

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Transisi global menuju energi terbarukan yang bersih dan berkelanjutan mendorong pemanfaatan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, termasuk energi angin. Energi angin menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon dioksida. Turbin angin berperan penting dalam mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik yang siap digunakan maupun disalurkan ke jaringan listrik [27][28].

Namun, efisiensi operasional turbin angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin dan kondisi lingkungan. Di lokasi dengan kecepatan angin rendah, turbin angin cenderung mengalami penurunan kinerja yang signifikan dengan potensi kehilangan efisiensi hingga 30% akibat ketidaksesuaian kondisi angin terhadap desain turbin. Permasalahan ini diperparah dengan masih terbatasnya sistem pemantauan yang efektif untuk mengukur kecepatan angin dan keluaran listrik secara real-time sehingga pengelola kesulitan dalam mengoptimalkan performa turbin [29][30].

Selain itu, kurangnya pemantauan real-time dan analisis data menyebabkan ketidakstabilan output energi, yang berisiko mempercepat kerusakan komponen akibat beban yang tidak tepat sehingga meningkatkan biaya perawatan dan menurunkan umur operasional turbin. Hal ini dikarenakan banyak sistem monitoring turbin angin konvensional belum mengadopsi teknologi Internet of Things (IoT) yang dapat memberikan pemantauan real-time dan pemberian data yang lebih akurat. Penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring dengan tingkat akurasi deviasi maksimum sekitar  $\pm 20\%$  secara praktis dapat diaplikasikan dalam konteks monitoring turbin angin kecepatan rendah, terutama pada fase awal pengembangan sistem dan prototipe dengan keterbatasan teknologi dan biaya [30][31][35].

Selain itu, energi listrik yang dihasilkan turbin angin biasanya berupa arus searah (DC), sedangkan kebutuhan listrik rumah tangga dan peralatan elektronik umumnya menggunakan arus bolak-balik (AC) dengan tegangan standar 220 V dan frekuensi 50-60 Hz. Oleh karena itu, penggunaan inverter sangat penting untuk mengubah arus DC dari turbin menjadi arus AC yang stabil dan sesuai standar sehingga dapat digunakan langsung oleh beban rumah tangga [32][33].

Berbagai solusi telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan pemantauan turbin angin, termasuk penggunaan sensor anemometer untuk pengukuran kecepatan angin secara real-time serta teknologi komunikasi nirkabel untuk transmisi data ke pusat monitoring. Namun, solusi yang paling efektif adalah pengembangan sistem monitoring berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor anemometer dan inverter untuk mendapatkan data tentang kecepatan angin dan keluaran daya turbin secara simultan dalam platform terpadu [30][34].

Penelitian ini bertujuan mengisi gap pada sistem monitoring turbin angin kecepatan rendah dengan menggabungkan pengukuran kecepatan angin dari sensor anemometer dan data kelistrikan arus dan tegangan dari inverter dalam satu sistem berbasis IoT dengan tingkat akurasi deviasi maksimum  $\pm 20\%$  dan delay pengiriman data tidak lebih dari 2 detik. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk akuisisi dan komunikasi data secara real-time serta menyediakan tampilan dashboard berbasis web/mobile untuk visualisasi data secara komprehensif [30][35].

Fokus utama penelitian ini bukan pada pembuatan atau rekayasa turbin angin itu sendiri, melainkan pada perancangan dan implementasi sistem pemantauan kinerja turbin angin kecepatan rendah berbasis IoT. Turbin angin hanya berfungsi sebagai objek uji coba untuk mengevaluasi keakuratan dan reliabilitas sistem monitoring yang dikembangkan, sekaligus mendukung pemanfaatan energi terbarukan yang lebih cerdas dan berkelanjutan di masa depan [30][34].

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi sistem pemantauan kinerja turbin angin kecepatan rendah berbasis IoT, dengan rincian sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan sistem pemantauan turbin angin kecepatan rendah berbasis IoT yang dapat diimplementasikan di Laboratorium Smart Mikrogrid?
2. Bagaimana memanfaatkan sensor anemometer, sensor arus, sensor tegangan, serta inverter untuk memperoleh data kecepatan angin dan keluaran daya turbin secara real-time dengan akurasi yang memadai dengan deviasi maksimum  $\pm 20\%$ ?
3. Bagaimana menampilkan hasil pengukuran kecepatan angin dan keluaran daya turbin angin dalam satu dashboard terintegrasi yang ringkas dan informatif dengan delay transmisi data tidak lebih dari 2 detik?
4. Bagaimana menganalisis hubungan antara data kecepatan angin dengan data keluaran daya turbin angin untuk mengevaluasi kinerja turbin?

### 1.3. Tujuan

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kinerja turbin angin berbasis IoT dengan rincian sebagai berikut:

1. Mengembangkan perangkat keras yang terdiri atas sensor anemometer, sensor arus, sensor tegangan, serta inverter untuk memperoleh data kecepatan angin dan parameter kelistrikan turbin angin dengan tingkat akurasi pengukuran maksimum deviasi  $\pm 20\%$  terhadap alat ukur standar.
2. Merancang perangkat lunak berbasis mikrokontroler ESP32 untuk akuisisi, pengolahan, dan pengiriman data ke server IoT dengan delay transmisi data tidak lebih dari 2 detik.
3. Membangun antarmuka pemantauan berbasis web/mobile yang mampu menampilkan hasil pemantauan secara real-time dalam bentuk grafik maupun tabel, dengan ketersediaan sistem (availability) minimal 95% selama pengujian.
4. Mengintegrasikan inverter sebagai konversi daya sehingga sistem dapat digunakan untuk mengoperasikan beban listrik standar 220 VAC dengan frekuensi 50-60 Hz.

#### **1.4. Manfaat Hasil Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini meliputi:

1. Memberikan data real-time mengenai kondisi turbin angin sehingga memungkinkan deteksi dini terhadap masalah operasional.
2. Meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi angin pada kondisi kecepatan rendah, sehingga lebih cocok untuk daerah dengan potensi angin rendah.
3. Mengurangi biaya pemeliharaan dan memperpanjang umur komponen turbin melalui sistem pemantauan yang efektif.
4. Mendukung penelitian dan pengembangan teknologi energi terbarukan yang dapat diterapkan pada skala laboratorium dan industri.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Penelitian ini dibatasi oleh beberapa faktor berikut:

1. Sistem pemantauan akan diuji dan diterapkan pada lingkungan Laboratorium Smart Microgrid.
2. Pengukuran kecepatan angin hanya akan dilakukan menggunakan sensor anemometer dengan batasan kecepatan angin rendah (dibawah 5 m/s).
3. Sistem pemantauan hanya dirancang untuk mengelola kinerja turbin angin kecepatan rendah dan tidak dirancang untuk kondisi turbin skala besar atau kecepatan angin tinggi.

#### **1.6. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Studi literatur mengenai teknologi IoT, sensor anemometer, dan inverter untuk pemantauan turbin angin.
2. Perancangan dan pengembangan sistem pemantauan menggunakan teknologi IoT yang dilengkapi dengan sensor anemometer dan inverter.
3. Implementasi dan pengujian sistem di Laboratorium Smart Microgrid untuk memperoleh data kecepatan angin dan daya keluaran secara real-time.
4. Analisis data hasil pemantauan untuk mengukur kinerja dan efisiensi turbin angin.

### **1.7. Proyeksi Pengguna**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan oleh:

1. Institusi pendidikan, khususnya laboratorium-laboratorium yang mendukung penelitian energi terbarukan dan smart grid.
2. Industri yang bergerak di bidang pengembangan dan pemeliharaan turbin angin atau energi terbarukan.
3. Pemerintah dan lembaga riset yang berfokus pada peningkatan pemanfaatan energi terbarukan di daerah dengan kecepatan angin rendah.