

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kenaikan suhu bumi akibat akumulasi gas rumah kaca (GRK) telah memicu pemanasan global yang mendorong lahirnya Perjanjian Paris tahun 2015, dengan komitmen menjaga kenaikan temperatur global di bawah 2°C dan mengupayakan batas 1,5°C. Perjanjian ini menegaskan target *Net Zero Emissions* (NZE) pada 2050 (Aprilianto & Ariefianto, 2021). Sebagai respon, Indonesia memperkuat kebijakan transisi energi melalui peningkatan bauran EBT. PLN, sebagai penyedia listrik nasional, memegang peran strategis dalam mencapai NZE 2060 dan target penurunan emisi 43,2% pada tahun 2030 sesuai *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC).

Meskipun potensi energi terbarukan Indonesia sangat besar, pemanfaatannya masih rendah. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) sesuai Perpres No. 22 tahun 2017 mencatat bahwa, baru 10,5 GW dari total potensi 443,2 GW yang dimanfaatkan sampai tahun 2020 (Fathurrahman, 2024). Target bauran EBT dalam RUKN 2019–2038 adalah 23% pada 2025, 28% pada 2038, dan 31% pada 2050 (Kanugrahan et al., 2022). Data (Dewan Energi Nasional, 2023) menunjukkan bahwa dari total potensi 3.687 GW, pemanfaatan aktual hingga tahun 2022 baru mencapai 12,6 GW atau sekitar 0,3%.

Dalam RUPTL 2025–2034, pemerintah menargetkan penambahan 52,9 GW pembangkit EBT dan penyimpanan energi, di mana pembangkit hidro berkontribusi sekitar 16 GW. Salah satu lokasi yang berpotensi untuk pengembangan PLTA adalah Sungai Watunohu di Kabupaten Kolaka Utara, yang memiliki karakteristik hidrologi dan topografi mendukung untuk PLTA tipe *run of river* (RoR).

Feasibility Study (FS) PLTA Watunohu telah disusun pada tahun 2021 dan menjadi dasar perencanaan awal proyek. Namun, dalam konteks dinamika kebijakan energi, perkembangan mekanisme pembiayaan rendah karbon, serta ketidakpastian hidrologi akibat perubahan iklim, diperlukan kajian lanjutan untuk memvalidasi dan memperbarui asumsi-asumsi teknis dan finansial yang digunakan dalam FS terdahulu. Kajian ulang ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan FS sebelumnya, melainkan

untuk memastikan bahwa parameter utama proyek, khususnya debit desain, estimasi energi tahunan, dan indikator kelayakan finansial, tetap relevan dan andal dalam mendukung pengambilan keputusan investasi saat ini.

Dalam penelitian ini, kajian teknis difokuskan pada interpretasi hidrologi Sungai Watunohu dan optimasi debit desain berdasarkan data *Flow Duration Curve* (FDC) yang digunakan pada FS terdahulu. Optimasi dilakukan untuk mengevaluasi kisaran debit desain yang paling optimal dalam menghasilkan energi tahunan, kapasitas terpasang, faktor kapasitas pembangkit dan indikator finansial, sekaligus menjaga konsistensi dengan konfigurasi teknis dan asumsi dasar yang telah ditetapkan dalam dokumen FS.

Hasil analisis teknis tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi kelayakan finansial proyek dengan menggunakan indikator *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Profitability Index* (PI), dan *Payback Period* (PP). Selain itu, penelitian ini juga mengkaji potensi peningkatan kelayakan finansial melalui integrasi mekanisme *Article 6* Perjanjian Paris, khususnya pendapatan dari kredit karbon (A6.4ERs), yang dalam konteks kebijakan iklim global saat ini menjadi instrumen penting dalam mendukung pembiayaan proyek energi bersih.

Untuk menilai ketahanan finansial proyek terhadap ketidakpastian, dilakukan pula analisis sensitivitas terhadap variabel utama, meliputi biaya investasi awal, faktor kapasitas pembangkit, dan fluktuasi nilai tukar Rupiah terhadap Dolar Amerika Serikat. Dengan mengintegrasikan aspek teknis, finansial, sensitivitas, serta mekanisme pendanaan karbon, penelitian ini memberikan evaluasi kelayakan investasi yang lebih komprehensif dan kontekstual bagi PLTA Watunohu, sekaligus memperkuat peran PLTA run-of-river dalam mendukung transisi energi dan pencapaian target pengurangan emisi nasional.

1.2. Rumusan Masalah

Untuk menilai apakah proyek PLTA Watunohu dengan tipe *run of river* (ROR) di Kolaka layak untuk direalisasikan dari aspek investasi, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah kelayakan teknis proyek PLTA Watunohu ditinjau dari interpretasi hidrologi dan optimasi debit hasil FDC FS terdahulu untuk menentukan debit desain yang paling optimal dalam menghasilkan energi tahunan, faktor kapasitas pembangkit, serta mendukung indikator kelayakan finansial yang representatif?
2. Bagaimana tingkat kelayakan finansial proyek PLTA Watunohu di Kolaka, baik dalam kondisi dasar maupun setelah memperhitungkan pendapatan dari perdagangan kredit karbon melalui mekanisme *Article 6* Perjanjian Paris?
3. Bagaimana sensitivitas hasil analisis kelayakan finansial terhadap perubahan variabel-variabel utama seperti biaya investasi awal, faktor kapasitas pembangkit dan kurs Rupiah terhadap Dolar?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menilai kelayakan teknis proyek PLTA Watunohu melalui interpretasi hidrologi dan optimasi debit berdasarkan FDC FS terdahulu guna memperoleh debit desain yang paling optimal dalam menghasilkan energi tahunan, faktor kapasitas pembangkit, serta mendukung indikator kelayakan finansial yang representatif.
2. Menganalisis tingkat kelayakan finansial proyek PLTA Watunohu berdasarkan indikator kelayakan finansial seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Profitability Index* (PI), dan *Payback Period* (PP), baik pada kondisi dasar maupun setelah memperhitungkan potensi pendapatan dari perdagangan karbon melalui mekanisme *Article 6* Perjanjian Paris.
3. Melakukan analisis sensitivitas terhadap hasil kelayakan finansial dengan mempertimbangkan perubahan variabel-variabel utama yang mempengaruhi proyek, yaitu biaya investasi awal, faktor kapasitas (*capacity factor*) pembangkit dan kurs Rupiah terhadap Dolar.

1.4. Manfaat Penelitian

1.4.1. Manfaat Akademik

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan kajian kelayakan teknis dan finansial PLTA RoR melalui pemanfaatan data debit dan FDC dari FS terdahulu serta optimasi debit desain untuk memperoleh energi, faktor kapasitas, dan indikator finansial yang optimal. Integrasi analisis sensitivitas terhadap biaya investasi awal, faktor kapasitas, dan kurs Rupiah terhadap Dolar memberikan pemahaman akademik yang lebih komprehensif mengenai hubungan hidrologi-energi-finansial serta risiko investasi proyek energi terbarukan.

1.4.2. Manfaat Praktis

Penelitian ini memberikan manfaat praktis bagi PT PLN (Persero) melalui:

- Rekomendasi debit desain dan kapasitas terpasang optimal sebagai masukan peninjauan desain
- Analisis kelayakan finansial berbasis data teknis aktual dan skenario pendapatan karbon
- Analisis sensitivitas terhadap variasi biaya investasi, faktor kapasitas, dan nilai tukar Rupiah terhadap Dolar sebagai masukan perencanaan pembiayaan dan mitigasi risiko proyek.

1.4.3. Manfaat Kebijakan dan Lingkungan

Penelitian ini mendukung implementasi RUPTL 2025–2034 dan kebijakan transisi energi melalui:

- Identifikasi nilai ekonomi tambahan dari mekanisme kredit karbon (*Article 6*) sebagai bagian dari strategi *green financing*
- Penguatan peran PLTA Watunohu sebagai proyek rendah emisi yang berkontribusi terhadap target NDC 2030 dan NZE 2060.

1.5. Ruang Lingkup Masalah

Penelitian ini difokuskan pada analisis kelayakan teknis dan finansial PLTA Watunohu di Kabupaten Kolaka Utara dengan menggunakan data sekunder dari *Feasibility Study* (FS) terdahulu. Aspek pasar, hukum, dan lingkungan tidak dianalisis dalam penelitian ini, dengan asumsi bahwa aspek-aspek tersebut telah dipertimbangkan dalam dokumen FS terdahulu, serta berada di luar ruang lingkup penelitian ini. Kajian teknis tidak mencakup perhitungan ulang terhadap hidrologi, desain sipil, mekanikal, elektrik, maupun jaringan transmisi, tetapi memanfaatkan seluruh hasil FS sebagai dasar analisis. Aspek teknis yang dianalisis secara mendalam terbatas pada interpretasi hidrologi sungai serta optimasi debit desain dari data FDC untuk memperoleh kombinasi debit yang menghasilkan energi tahunan, faktor kapasitas, dan indikator finansial paling optimal.

Dari sisi finansial, penelitian menilai kelayakan investasi menggunakan indikator NPV, IRR, PI, dan PP pada dua skenario, yaitu skenario dasar dan skenario dengan pendapatan kredit karbon melalui mekanisme *Article 6 Paris Agreement*. Kajian ini bertujuan menilai sejauh mana pendapatan karbon dapat meningkatkan profitabilitas dan keekonomian proyek.

Penelitian juga dilengkapi dengan analisis sensitivitas terhadap tiga variabel utama seperti biaya investasi awal (CAPEX), faktor kapasitas pembangkit dan nilai tukar Rupiah terhadap Dolar, untuk menilai ketahanan finansial proyek dan mengidentifikasi variabel yang paling berpengaruh terhadap hasil investasi. Analisis difokuskan pada aspek finansial dan tidak mencakup faktor non-finansial seperti AMDAL, kebijakan tarif masa depan, atau risiko konstruksi.

Dengan ruang lingkup tersebut, penelitian ini diharapkan memberikan gambaran komprehensif dan aplikatif mengenai kelayakan investasi PLTA Watunohu, serta menjadi bahan pertimbangan bagi PT PLN (Persero) dalam proses validasi proyek, penetapan parameter desain akhir, dan strategi pembiayaan energi terbarukan yang berkelanjutan.

1.6. Kebaharuan

Penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) dalam konteks kajian kelayakan investasi proyek PLTA Watunohu di Kolaka, dengan memperhatikan berbagai celah (*gap*) akademik dan praktis yang belum terakomodasi secara komprehensif dalam penelitian-penelitian terdahulu.

Pertama, penelitian terdahulu seperti studi kelayakan PLTA Tamboli (Nurmala Anik, 2021), masih berfokus pada evaluasi finansial konvensional menggunakan indikator seperti NPV, IRR, MIRR, PP, DPP, dan PI, tanpa mengaitkannya dengan aspek hidrologi maupun potensi pendapatan karbon. Berbeda dari penelitian tersebut, penelitian ini menghadirkan kebaruan melalui analisis teknis berbasis interpretasi hidrologi sungai, serta optimasi debit desain dari data FDC untuk melihat pengaruhnya terhadap energi tahunan, faktor kapasitas, dan indikator finansial. Selain itu, penelitian ini mengombinasikan analisis kelayakan finansial dengan sensitivitas terhadap variabel utama seperti biaya investasi, kapasitas pembangkit, dan kurs Rupiah terhadap Dolar, serta memasukkan evaluasi skema pendanaan karbon melalui mekanisme *Article 6*. Indikator finansial difokuskan pada NPV, IRR, PI, dan PP sehingga penilaian kelayakan lebih terarah dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Kedua, meskipun penelitian PLTA seperti (Azmi et al., 2018) dan (Astutiningsih, 2021) telah memasukkan analisis sensitivitas, keduanya belum mempertimbangkan integrasi skema pendanaan karbon seperti CDM atau *Article 6* Perjanjian Paris. Padahal, PLTA Watunohu berpotensi menghasilkan CERs sebagai tambahan pendapatan. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menilai kelayakan finansial pada skenario dasar dan skenario dengan pendapatan karbon, menggunakan parameter teknis dari FS terdahulu tanpa perhitungan ulang desain hidrologi, sipil, mekanikal, elektrikal, dan jaringan transmisi. Analisis teknis difokuskan pada interpretasi hidrologi sungai dan optimasi debit desain dari data FDC sebagai dasar perhitungan energi, faktor kapasitas, dan potensi kredit karbon. Selain itu, analisis sensitivitas dilakukan terhadap biaya investasi awal, faktor kapasitas, dan kurs Rupiah, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai ketahanan finansial proyek.

Ketiga, berbeda dengan (Duque et al., 2016) dan (Patro et al., 2022) yang membahas pengembangan PLTA kecil dan potensi CDM tanpa menyajikan perhitungan

kuantitatif atas besaran emisi yang dapat dikurangi, penelitian ini menggunakan data hasil optimasi debit desain untuk mengestimasi potensi reduksi emisi CO₂ tahunan sebagai dasar penilaian kelayakan integrasi proyek ke dalam mekanisme pendanaan karbon, khususnya *Article 6*. Estimasi ini tidak dimaksudkan untuk menghitung ulang aspek teknis pembangkit, tetapi untuk memberikan gambaran keekonomian tambahan yang relevan dalam konteks pendapatan karbon. Pendekatan ini juga melampaui kajian (Motta et al., 2025) yang lebih berfokus pada aspek geopolitik proyek PLTA berbasis CDM tanpa mengkaji dampak finansial proyek secara langsung.

Keempat, meskipun penelitian seperti (Daneshgar & Zahedi, 2022) menggunakan pendekatan *system dynamics* untuk memodelkan ketidakpastian makro dalam operasi dan profitabilitas PLTA, penelitian ini tidak menerapkan pemodelan dinamis serupa. Sebaliknya, penelitian ini hanya menjadikan pendekatan tersebut sebagai referensi konseptual untuk memahami pentingnya variabel ketidakpastian dalam evaluasi investasi. Analisis sensitivitas dalam penelitian ini dilakukan secara langsung terhadap parameter finansial utama seperti biaya investasi awal, faktor kapasitas, dan kurs Rupiah terhadap Dolar berdasarkan hasil optimasi debit desain. Dengan pendekatan ini, penelitian ini memberikan kontribusi metodologis melalui analisis sensitivitas multivariat yang sederhana namun efektif dalam mendukung pengambilan keputusan investasi PLTA yang berkelanjutan.

Terakhir, penelitian ini merupakan kajian pertama di wilayah Kolaka yang mengintegrasikan analisis teknis berbasis interpretasi hidrologi sungai, optimasi debit desain dari data FDC, evaluasi kelayakan finansial dalam skenario dasar dan skenario dengan pendapatan karbon, serta analisis sensitivitas multivariat dalam satu kerangka penilaian investasi PLTA yang komprehensif. Dengan pendekatan yang memanfaatkan data teknis dari FS terdahulu tanpa melakukan perhitungan ulang desain, penelitian ini mengisi kekosongan literatur yang belum tercakup oleh studi seperti (Misbah, et., al., 2023) dan (Sofyan & Sudana, 2022), yang hanya berfokus pada aspek teknis atau ekonomi PLTMH tanpa mengaitkannya dengan isu keberlanjutan, pendanaan karbon, dan kebijakan iklim global.