

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan kebutuhan primer dalam kehidupan masyarakat di seluruh dunia. Di Indonesia, permintaan terhadap energi listrik terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2022, kebutuhan energi listrik di Indonesia mencapai 1.173 kWh/kapita [1]. Namun, lebih dari 82% kebutuhan energi di Indonesia masih bergantung pada sumber energi fosil, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Ketergantungan terhadap energi fosil ini tidak lagi efektif, karena selain sumbernya terbatas, penggunaannya juga menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca yang mempercepat perubahan iklim [2]. Tingginya kebutuhan energi dan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari energi fosil mendorong para peneliti di berbagai negara untuk mengembangkan alternatif sumber energi yang lebih ramah lingkungan, yang dikenal sebagai energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi yang dapat diproduksi kembali secara alami dalam waktu relatif singkat. Salah satu jenis energi terbarukan yang saat ini sedang berkembang pesat adalah tenaga angin, yang telah dimanfaatkan dalam berbagai sektor, seperti pertanian, perikanan, dan sebagai sumber energi dalam pembangkit listrik [3].

Di tingkat global, pembangkit listrik tenaga angin telah terbukti mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mendukung upaya penurunan emisi karbon. Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017, Indonesia memiliki potensi kapasitas energi listrik dari tenaga angin yang mencapai 60 GW, yang mencakup seluruh 34 provinsi di Indonesia [4]. Dengan adanya peraturan tersebut, pemerintah Indonesia terus mengembangkan sumber energi terbarukan, termasuk tenaga angin, sebagai langkah strategis untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan meminimalkan dampak perubahan iklim. Upaya ini juga sejalan dengan target pemerintah untuk meningkatkan kontribusi energi terbarukan hingga sebesar 31% dari total kebutuhan energi nasional pada tahun 2050 [5].

Salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan yang menjadi fokus pengembangan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). PLTB memanfaatkan energi kinetik dari angin yang dikonversikan menjadi energi listrik [6]. Teknologi ini memiliki peran penting dalam mendukung pemenuhan kebutuhan energi nasional karena mampu menghasilkan energi secara bersih, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan potensi angin di berbagai wilayah Indonesia, PLTB dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mendukung transisi menuju sistem energi yang lebih hijau. Selain itu, PLTB juga menawarkan keuntungan ekonomi jangka panjang berupa biaya operasional yang lebih rendah dan ketahanan terhadap fluktuasi harga energi global, khususnya minyak bumi.

Seiring dengan kemajuan teknologi, berkembang konsep *smart grid* atau sistem energi elektrik cerdas yang mengintegrasikan sistem pembangkitan dan distribusi energi listrik dengan teknologi informasi untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kualitas pasokan energi [3]. Pada sistem PLTB, penerapan sistem energi elektrik cerdas memungkinkan pengelolaan energi yang lebih efisien, adaptif, dan responsif terhadap perubahan pasokan dan permintaan energi. Salah satu elemen utama dalam sistem energi elektrik cerdas adalah komunikasi yang efektif antarperangkat dan komponen yang terlibat dalam proses pembangkitan. Pada sistem PLTB, komunikasi yang baik antara sensor, aktuator, sistem pengukuran, dan perangkat lunak pengendali sangat penting untuk memantau dan mengontrol kinerja pembangkit secara *real-time*. Koordinasi antarperangkat ini memungkinkan sistem untuk beroperasi secara optimal dan mendeteksi gangguan lebih cepat. Penerapan sistem energi elektrik cerdas pada PLTB tidak hanya meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional, tetapi juga mendukung integrasi pembangkit energi terbarukan ke dalam jaringan energi nasional secara lebih terstruktur dan berkelanjutan.

Pada tingkat laboratorium, penelitian mengenai penerapan konsep sistem energi elektrik cerdas pada PLTB memungkinkan dilakukannya simulasi dan eksperimen dalam skala kecil namun representatif untuk memahami kompleksitas sistem pada skala yang lebih besar. Dalam konteks laboratorium, komunikasi antarperangkat menjadi sangat penting agar data dari berbagai komponen, seperti anemometer (pengukur kecepatan angin), turbin, generator, dan sistem kendali,

dapat dikumpulkan serta dianalisis secara *real-time*. Melalui integrasi ini, kinerja sistem dapat dioptimalkan, efisiensi energi meningkat, dan antisipasi terhadap gangguan operasional dapat dilakukan lebih efektif. Oleh karena itu, implementasi sistem energi elektrik cerdas pada sistem PLTB skala laboratorium memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi PLTB yang lebih cerdas dan responsif terhadap kebutuhan energi masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem energi elektrik cerdas dengan memanfaatkan sumber tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)?
2. Bagaimana menentukan teknologi komunikasi yang tepat pada sistem energi elektrik cerdas untuk meningkatkan proses *monitoring* dan kendali pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem energi elektrik cerdas dengan sumber dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).
2. Merancang teknologi komunikasi yang optimal untuk mendukung sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) dan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem energi elektrik cerdas.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Alat ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa untuk memahami teknologi pembangkit energi terbarukan berbasis sistem energi elektrik cerdas, kontrol otomatis, dan IoT. Alat ini berfokus pada aspek pembangkitan, sehingga mahasiswa dapat mempelajari pengelolaan sumber energi, optimasi operasi pembangkit, dan pemantauan produksi energi secara *real-time*.

2. Memberikan pemahaman mengenai protokol komunikasi yang tepat untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT).
3. Menjadi referensi untuk mengembangkan sistem energi elektrik cerdas yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam penerapan energi terbarukan.

1.4 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah untuk memberikan ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang dikembangkan merupakan sistem skala laboratorium yang tidak sepenuhnya merepresentasikan karakteristik dan kompleksitas PLTB skala besar.
2. Implementasi teknologi sistem energi elektrik cerdas dalam sistem PLTB terbatas pada integrasi antarperangkat sensor, aktuator, dan pengendali melalui sistem komunikasi lokal dan *Internet of Things* (IoT), serta tidak mencakup seluruh komponen sistem energi elektrik cerdas yang lebih kompleks seperti yang ada pada jaringan listrik nasional, yang melibatkan banyak sub-sistem dan protokol komunikasi yang lebih beragam.
3. Penelitian ini hanya mengukur kinerja sistem berdasarkan respons waktu dan akurasi data sensor dalam kondisi laboratorium yang terkendali. Oleh karena itu, belum sepenuhnya menggambarkan performa sistem dalam kondisi operasional di lingkungan nyata dengan perubahan cuaca atau beban jaringan yang lebih dinamis.
4. Pengujian dilakukan untuk menganalisis komunikasi antara sistem elektrik cerdas dengan sistem *Internet of Things* (IoT).

1.5 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan beberapa metode untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, antara lain:

1. Studi Pustaka dan Literatur

Mengumpulkan dan mempelajari literatur terkait PLTB, sistem energi elektrik cerdas, serta teknologi pendukung seperti IoT dan PLC untuk memperoleh pemahaman teori dasar, perkembangan terbaru, dan menetapkan pendekatan penelitian.

2. Pengambilan Keputusan dengan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan *Simple Additive Weighting* (SAW)

Penelitian ini menggabungkan metode AHP dan SAW untuk memilih teknologi komunikasi yang optimal untuk sistem SCADA berbasis IoT. Pada tahap ini, AHP digunakan untuk menentukan bobot kriteria yang relevan, sedangkan SAW diterapkan untuk menilai alternatif berdasarkan bobot yang telah ditentukan. Skor total dari masing-masing alternatif dihitung dan alternatif dengan skor tertinggi dianggap sebagai pilihan terbaik untuk sistem SCADA.

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

Merancang dan mengembangkan sistem PLTB skala laboratorium yang melibatkan komponen utama seperti turbin angin, generator, sensor, PLC, dan sistem komunikasi berbasis IoT. Sistem ini kemudian diimplementasikan dan diuji di laboratorium untuk mengevaluasi fungsionalitas, interkoneksi antar perangkat, serta efisiensi pengendalian dan komunikasi antar sistem.

4. Pengujian Kinerja Sistem

Menguji kinerja sistem dengan fokus pada kecepatan dan akurasi sensor, respons sistem terhadap perintah yang diberikan melalui *web dashboard*, serta efektivitas pengendalian oleh PLC. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan tujuan untuk mengevaluasi stabilitas dan respons sistem, serta mengukur akurasi dan keandalan pengukuran sensor dalam berbagai kondisi operasional.

1.6 Proyeksi Pengguna

Sistem PLTB skala laboratorium berbasis sistem energi elektrik cerdas ini dirancang untuk mendukung berbagai pihak yang berkepentingan dalam pengembangan teknologi energi terbarukan. Adapun kelompok pengguna yang diproyeksikan adalah sebagai berikut:

1. Mahasiswa dan Dosen

Sistem ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran interaktif untuk memperkenalkan konsep energi terbarukan, kontrol otomatis, dan teknologi IoT dalam penerapan PLTB dan sistem energi elektrik cerdas.

2. **Peneliti di Bidang Energi Terbarukan dan Sistem Energi Elektrik Cerdas**
Peneliti dapat memanfaatkan sistem ini untuk mengevaluasi dan mengembangkan konsep kendali otomatis, optimalisasi komunikasi perangkat, dan pengembangan sistem energi elektrik cerdas pada skala laboratorium sebagai dasar adaptasi untuk PLTB skala besar.
3. **Industri Energi dan Otomasi**
Sistem ini memberikan peluang bagi industri untuk mengevaluasi dan mengembangkan teknologi otomasi dan kontrol energi dalam mendukung implementasi PLTB yang lebih efisien dan stabil di lapangan.