

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung aktivitas masyarakat, industri, maupun pembangunan nasional. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi setiap tahun, pemanfaatan sumber energi baru terbarukan menjadi salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi air yang dimanfaatkan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM). Indonesia memiliki banyak daerah dengan potensi aliran sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik sehingga pengembangan PLTM menjadi alternatif yang efektif untuk meningkatkan ketersediaan energi listrik, khususnya di wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik skala besar.

Keberhasilan operasional PLTM sangat dipengaruhi oleh kestabilan debit air yang mengalir menuju turbin. Perubahan debit air yang disebabkan oleh curah hujan, perubahan musim, maupun kondisi daerah aliran sungai dapat memengaruhi efisiensi pembangkitan listrik. Debit air yang terlalu rendah menyebabkan daya listrik yang dihasilkan menurun, sedangkan debit air yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan kerusakan pada sistem mekanik maupun turbin apabila tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, pemantauan debit air secara berkelanjutan dan pengaturan bukaan pintu air secara tepat menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan dan kontinuitas operasi PLTM.

Pada praktiknya, proses pemantauan debit air pada beberapa PLTM masih dilakukan secara manual melalui pengamatan langsung oleh operator. Pengaturan bukaan pintu air juga masih bergantung pada pengalaman operator sehingga proses pengambilan keputusan sering kali membutuhkan waktu yang relatif lama dan tidak akurat. Kondisi tersebut menyebabkan respons sistem terhadap perubahan debit air menjadi kurang optimal, terutama ketika terjadi peningkatan debit secara tiba-tiba akibat hujan di daerah hulu. Selain meningkatkan risiko kerusakan peralatan, keterlambatan pengendalian juga dapat mengurangi efisiensi pembangkitan listrik.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut. IoT memungkinkan sensor, mikrokontroler, dan perangkat lainnya saling terhubung melalui jaringan komunikasi sehingga data dapat dikirim, dipantau, dan dianalisis secara *real-time*. Penerapan IoT pada sistem monitoring sumber daya air telah banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan manual, serta menyediakan data historis yang dapat dimanfaatkan untuk proses analisis dan pengambilan keputusan (Tace et al., 2022; Gupta & Sharma, 2024). Selain itu, sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan kondisi lapangan dipantau dari lokasi yang berbeda sehingga mempermudah proses pengawasan secara berkelanjutan.

Salah satu tantangan dalam implementasi IoT pada PLTM adalah lokasi pembangkit yang umumnya berada di daerah pegunungan atau wilayah terpencil dengan keterbatasan infrastruktur komunikasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, teknologi *Long Range* (LoRa) menjadi salah satu solusi yang banyak digunakan karena mampu mengirimkan data pada jarak yang jauh dengan konsumsi daya yang rendah. Karakteristik tersebut menjadikan LoRa sesuai untuk sistem monitoring yang membutuhkan komunikasi data secara *real time* pada area yang luas (Kurniawan & Irianto, 2022).

Perkembangan teknologi juga mendorong sistem monitoring tidak hanya menampilkan kondisi saat ini, tetapi mampu memberikan informasi prediktif melalui penerapan *Machine Learning*. Algoritma *Machine Learning* dapat mempelajari pola perubahan debit air berdasarkan data historis maupun parameter lingkungan sehingga mampu memperkirakan kondisi debit air pada waktu berikutnya. Salah satu algoritma yang banyak digunakan untuk data runtun waktu (*time series*) adalah *Long Short-Term Memory (LSTM)* karena memiliki kemampuan mempelajari hubungan jangka panjang antar data sehingga memberikan hasil prediksi yang lebih baik dibandingkan metode konvensional (Kratzert et al., 2018). Integrasi IoT dengan *Machine Learning* memungkinkan sistem tidak hanya melakukan monitoring, tetapi juga mendukung proses pengambilan keputusan secara lebih cepat, akurat, dan adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Berbagai penelitian telah dilakukan terkait penerapan IoT, LoRa, dan *Machine Learning* pada sistem pengelolaan sumber daya air. Penelitian oleh Tace dkk. (2022) dan Gupta & Sharma (2024) mengembangkan sistem irigasi pintar berbasis IoT dan *Machine Learning* untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air. Kurniawan dan Irianto (2022) memanfaatkan teknologi LoRa untuk sistem monitoring lahan pertanian sehingga komunikasi data dapat dilakukan pada jarak yang lebih luas dengan konsumsi daya rendah. Penelitian Taueatsoala dkk. (2025) menunjukkan bahwa penerapan TinyML pada perangkat IoT mampu mempercepat proses pengolahan data langsung pada mikrokontroler tanpa bergantung sepenuhnya pada komputasi awan. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada sistem irigasi atau monitoring lingkungan serta belum mengintegrasikan teknologi IoT, LoRa, dan *Machine Learning* untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengaturan debit air pada PLTM.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat *research gap*, yaitu belum adanya sistem yang mengintegrasikan pemantauan debit air berbasis IoT, komunikasi LoRa sebagai media transmisi data jarak jauh, serta algoritma *Machine Learning* untuk memprediksi perubahan debit air sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengaturan bukaan pintu air pada PLTM. Sebagian besar sistem yang telah dikembangkan masih bersifat reaktif, yaitu pengendalian dilakukan berdasarkan kondisi saat ini menggunakan nilai ambang tertentu tanpa mempertimbangkan prediksi perubahan debit air di masa mendatang. Kondisi tersebut dapat menyebabkan respons sistem kurang optimal ketika terjadi perubahan debit air secara cepat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem monitoring dan pengaturan debit air pada PLTM berbasis *Internet of Things* menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor debit air dan sensor ketinggian air, komunikasi LoRa sebagai media transmisi data, serta *Google Sheet* sebagai media penyimpanan dan pertukaran data dengan website monitoring. Selain memanfaatkan data sensor secara real-time, penelitian ini mengintegrasikan algoritma *Lagged Regression* dengan data historis dan sebagai sistem pendukung keputusan untuk memprediksi perubahan debit air dan membantu menentukan pengaturan bukaan pintu air secara otomatis. Dengan demikian, sistem yang

dikembangkan tidak hanya mampu melakukan monitoring secara real-time, tetapi juga bersifat proaktif dalam menjaga kestabilan debit air sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keamanan operasional PLTM.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan utama dalam operasional pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM), khususnya terkait monitoring debit air dan pengambilan keputusan oleh operator, yaitu sebagai berikut

1. Proses pemantauan debit air pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) masih dilakukan secara manual sehingga informasi kondisi debit air tidak dapat diperoleh secara real-time dan pengaturan bukaan pintu air belum optimal.
2. Lokasi PLTM yang umumnya berada di daerah terpencil menyebabkan proses monitoring dan pengendalian jarak jauh mengalami kendala akibat keterbatasan infrastruktur komunikasi.
3. Belum tersedia sistem yang mengintegrasikan *Internet of Things* (IoT), komunikasi *Long Range* (LoRa), dan *Machine Learning* untuk melakukan *monitoring*, prediksi debit air, serta mendukung pengaturan bukaan pintu air secara lebih efektif.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian ini, diperlukan batasan yang ditetapkan agar sesuai dengan identifikasi masalah yang telah dijabarkan sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada prototype Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dengan fokus pada pemantauan debit air secara real-time dan pengaturan bukaan pintu air yang disimulasikan menggunakan DC pump.
2. Sistem komunikasi menggunakan teknologi LoRa untuk pengiriman data dan *Internet of Things* (IoT) untuk monitoring jarak jauh melalui platform yang telah ditentukan.
3. Prediksi debit air menggunakan algoritma *Machine Learning* berdasarkan data hasil pengukuran pada prototype, tanpa membahas faktor hidrologi, curah hujan, maupun optimasi sistem PLTM secara keseluruhan.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan batasan masalah tersebut, permasalahan yang dihadapi dalam pengelolaan pengairan pada PLTM antara lain:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring debit air pada prototype Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu menampilkan data secara real-time?
2. Bagaimana menerapkan komunikasi LoRa sebagai media transmisi data agar proses monitoring dan pengaturan kekuatan DC pump pada prototype PLTM dapat dilakukan secara jarak jauh?
3. Bagaimana menerapkan algoritma *Machine Learning* untuk memprediksi debit air sebagai dasar pengaturan kekuatan DC pump pada prototype PLTM ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berikut tujuan penelitian yang disusun berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah dan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya.

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring debit air pada prototype Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu menampilkan data secara real-time.
2. Menerapkan komunikasi LoRa sebagai media transmisi data untuk mendukung proses monitoring dan pengaturan kekuatan DC pump pada prototype PLTM secara jarak jauh.
3. Menerapkan algoritma *Machine Learning* untuk memprediksi kondisi debit air sebagai informasi pendukung dalam proses monitoring, sedangkan pengendalian motor pompa dilakukan berdasarkan data ketinggian air yang diperoleh secara real-time dari sensor ultrasonik.

1.6 Manfaat

Manfaat Praktis:

1. Menghasilkan prototype sistem monitoring dan pengaturan debit air berbasis *Internet of Things* yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran maupun penelitian lanjutan.

2. Membantu operator memperoleh informasi debit air secara real-time melalui website monitoring.
3. Membantu proses pengambilan keputusan dalam pengaturan kekuatan pompa DC pump berdasarkan hasil prediksi *Machine Learning*.
4. Menjadi dasar pengembangan sistem monitoring dan pengendalian debit air yang lebih cerdas, adaptif, dan efisien pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Manfaat Teoritis:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem monitoring dan pengendalian debit air berbasis *Internet of Things*, komunikasi.LoRa, dan *Machine Learning* pada bidang pembangkit listrik tenaga air maupun sistem pengelolaan sumber daya air.

