

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sumber energi yang berkelanjutan dan upaya global untuk mengurangi dampak perubahan iklim, energi terbarukan, khususnya energi surya, semakin mendapatkan perhatian. Indonesia, sebagai negara dengan garis pantai yang panjang dan iklim tropis yang melimpah, memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi surya sebagai solusi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan. Namun, meskipun potensi tersebut besar, tantangan terbesar dalam memanfaatkan energi surya secara optimal terletak pada ketidakpastian dalam perhitungan estimasi tenaga yang dapat dihasilkan oleh sistem panel surya. Variabilitas yang tinggi dalam kondisi cuaca, intensitas cahaya matahari, dan faktor lingkungan lainnya memerlukan teknologi yang dapat memberikan estimasi yang akurat dan *real-time* mengenai produksi energi surya[1].

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan IoT telah membuka peluang besar dalam pengumpulan data secara otomatis dan *real-time* dari berbagai perangkat. Teknologi IoT menyediakan pemantauan terus-menerus terhadap sistem energi surya, mencakup suhu, intensitas cahaya, serta status operasional panel surya. Data yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk menganalisis performa panel surya secara akurat dan memprediksi *output* energi yang akan dihasilkan dalam periode tertentu[2]. IoT juga berpotensi untuk mengurangi ketergantungan pada pengukuran manual dan meningkatkan efisiensi pemeliharaan sistem.

Estimasi tenaga surya penting karena variabilitas tinggi dalam faktor lingkungan seperti cuaca dan intensitas cahaya matahari membuat produksi energi surya sulit diprediksi. Dengan estimasi yang akurat, penggunaan energi surya bisa dioptimalkan, mengurangi ketergantungan pada energi fosil, dan meningkatkan efisiensi sistem. Selain itu, estimasi juga membantu dalam perencanaan kebijakan energi, pemeliharaan sistem, serta mendukung transisi ke energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Teknologi seperti IoT, ALNN, dan PSO dapat meningkatkan akurasi estimasi dan efisiensi penggunaan energi surya.

Namun, pengolahan data yang dihasilkan dari perangkat IoT ini memerlukan teknik analisis yang canggih agar dapat menghasilkan prediksi yang akurat. *Neural Networks* (NN) telah terbukti menjadi salah satu metode yang efektif dalam memodelkan hubungan yang kompleks antara berbagai faktor dalam sistem energi surya. Dalam hal ini, ALNN dapat memberikan keuntungan tambahan, dengan memfokuskan perhatian model pada fitur atau variabel yang memiliki pengaruh terbesar terhadap estimasi *output* energi surya. *Attention mechanisms* bekerja dengan memberi bobot lebih pada data input yang lebih relevan, sehingga jaringan neural dapat lebih efisien dalam memahami hubungan yang ada dalam data yang kompleks.

Salah satu aspek penting dalam pengembangan model berbasis NN adalah optimasi parameter jaringan. Untuk meningkatkan akurasi dan performa model, teknik optimasi yang efisien sangat diperlukan. PSO adalah salah satu metode optimasi berbasis populasi yang sangat berguna dalam menemukan solusi optimal untuk masalah yang kompleks dan non-linear. PSO bekerja dengan cara mengoptimalkan posisi partikel (parameter) dalam ruang parameter untuk mencapai solusi terbaik. Dalam konteks penelitian ini, PSO digunakan untuk menyesuaikan parameter dalam model ALNN, sehingga dapat memaksimalkan akurasi estimasi tenaga surya [3].

Dengan mengintegrasikan teknologi IoT untuk pengumpulan data, ALNN untuk analisis data, dan PSO untuk optimasi model, diharapkan dapat diperoleh estimasi tenaga surya yang lebih akurat dan efisien. Hal ini akan membawa dampak positif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi surya dan mempercepat transisi menuju energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana memanfaatkan teknologi IoT untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk perhitungan daya surya?
2. Bagaimana mengaplikasikan ALNN untuk meningkatkan akurasi estimasi tenaga surya?
3. Bagaimana menggunakan PSO untuk mengoptimalkan performa model estimasi tenaga surya?

1.3. Tujuan

Untuk memastikan penelitian ini berjalan dengan tujuan yang jelas, maka penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

- Mengembangkan sistem perhitungan daya tenaga surya yang mengukur tegangan secara *real-time* menggunakan sensor INA219 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266.
- Mengembangkan sistem estimasi tenaga surya yang lebih akurat dengan memanfaatkan teknologi ALNN dan PSO.
- Menganalisis performa model estimasi dan peningkatan akurasi yang dihasilkan.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan fokus dan jelas, maka penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua sumber utama: pertama, data dari sensor INA219 yang terhubung dengan mikrokontroler NodeMCU untuk mengukur tegangan pada panel surya dalam sistem IoT. Kedua, data dari file Excel 'GSR_RI_Hourly_2012_2020.xlsx' yang berisi 83.896 data *Global Solar Radiation* (GSR) per jam antara tahun 2012 hingga 2020, yang digunakan khusus untuk pemodelan dan optimasi menggunakan ALNN yang dioptimalkan dengan PSO. Data *Global Solar Radiation* (GSR) tersebut berasal dari Badan meteorologi nasional atau internasional, yang sering kali menyediakan data radiasi matahari melalui stasiun pengamatan yang tersebar di berbagai lokasi..
- Evaluasi kinerja estimasi tenaga surya dilakukan dengan menggunakan

metrik *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *Coefficient of Determination* (R^2) untuk mengukur akurasi prediksi model yang dikembangkan.

- Penelitian ini terbatas pada pemodelan dan optimasi yang dilakukan menggunakan ALNN yang dioptimalkan dengan PSO, tanpa mempertimbangkan faktor eksternal lainnya. Selain itu, pengukuran tegangan yang dilakukan di sistem IoT menggunakan sensor INA219 yang terhubung dengan mikrokontroler NodeMCU juga menjadi bagian dari penelitian ini.

1.5. Metode Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, kegiatan dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan yang terstruktur. Tahapan-tahapan ini dirancang untuk memastikan setiap proses mendukung pengembangan sistem estimasi tenaga surya yang efisien dan akurat.

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi terkait teknologi IoT, ALNN, dan PSO. Studi literatur bertujuan untuk memperdalam pemahaman tentang metode, algoritma, dan teknologi yang relevan dalam pengembangan sistem estimasi tenaga surya.

2. Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini, dilakukan identifikasi kebutuhan teknis dan fungsional sistem, termasuk data yang dibutuhkan dari perangkat IoT, parameter model ALNN, dan konfigurasi algoritma PSO. Hasil analisis ini akan menjadi dasar perancangan sistem.

3. Perancangan Sistem IoT

Pada tahap ini, dilakukan perancangan sistem yang meliputi arsitektur perangkat IoT untuk pengumpulan data. Perancangan ini mencakup pemilihan sensor, mikrokontroler, serta pengaturan koneksi untuk mengirimkan data secara real-time. Selain itu, perancangan juga mencakup pembuatan blok diagram, rangkaian alat, dan flowchart sebagai panduan implementasi sistem IoT.

4. Pemodelan Sistem Prediksi

Pada tahap ini fokus pada pembangunan model yang digunakan untuk memprediksi estimasi tenaga surya. Dalam tahap ini, dilakukan proses pembuatan dan pelatihan model prediksi menggunakan data yang dikumpulkan dari data file Excel 'GSR_RI_Hourly_2012_2020.xlsx'.

5. Implementasi

Pada tahap ini, dilakukan pengembangan dan integrasi perangkat IoT, algoritma ALNN, dan PSO dalam sistem. Perangkat IoT digunakan untuk menampilkan data secara *real-time*, sedangkan ALNN dan PSO diintegrasikan untuk memproses data dan mengoptimalkan prediksi daya surya. Implementasi dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat berfungsi sesuai dengan desain.

6. Pengujian

Pada tahap ini, data dikumpulkan dari perangkat IoT untuk menampilkan data secara *real-time*. Data dari file Excel 'GSR_RI_Hourly_2012_2020.xlsx' digunakan untuk evaluasi model ALNN yang dioptimasi dengan PSO. Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem dapat menampilkan data secara *real-time* dan menghasilkan perhitungan daya surya yang akurat sesuai dengan metrik kinerja yang ditentukan.

7. Penulisan Laporan dan Revisi

Pada tahap ini, disusun laporan penelitian yang mencakup hasil studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan, pemodelan implementasi, pengujian, serta kesimpulan dan saran. Laporan ini menjadi dokumentasi akhir dari seluruh proses penelitian.

1.6. Jadwal Pelaksanaan

Untuk memastikan penelitian berjalan secara terstruktur dan efisien, setiap tahap kegiatan direncanakan dengan jadwal yang jelas. Jadwal ini mencakup seluruh tahapan mulai dari studi literatur hingga penulisan laporan akhir. Adapun rincian jadwal kegiatan penelitian ini pada tabel berikut:

Tabel 1. 1 Jadwal Kegiatan

Kegiatan	Bulan					
	1	2	3	4	5	6
Studi Literatur						
Analisis Kebutuhan						

Perancangan Sistem IoT						
Pemodelan Sistem Prediksi						
Kegiatan	Bulan					
	1	2	3	4	5	6
Implementasi						
Pengujian						
Penulisan Laporan dan Revisi						

*Keterangan: shading warna *grayscale*