

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PLTA Poso merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Air terbesar sekaligus *Independent Power Producer* (IPP) utama di Sistem Sulawesi Bagian Selatan (Sulbagsel). PLTA Poso ini memiliki daya kontrak sebesar 515 MW yang berperan krusial dalam menjaga kecukupan daya, stabilitas sistem, keandalan pasokan listrik, dan memiliki beban puncak mencapai 1.934 MW [1]. PLTA Poso beroperasi dalam mode *peaker* serta memiliki status *must-run*, sehingga menjadikannya komponen vital dan tulang punggung sistem kelistrikan regional. Hal ini dapat menekan penggunaan pembangkit berbahan bakar fosil dengan biaya operasi yang tinggi [2],[3].

Sebagai pembangkit berbasis waduk tahunan, operasi PLTA Poso sangat bergantung pada kondisi hidrologi Danau Poso yang dipengaruhi oleh tingkat inflow, elevasi danau, serta dinamika iklim regional. Pola operasi waduk ini tidak hanya dipengaruhi oleh variasi inflow tahunan, tetapi juga oleh kondisi hidrologi yang sangat dinamis, fluktuasi elevasi danau, serta perubahan kebutuhan energi listrik yang terus berkembang [4]. Tingginya variabilitas inflow dan ketidakpastian elevasi danau dapat menyebabkan kompleksitas dalam perencanaan dan pengelolaan operasi waduk, dan jika tidak didukung oleh strategi operasi yang adaptif dan berbasis prediksi yang akurat dapat berpotensi menurunkan keandalan produksi listrik dan mengganggu stabilitas sistem tenaga secara keseluruhan [5], [6].

Tantangan signifikan muncul saat fenomena El Niño yang melanda di tahun 2023 menyebabkan kekeringan ekstrem yang memicu penurunan debit aliran dan elevasi Danau Poso sebagai sumber utama air untuk pembangkit ini [7]. Dampak langsung dari kekeringan tersebut adalah penurunan kapasitas produksi, yang berakibat pada defisit daya hingga 300 MW pada beban puncak malam, kondisi yang mengganggu kestabilan suplai di Sulbagsel. Upaya mitigasi melalui Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dan relokasi pembangkit dari wilayah lain di Indonesia sudah dilakukan, namun langkah tersebut memerlukan biaya tinggi dan terbatas dalam efektivitas jangka panjang.

Salah satu penyebab lainnya adalah belum tersedianya sistem yang mampu memprediksi atau memberikan gambaran terkait dengan inflow danau Poso yang mana ini sangat berguna untuk menyusun pola operasi yang optimal untuk menghadapi musim kemarau. Dengan kata lain jika memiliki sistem tersebut, maka bagian perencanaan operasi sistem bisa dengan optimal melakukan pengaturan pola operasi PLTA Poso dengan mengoptimalkan produksi di saat kondisi hidrologi sedang bagus. Hal ini dapat menjaga elevasi sehingga dapat menghadapi kondisi hidrologi yang buruk tanpa pemadaman dan tetap handal.

Kondisi ini mendorong urgensi untuk mengembangkan metode perencanaan dan optimasi operasional yang lebih efisien dan adaptif terhadap ketidakpastian iklim. Dalam konteks tersebut, pengembangan sistem prediksi inflow untuk Danau Poso dan optimasi produksi berbasis model hidrologis menjadi solusi potensial. Sistem prediksi inflow yang akurat dapat mendukung perencanaan operasional yang lebih tepat, sementara model optimasi produksi memungkinkan pemanfaatan sumber daya air yang efisien sekaligus menjaga stabilitas pasokan energi [8].

Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan *machine learning*, khususnya Long Short-Term Memory (LSTM), telah banyak digunakan dalam prediksi hidrologi karena kemampuannya menangkap pola temporal dan nonlinier pada data deret waktu. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa LSTM mampu memberikan performa yang lebih baik dibandingkan metode statistik konvensional dalam memprediksi inflow waduk, debit sungai, dan variabel hidrologi lainnya [9]. Selain itu, integrasi hasil prediksi inflow dengan model optimasi operasi PLTA terbukti dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan air, menjaga keandalan sistem tenaga, serta menurunkan biaya operasi pembangkit termal [10].

Namun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada prediksi inflow atau optimasi operasi secara terpisah. Selain itu, penerapan hasil penelitian dalam bentuk sistem pendukung keputusan yang mudah digunakan oleh operator sistem secara *real-time* masih terbatas, khususnya pada konteks sistem kelistrikan Indonesia bagian timur yang memiliki karakteristik hidrologi dan operasional yang unik.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menjadi penting untuk mengembangkan suatu sistem terintegrasi yang menggabungkan prediksi inflow Danau

Poso berbasis LSTM dengan optimasi pola operasi PLTA Poso. Sistem ini diharapkan mampu memberikan dukungan perencanaan operasional yang lebih adaptif terhadap ketidakpastian iklim, meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya air, menjaga keandalan sistem kelistrikan Sulbagsel, serta berkontribusi dalam penurunan BPP dan perbaikan *fuel-mix*. Implementasi sistem dalam bentuk dashboard web interaktif juga diharapkan dapat menjembatani hasil penelitian akademik dengan kebutuhan praktis operator sistem secara langsung.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada penelitian tentang Analisis Segmentasi Konsumsi Listrik Pelanggan Untuk Meningkatkan Pendapatan PLN Unit Layanan Pelanggan Rappang sebagai berikut:

- a. Bagaimana mengembangkan sistem prediksi inflow Danau Poso berbasis LSTM yang mampu memproyeksikan kondisi hidrologi secara akurat dan andal?
- b. Bagaimana menentukan pola operasi ideal PLTA Poso berdasarkan informasi proyeksi inflow, elevasi danau, serta target *Exclusive Committed Energy* (ECE) guna menjaga keandalan produksi dan keberlanjutan waduk?
- c. Bagaimana penerapan prediksi inflow dan optimasi pola operasi PLTA Poso dapat berkontribusi dalam menurunkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) dan memperbaiki komposisi *fuel-mix* sistem kelistrikan Sulawesi Bagian Selatan?
- d. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan dashboard web interaktif yang mampu menyajikan hasil prediksi inflow dan rekomendasi pola operasi PLTA Poso secara *real-time*, sederhana, dan mudah digunakan sebagai sistem pendukung keputusan operasional?

1.3 Tujuan

Berikut adalah beberapa tujuan dari sistem yang dibangun:

- a. Membuat sistem prediksi inflow danau poso selama 7 hari, 1 bulan, dan 1 tahun kedepan untuk memberi Gambaran kondisi hidrologi lebih dengan presisi.
- b. Menentukan pola operasi ideal PLTA POSO yang berdasarkan informasi proyeksi inflow, elevasi dan target ECE.
- c. Menurunkan BPP dan Fuel-Mix sistem kelistrikan.

- d. Menyediakan dashboard web interaktif untuk digunakan sebagai sistem penyusunan pola operasi yang realtime dan sederhana.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian tentang Optimasi Hidrologi Dengan Forecasting Inflow dan Pola Operasi PLTA Poso Berbasis LSTM Untuk Perbaikan BPP Dan Fuel-Mix sebagai berikut:

- a. Bagi Praktisi.

Penelitian ini bermanfaat bagi PT. PLN (Persero) dengan memberikan informasi untuk mitigasi kegiatan pemasaran dan perencanaan utilitas distribusi. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dengan mengatasi permasalahan terkait pemetaan atau segmentasi pelanggan, yang bertujuan untuk meningkatkan penjualan perusahaan.

- b. Bagi Akademisi.

Penelitian ini memberikan perspektif dalam menganalisis strategi pemasaran dan persiapan utilitas produksi. Kontribusi teoritisnya adalah penerapan machine learning, khususnya clustering, dalam pengelolaan data perusahaan untuk mempelajari segmentasi pelanggan dan merencanakan pemasaran di masa depan.

- c. Bagi Penelitian Selanjutnya.

Menambahkan variabel terkait untuk memperdalam pemahaman peneliti dan pembaca, sehingga dapat menyediakan informasi lebih rinci tentang profil konsumsi energi listrik. Ini juga berfungsi sebagai referensi untuk penelitian serupa dan sebagai dasar untuk penyempurnaan penelitian di masa depan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Penelitian ini mencakup pengembangan sistem prediksi inflow Danau Poso menggunakan Deep Learning, berdasarkan data historis inflow dan curah hujan dari enam catchment area sejak 2012. Sistem ini akan menghasilkan pola operasi PLTA Poso yang optimal berbasis elevasi dan proyeksi inflow, yang kemudian divisualisasikan melalui dashboard interaktif untuk mendukung pemantauan dan pengambilan keputusan operasional.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian dengan judul “Optimasi Hidrologi dengan Forecasting Inflow dan Pola Operasi PLTA Poso Berbasis LSTM untuk Perbaikan BPP dan Fuel-Mix” disusun dalam lima bab, di mana Bab I Pendahuluan membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, ruang lingkup, dan sistematika penulisan; Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori menguraikan penelitian terdahulu serta landasan teori terkait sistem kelistrikan, PLTA waduk tahunan, inflow dan elevasi danau, ECE, variabilitas iklim, koordinasi hidro-termal, BPP dan *fuel-mix*, serta metode *machine learning* khususnya LSTM untuk prediksi hidrologi dan optimasi operasi; Bab III Metodologi Penelitian menjelaskan lokasi dan desain penelitian, sumber dan pengolahan data, perancangan dan evaluasi model LSTM untuk prediksi inflow pada horizon 7 hari, 1 bulan, dan 1 tahun, metode optimasi pola operasi PLTA Poso, analisis dampaknya terhadap BPP dan *fuel-mix*, serta pengembangan dashboard web interaktif sebagai sistem pendukung keputusan; Bab IV Hasil dan Pembahasan menyajikan hasil prediksi inflow, optimasi pola operasi PLTA Poso, evaluasi perubahan elevasi dan keandalan produksi, dampak terhadap BPP dan *fuel-mix*, serta implementasi dashboard; dan Bab V Kesimpulan dan Rekomendasi memuat simpulan penelitian serta saran pengembangan dan penerapan lebih lanjut.