). Selain itu penurunan daya *output* juga dipengaruhi oleh adanya polutan, polutan ini dapat berupa kotoran burung, debu, dll. Masalah ini semakin penting di negara beriklim kering atau berdebu seperti Indonesia, serta di daerah perkotaan dengan tingkat polusi tinggi. Jika tidak ditangani, soiling tidak hanya menurunkan efisiensi PLTS tetapi juga dapat merusak panel secara fisik dalam jangka panjang.

Menurut studi yang dilakukan oleh Tinambunan (2023), efisiensi optimal panel surya adalah 20%, sedangkan Green *et al.* (2020) menunjukkan bahwa dalam kondisi ekstrem, *soiling* dapat menyebabkan penurunan efisiensi hingga 14,88%. Data dari beberapa PLTS di Indonesia menunjukkan bahwa penurunan produksi listrik akibat *soiling* dapat mencapai 40% dalam beberapa bulan jika tidak dibersihkan secara rutin (Hussain dkk, 2017). Pemantauan *soiling* umumnya dilakukan secara konvensional melalui inspeksi visual atau pengukuran daya keluaran panel secara berkala. Metode pemantauan konvensional ini memiliki keterbatasan dalam hal efektivitas dan akurasi. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan data sensor cuaca seperti kecepatan angin, curah hujan, kelembaban udara, dan suhu lingkungan untuk memprediksi tingkat *soiling*. Berdasarkan data tersebut, dapat dibangun sebuah sistem *monitoring* yang mampu memberikan informasi estimatif tentang tingkat *soiling* tanpa memerlukan sensor khusus yang mahal. Untuk mengatasi masalah ini, teknologi *soiling monitoring system* berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat digunakan untuk mendeteksi tingkat *soiling* secara *real-time* serta memberikan analisis prediktif terhadap dampaknya pada efisiensi panel surya. *Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi modern yang dirancang untuk mengoptimalkan pengguna internet terkoneksi secara aktif untuk mempermudah aktivitas sehari-hari menjadi lebih efektif dan praktis sehingga membuat pekerjaan manusia menjadi lebih mudah (Syahfitri, 2025). Di era digital seperti saat ini, penerapan sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT pada PLTS juga menghasilkan data dalam volume besar secara terus-menerus, seperti data kecepatan angin, curah hujan, kelembaban, suhu, dan konsentrasi debu yang terekam setiap saat. Data tersebut menyimpan potensi besar untuk menghasilkan estimasi tingkat *soiling* secara otomatis dan berkelanjutan. Namun, besarnya volume dan frekuensi data yang dihasilkan sering kali melebihi kapasitas operator untuk menganalisisnya secara manual, sehingga dibutuhkan suatu sistem yang mampu mengolah data sensor tersebut secara otomatis dan *real-time* untuk mendukung estimasi potensi *soiling*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian yang akan dilakukan akan disajikan pada poin selanjutnya :

1. Bagaimana merancang sistem *monitoring* untuk mendeteksi potensi *soiling* pada PLTS berbasis *Internet of Things*?
2. Bagaimana akurasi sensor cuaca dalam memperoleh parameter lingkungan yang digunakan untuk estimasi potensi *soiling*?
3. Bagaimana sistem memberikan estimasi potensi *soiling* berdasarkan parameter lingkungan yang diperoleh secara *real-time*?
4. Bagaimana kinerja komunikasi data sistem IoT dalam mengirimkan data sensor secara *real-time*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang diharapkan pada penelitian yang akan dilakukan disajikan dalam poin selanjutnya :

1. Merancang dan membangun sistem *monitoring soiling* PLTS berbasis data sensor lingkungan.
2. Menguji akurasi sensor dalam mengukur parameter lingkungan.
3. Mengevaluasi kemampuan sistem dalam memberikan estimasi potensi *soiling* berdasarkan data sensor lingkungan yang dipantau secara *real-time*.
4. Menguji kinerja komunikasi data sistem IoT, meliputi tingkat keberhasilan transmisi data dan kualitas sinyal jaringan.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai potensi terjadinya *soiling* sebagai dasar pengambilan keputusan pembersihan panel.
2. Meningkatkan efisiensi operasional plts dengan mengimplementasikan sistem pemantauan *soiling* yang lebih cepat dan ekonomis dibandingkan metode konvensional, dengan potensi akurasi yang dapat ditingkatkan lebih lanjut melalui kalibrasi sensor.

3. Mendukung peralihan ke energi bersih dan terbarukan melalui peningkatan efisiensi pada sistem plts.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya berfokus pada deteksi potensi *soiling* berdasarkan data lingkungan (cuaca), seperti intensitas debu, suhu, kelembaban, dan curah hujan, dan kecepatan angin.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari PLTS *trainer* di Laboratorium Listrik dan Pembangkitan daya Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember, sehingga hasilnya mungkin tidak sepenuhnya dapat digeneralisasikan untuk semua lokasi geografis.
3. Penelitian ini mengestimasi potensi *soiling* berdasarkan parameter lingkungan yang diperoleh dari sensor debu, suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan angin, dan arah angin. Penelitian ini tidak melakukan pengukuran langsung terhadap *soiling ratio* maupun massa debu pada permukaan panel surya.