

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi terbarukan, khususnya energi surya, semakin didorong oleh pemerintah sebagai bagian dari strategi untuk memperkuat ketahanan energi nasional serta mencapai target bauran energi baru terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, yang sesuai dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan. Selain itu, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 98 Tahun 2021 tentang Nilai Ekonomi Karbon mendorong industri untuk mengadopsi teknologi ramah lingkungan. Seiring dengan kemajuan infrastruktur Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia, inovasi dalam teknologi dan strategi operasional yang inovatif guna menjaga efisiensi serta keandalan sistem pembangkit, termasuk dalam menghadapi tantangan seperti *soiling* atau pengotoran permukaan panel surya.

Teknologi PLTS terus berkembang, namun efisiensinya sering terhambat oleh faktor-faktor eksternal salah satunya adalah *soiling*. *Soiling* mengacu pada penumpukan partikel debu, pasir, atau material lainnya pada permukaan panel surya. Penumpukan ini dapat menghalangi sinar matahari mencapai sel fotovoltaik, sehingga mengurangi kinerja panel surya untuk menghasilkan energi listrik secara optimal. Kerugian energi akibat *soiling* bisa melebihi 1% per hari jika permukaan modul tidak dibersihkan, yang secara kumulatif dapat menyebabkan penurunan efisiensi yang signifikan dalam jangka waktu bulanan atau tahunan (Ilse *et al.*, 2018). Oleh karena itu, implementasi sistem pemantauan *soiling* menjadi solusi untuk memastikan optimalisasi kinerja PLTS yang efisien.

Pengembangan sistem pemantauan *soiling* menjadi salah satu fokus utama dalam inovasi teknologi PLTS. Sistem pemantauan *soiling* merupakan teknologi yang dirancang untuk mendeteksi dan mengukur tingkat kontaminasi pada permukaan panel surya secara real-time. Implementasi sistem pemantauan *soiling* tidak hanya melibatkan pertimbangan teknis, tetapi juga harus memperhitungkan kondisi lingkungan di sekitar lokasi instalasi PLTS. Tingkat *soiling* sangat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan sekitar, seperti kelembaban, suhu, curah hujan, serta arah dan kecepatan angin. Akumulasi debu di daerah pesisir

cenderung lebih signifikan karena angin kencang dapat membawa lebih banyak partikel debu ke permukaan panel surya, sehingga memperparah tingkat soiling yang terjadi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis korelasi antara faktor lingkungan dan tingkat soiling yang terukur untuk memahami kondisi yang dapat mempercepat akumulasi debu pada panel surya. Selain itu, kinerja sistem PLTS dipengaruhi oleh kebersihan panel surya; ketika panel surya mengalami penumpukan debu, maka daya output yang dihasilkan PLTS akan mengalami penurunan.

Efisiensi suatu PLTS dapat diukur melalui parameter *Performance Ratio* (PR), yaitu perbandingan antara energi aktual yang dihasilkan secara nyata dengan energi teoretis yang seharusnya dihasilkan jika semua komponen bekerja dalam kondisi ideal. PR menjadi indikator penting dalam menilai performa keseluruhan dari sistem PLTS. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai PR adalah *soiling loss*, yaitu penurunan kinerja akibat akumulasi debu atau partikel lain pada permukaan panel surya. Penggunaan sistem pemantauan *soiling* berbasis sensor dan *Internet of Things* (IoT) dapat memberikan informasi secara *real-time*, sehingga mendukung strategi jadwal pembersihan panel yang dapat diatur secara efisien dan tepat.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengeksplorasi kinerja PLTS dengan membandingkan energi aktual yang dihasilkan terhadap energi yang diharapkan di bawah kondisi standar (STC). Aidara *et al.* 2025 melakukan analisis *Performance Ratio* (PR) terhadap daya energi yang dipengaruhi oleh penumpukan debu pada pembangkit listrik tenaga surya Diass di Senegal dan menemukan bahwa nilai PR mencapai 81%, menunjukkan bahwa PLTS Diass memiliki kinerja yang baik secara keseluruhan. Namun, selama periode tertentu, yaitu dari 6 Februari hingga 13 Mei 2022, PR turun hingga mencapai 67% akibat penumpukan debu yang signifikan. Penelitian yang dilakukan oleh Hidayatullah *et al.* 2024 menunjukkan bahwa adanya penumpukan debu pada permukaan panel surya menyebabkan penurunan efisiensi dan daya keluaran PLTS. Daya yang dihasilkan oleh panel surya di PT PLN Indonesia Power UBP Suralaya sebelum dibersihkan adalah 727,8 kW, sedangkan setelah dibersihkan meningkat menjadi 753,1 kW. Persentase penurunan

daya akibat soiling mencapai 3,476%, yang menunjukkan bahwa soiling memiliki dampak signifikan terhadap kinerja PLTS (Hidayatullah *et al.*, 2024).

Seiring dengan bertambahnya kapasitas terpasang PLTS di Indonesia, dibutuhkan pendekatan yang inovatif untuk memastikan efisiensi dan kinerja sistem pembangkit tetap optimal. Oleh karena itu, analisis menyeluruh terhadap *Performance Ratio* (PR) dari implementasi sistem pemantauan *soiling* menjadi sangat relevan dalam konteks pengembangan energi berkelanjutan, terutama pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang cara mengoptimalkan potensi teknologi dalam mendukung keberlanjutan sistem PLTS di Indonesia, serta memberikan rekomendasi strategis bagi para pengelola PLTS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa permasalahan yang akan menjadi fokus utama penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh faktor lingkungan terhadap tingkat *soiling* pada PLTS?
2. Bagaimana pengaruh tingkat *soiling* terhadap nilai *Performance Ratio* (PR) pada PLTS?
3. Bagaimana optimalisasi pembersihan panel surya berdasarkan data dari sistem pemantauan *soiling*?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh faktor lingkungan terhadap tingkat *soiling* pada PLTS.
2. Mengetahui pengaruh tingkat *soiling* terhadap nilai *Performance Ratio* (PR) pada PLTS.
3. Memberikan rekomendasi optimalisasi pembersihan panel surya berdasarkan data *real-time* dari sistem pemantauan *soiling*.

1.4 Manfaat

Berdasarkan uraian latar belakang, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian dapat memberikan kontribusi ilmiah di bidang energi terbarukan melalui optimalisasi PLTS menggunakan sistem pemantauan *soiling*.
2. Mendukung upaya pengurangan emisi karbon dan optimalisasi penggunaan sumber daya alam dengan meningkatkan efisiensi PLTS melalui sistem pemantauan *soiling*.
3. Harga energi yang dihasilkan menjadi lebih terjangkau, karena penerapan sistem pemantauan *soiling* yang efektif dapat membantu menurunkan biaya operasional PLTS.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada pengaruh tingkat *soiling* terhadap *Performance Ratio* (PR) pada PLTS, tanpa membahas secara rinci tentang desain atau pengembangan teknologi tersebut.
2. Analisis dalam penelitian ini difokuskan pada PLTS DC yang terdiri dari panel surya dan beban DC.
3. Faktor lingkungan yang dianalisis meliputi suhu, kelembapan, kecepatan angin, dan konsentrasi debu.