

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik dalam kehidupan modern terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan pesatnya perkembangan teknologi. Sistem tenaga listrik yang andal menjadi tulang punggung dalam menunjang aktivitas industri, layanan publik, dan kehidupan sehari-hari. Dalam infrastruktur sistem kelistrikan, jaringan distribusi memiliki peran vital sebagai penghubung antara pembangkitan dan konsumen akhir. Salah satu komponen penting dalam jaringan ini adalah gardu hubung, yang berfungsi sebagai titik pusat dalam pengaturan aliran dan pembagian beban listrik ke berbagai wilayah.

Namun, keberlangsungan operasi gardu hubung sangat bergantung pada kondisi lingkungan sekitar. Salah satu ancaman yang sering dihadapi adalah banjir. Ketika air menggenangi area gardu, berbagai komponen seperti trafo, switchgear, dan sistem kontrol dapat mengalami kerusakan akibat korsleting atau kehilangan isolasi, yang pada akhirnya menyebabkan pemadaman listrik secara luas. Dalam kasus terbaru, tercatat sebanyak 1.545 gardu hubung di Sumatera Barat terdampak banjir dan longsor, sehingga PLN harus mengerahkan lebih dari 700 personil untuk memulihkan jaringan listrik yang lumpuh di banyak wilayah [1]. Salah satu gardu yang terdampak secara langsung adalah Gardu Hubung TRB Padang, yang pernah mengalami genangan air signifikan hingga menyebabkan gangguan operasional pada perangkat distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem saat ini masih sangat bergantung pada pemulihan manual yang memakan waktu dan sumber daya yang besar. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem pemantauan yang mampu mendeteksi potensi banjir secara dini dan memberikan informasi kepada operator secara *real-time* [2].

Sistem pemantauan yang bersifat reaktif memang berguna, namun belum cukup untuk memberikan perlindungan menyeluruh terhadap gangguan lingkungan seperti hujan deras dan genangan air mendadak. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang lebih proaktif melalui sistem prediksi cuaca. Parameter seperti suhu, kelembaban udara, tekanan dan kecepatan angin dapat dimanfaatkan sebagai indikator awal untuk memprediksi kemungkinan hujan [3]. Data-data ini dapat dikumpulkan menggunakan sensor lingkungan, termasuk sensor BME280 untuk pengukuran suhu, kelembaban dan tekanan udara serta anemometer untuk mengukur kecepatan angin, yang telah dibahas dalam penelitian sebelumnya. Penggabungan antara data yang diperoleh dari sensor lingkungan seperti suhu dan kelembaban udara dengan algoritma machine learning terbukti dapat meningkatkan akurasi dalam memprediksi kondisi cuaca secara *real-*

time [4]. Dengan hasil prediksi yang lebih presisi, sistem dapat memberikan peringatan dini sebelum kondisi ekstrem terjadi, sehingga memungkinkan operator Gardu Hubung mengambil tindakan preventif secara lebih cepat dan efisien.

Untuk mendukung prediksi cuaca yang lebih andal dan integrasi data secara menyeluruh, sistem konvensional kini mulai dikembangkan dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT). Penggabungan ini memungkinkan sensor-sensor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kecepatan angin untuk terhubung secara langsung dalam satu ekosistem digital yang mampu mengirimkan data secara *real-time*. Dengan menambahkan algoritma machine learning pada arsitektur sistem, data yang dikumpulkan tidak hanya disimpan, tetapi juga dianalisis untuk mengenali pola-pola cuaca ekstrem. Hal ini memberikan kemampuan prediktif terhadap ancaman banjir yang sebelumnya tidak dimiliki oleh sistem monitoring pasif. Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan operasional sistem distribusi listrik karena mampu merespons kondisi lingkungan secara otomatis tanpa campur tangan manusia [5]. Selain itu, sistem yang telah terotomatisasi ini juga mampu memberikan peringatan dini secara mandiri, sehingga mempercepat proses pengambilan keputusan dan mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual [6].

Penelitian terkait substation cerdas juga membuktikan bahwa penggunaan sistem monitoring otomatis dapat meningkatkan efisiensi operasional, khususnya dalam merespons gangguan berbasis cuaca [7]. Tak hanya pada sektor kelistrikan, pendekatan serupa juga diterapkan dalam pengelolaan drainase perkotaan melalui sistem peringatan dini banjir yang memanfaatkan algoritma machine learning dan data sensor lingkungan secara *real-time* [8]. Hal ini menunjukkan bahwa kolaborasi antara deteksi fisis melalui sensor dan analisis prediktif melalui machine learning dapat menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan kesiapsiagaan terhadap bencana lingkungan.

Dengan menggabungkan model prediksi cuaca berbasis data sensor dan machine learning ke dalam sistem pemantauan yang terintegrasi dengan IoT, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih komprehensif. Sistem ini tidak hanya akan bekerja secara reaktif, tetapi juga proaktif, sehingga dapat meningkatkan keandalan operasional gardu hubung dan mengurangi dampak kerusakan akibat cuaca ekstrem [9].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun sistem prediksi cuaca berbasis machine learning dengan memanfaatkan data dari sensor suhu, kelembaban udara, tekanan, udara dan kecepatan angin?
2. Bagaimana mengintegrasikan model prediksi cuaca tersebut ke dalam platform dapat bekerja secara otomatis dan memberikan notifikasi peringatan dini?
3. Bagaimana mengevaluasi kinerja sistem prediksi cuaca dalam mengklasifikasikan kondisi cuaca ekstrem berdasarkan data sensor secara *real-time*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan model prediksi cuaca berbasis machine learning yang menggunakan data dari sensor suhu, kelembaban, tekanan udara, dan kecepatan angin.
2. Merancang sistem prediksi berbasis render yang dapat mengirim data secara *real-time* ke server render dengan protokol HTTP
3. Melakukan evaluasi terhadap kinerja sistem dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan kondisi cuaca ekstrem secara *real-time* dengan memanfaatkan data sensor aktual.
4. Menghadirkan sistem notifikasi otomatis berbasis Telegram dan sebuah *dashboard* sebagai bentuk peringatan dini terhadap potensi hujan ekstrem dan banjir.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menyediakan sistem prediksi cuaca berbasis machine learning yang dapat memberikan peringatan dini terhadap potensi hujan ekstrem.
2. Mendukung efisiensi pemantauan lingkungan gardu hubung melalui integrasi antara sensor cuaca, machine learning.
3. Mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual dengan menyajikan sistem yang otomatis dan proaktif.
4. Memberikan referensi pengembangan sistem cerdas untuk peningkatan keandalan distribusi tenaga listrik di lokasi rawan banjir dan cuaca ekstrem.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Sistem prediksi cuaca hanya menggunakan algoritma machine learning sederhana seperti *Decision Tree* dengan input dari sensor suhu, kelembaban udara, tekanan udara dan kecepatan angin.
2. Data sensor dikirim melalui mikrokontroler ESP32 ke server render dengan protokol HTTP

3. Sistem peringatan dini disajikan melalui dua antarmuka: notifikasi otomatis via aplikasi Telegram dan sebuah *dashboard* monitoring berbasis web untuk visualisasi data *real-time*, namun tidak mencakup fitur analisis data historis.
4. Proses pelatihan model machine learning dilakukan secara offline atau cloud-hosted tanpa memanfaatkan komputasi lokal seperti Raspberry Pi.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas Akhir ini disusun dalam beberapa bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penyusunan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan informasi mengenai metodologi penelitian yang digunakan berupa metode penelitian, *flowchart* (diagram alir) penelitian, peralatan dan bahan penelitian yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdapat hasil dari pengolahan data dan analisis penelitian tugas akhir.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini terdiri dari kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian tersebut.