

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, ekspansi industri, dan peningkatan taraf hidup masyarakat. Di wilayah kepulauan seperti Nusa Tenggara Timur (NTT), sistem penyediaan listrik masih sangat bergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) karena kemampuannya untuk beroperasi di daerah yang belum terjangkau jaringan transmisi utama. Salah satu pembangkit penting di wilayah tersebut adalah PLTD Tenau Kupang, yang berfungsi sebagai pusat suplai listrik bagi Kota Kupang dan sekitarnya. Namun, ketergantungan pada mesin diesel menghadirkan tantangan besar dalam hal efisiensi energi dan biaya operasional.

PLTD Tenau, seperti banyak pembangkit diesel lainnya, memiliki karakteristik biaya investasi awal yang relatif rendah tetapi disertai dengan biaya operasional dan pemeliharaan yang tinggi, terutama akibat konsumsi bahan bakar yang besar dan kebutuhan perawatan mesin yang berulang. Faktor lain yang turut meningkatkan biaya siklus hidup adalah harga bahan bakar solar yang cenderung fluktuatif, biaya pengiriman bahan bakar ke wilayah kepulauan, serta jadwal *overhaul* mesin yang cukup sering dilakukan untuk menjaga performa mesin agar tetap optimal. Dalam konteks inilah, analisis *Life Cycle Cost* (LCC) menjadi alat penting untuk mengevaluasi total biaya kepemilikan dan pengoperasian mesin diesel selama masa pakainya, sekaligus menentukan strategi teknis yang paling ekonomis.

Dari sisi teknis, efisiensi termal mesin diesel sangat menentukan besarnya konsumsi bahan bakar per *kilowatt-hour* (kWh) listrik yang dihasilkan. Penurunan efisiensi mesin akibat kondisi beban tidak ideal, umur komponen, dan jadwal perawatan yang kurang optimal akan berimplikasi langsung terhadap peningkatan biaya operasional. Oleh sebab itu, kombinasi analisis teknis dan analisis ekonomi (LCC) sangat relevan dilakukan untuk menilai secara komprehensif performa dan keekonomian mesin diesel PLTD Tenau Kupang.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas analisis biaya pembangkit berbasis diesel di Indonesia, namun masih terdapat kesenjangan dalam konteks penerapan metode LCC pada PLTD eksisting dengan data aktual operasi mesin besar. Amba dan Dalimi (2023), misalnya, melakukan *Economic Analysis of Hybrid Power Plant* (Solar–Diesel) di Pulau

Kawaluso, Sulawesi Utara, dan menemukan bahwa integrasi sistem surya ke dalam pembangkit diesel dapat menurunkan *Levelized Cost of Energy* (LCOE) dibandingkan sistem diesel murni. Namun, penelitian tersebut berfokus pada sistem hybrid berskala kecil dan menggunakan data simulasi, bukan data operasional aktual mesin diesel. Penelitian lain oleh Syaukani, Ramdani, dan Wahid (2022) di Pulau Bungin, Sumbawa, menggunakan perangkat lunak HOMER untuk mensimulasikan sistem *hybrid* PLTS–PLTD, dan hasilnya menunjukkan adanya penghematan konsumsi bahan bakar hingga 35%. Meski demikian, penelitian tersebut juga lebih menekankan pada perancangan sistem energi terbarukan ketimbang analisis mendalam terhadap efisiensi operasional mesin diesel konvensional.

Sementara itu, Kusuma dan Dalimi (2025) dalam penelitiannya mengenai Analisa Teknologi dan Keekonomian De-dieselsasi PLTD Merawangg menyoroti peluang transisi energi dari PLTD ke pembangkit tenaga surya dan angin di Pulau Bangka. Mereka menyimpulkan bahwa kombinasi hybrid mampu menghasilkan *Cost of Energy* (COE) yang lebih rendah dibandingkan PLTD murni. Namun demikian, penelitian ini tidak menyoroti aspek efisiensi dan degradasi performa mesin diesel selama masa pakai, padahal faktor tersebut sangat menentukan komponen biaya terbesar dalam LCC, yakni biaya bahan bakar dan perawatan. Dengan demikian, ketiga penelitian tersebut memberikan kontribusi penting dalam konteks pengembangan energi terbarukan dan efisiensi ekonomi, tetapi masih menyisakan gap penelitian terkait analisis LCC mesin diesel eksisting berbasis data aktual di pembangkit berskala besar seperti PLTD Tenau Kupang.

Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis *Life Cycle Cost* (LCC) secara komprehensif terhadap mesin diesel PLTD Tenau berdasarkan data operasi aktual, mencakup konsumsi bahan bakar, jam kerja tahunan, biaya pemeliharaan, biaya overhaul, dan umur pakai mesin. Melalui pendekatan ini, penelitian akan mengidentifikasi komponen biaya dominan, mengevaluasi pengaruh efisiensi operasional terhadap total biaya siklus hidup, dan memberikan rekomendasi strategi perawatan serta efisiensi energi untuk menekan biaya operasional jangka panjang. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengelola pembangkit dan pihak PLN dalam merumuskan kebijakan perawatan dan investasi yang lebih berkelanjutan di wilayah kepulauan Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Operasional PLTD Tenau Kupang yang menggunakan mesin diesel sebagai sumber utama pembangkit listrik menghadapi tantangan pada aspek efisiensi dan biaya operasional. Tingginya konsumsi bahan bakar, frekuensi *overhaul* yang rutin, serta biaya pemeliharaan yang signifikan menyebabkan perlunya analisis menyeluruh terhadap total biaya sepanjang masa pakai mesin.

Selain itu, penurunan efisiensi mesin akibat umur peralatan dan beban operasi yang tidak ideal dapat mempengaruhi nilai *Life Cycle Cost* (LCC) secara signifikan. Oleh karena itu, penelitian ini perlu menjawab beberapa pertanyaan utama sebagai berikut:

1. Berapa total biaya siklus hidup (LCC) mesin diesel di PLTD Tenau Kupang selama periode operasi tertentu ?
2. Komponen biaya apa yang paling dominan mempengaruhi total *Life Cycle Cost* mesin diesel pada PLTD Tenau Kupang ?
3. Bagaimana pengaruh efisiensi operasional mesin berdasarkan konsumsi bahan bakar dan kondisi beban terhadap total *Life Cycle Cost* ?
4. Bagaimana hasil analisis sensitivitas terhadap perubahan parameter utama seperti harga bahan bakar, efisiensi mesin, tingkat diskonto, dan frekuensi *overhaul* ?
5. Strategi apa yang dapat diterapkan untuk menurunkan *Life Cycle Cost* dan meningkatkan efisiensi biaya operasional mesin diesel PLTD Tenau Kupang ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk mengevaluasi performa dan efisiensi biaya operasional mesin diesel pada PLTD Tenau Kupang melalui pendekatan analisis *Life Cycle Cost* (LCC). Pendekatan ini digunakan untuk menilai total biaya yang timbul selama masa pakai mesin pembangkit dengan mempertimbangkan hubungan antara aspek teknis serta aspek.

Secara khusus, tujuan penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut:

1. Menghitung total *Life Cycle Cost* (LCC) mesin diesel pada PLTD Tenau Kupang selama periode operasi tertentu berdasarkan data aktual konsumsi bahan bakar, biaya pemeliharaan, biaya *overhaul*, serta faktor umur pakai mesin.

2. Menganalisis pengaruh efisiensi operasional mesin terhadap total biaya siklus hidup, dengan memperhatikan hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) dan performa mesin dalam kondisi beban nyata di lapangan.
3. Mengidentifikasi komponen biaya dominan dalam total LCC guna menentukan area yang paling potensial untuk peningkatan efisiensi biaya.
4. Melakukan analisis sensitivitas terhadap parameter-parameter utama seperti harga bahan bakar, efisiensi mesin, frekuensi perawatan, dan tingkat diskonto untuk menilai dampak perubahan kondisi operasional terhadap nilai total LCC.
5. Memberikan rekomendasi teknis dan ekonomis dalam upaya meningkatkan efisiensi biaya operasional mesin diesel, termasuk strategi perawatan dan optimasi beban operasi yang dapat memperpanjang umur pakai mesin dan menurunkan biaya jangka panjang.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik dari sisi akademis maupun praktis, terutama dalam bidang teknik mesin yang berfokus pada analisis kinerja dan efisiensi sistem pembangkitan tenaga. Adapun manfaat penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis
 - Memberikan kontribusi ilmiah dalam penerapan metode *Life Cycle Cost* (LCC) untuk analisis performa dan efisiensi mesin pembangkit tenaga diesel.
 - Menjadi referensi penelitian lanjutan di bidang konversi energi, efisiensi termal, dan manajemen perawatan mesin, khususnya untuk pembangkit berbasis bahan bakar fosil di wilayah kepulauan Indonesia.
 - Memperkuat pemahaman mahasiswa dan akademisi mengenai hubungan antara aspek teknis dengan aspek ekonomis sepanjang umur peralatan.
2. Manfaat Teknis
 - Memberikan informasi teknis terukur mengenai kinerja operasional mesin diesel di PLTD Tenau, meliputi konsumsi bahan bakar, jadwal perawatan, dan biaya siklus hidupnya.

- Menjadi dasar pengambilan keputusan teknis dalam menentukan pola operasi mesin, jadwal *overhaul*, serta strategi peningkatan efisiensi bahan bakar guna menekan biaya operasional.
 - Menunjukkan komponen biaya dominan dalam siklus hidup mesin, sehingga pihak operator dapat fokus pada aspek yang paling berpengaruh terhadap efisiensi sistem.
3. Manfaat Praktis
- Dapat digunakan oleh pihak PLN atau pengelola PLTD Tenau Kupang sebagai bahan evaluasi dan perencanaan pengelolaan aset mesin pembangkit secara berkelanjutan.
 - Menyediakan model perhitungan LCC yang aplikatif dan dapat diadaptasi untuk pembangkit diesel lainnya di wilayah Nusa Tenggara Timur maupun daerah kepulauan lainnya.
 - Memberikan rekomendasi strategis bagi pengambil kebijakan di sektor energi dalam mengoptimalkan pembiayaan operasional pembangkit diesel serta mendukung transisi menuju sistem energi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian ini terarah dan fokus, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada aspek-aspek teknis dan ekonomis yang berkaitan langsung dengan analisis *Life Cycle Cost* (LCC) mesin diesel di PLTD Tenau Kupang. Adapun batasan dan cakupan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ruang Lingkup Teknis

- Penelitian difokuskan pada PT PLN UPK Timor unit mesin diesel pembangkit listrik yang beroperasi di PLTD Tenau Kupang, khususnya mesin utama (*prime mover*) yang digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik.
- Parameter teknis yang dianalisis mencakup:
 - a. Konsumsi bahan bakar (*fuel consumption rate*).
 - b. Efisiensi termal mesin (*thermal efficiency*).
 - c. Beban operasi (*loading condition*).
 - d. Frekuensi dan biaya pemeliharaan (*maintenance & overhaul cost*).

- e. Umur operasi mesin (*service life*).
- Data yang digunakan merupakan data aktual operasi mesin yang diperoleh dari catatan log harian, laporan operasi, dan dokumentasi pemeliharaan PLTD.
- 2. Ruang Lingkup Ekonomis
 - Analisis *Life Cycle Cost* (LCC) dilakukan dengan mempertimbangkan komponen biaya berikut:
 - a. Biaya investasi awal (*initial cost*).
 - b. Biaya operasi dan bahan bakar (*operating & fuel cost*).
 - c. Biaya pemeliharaan rutin dan *overhaul*.
 - d. Biaya penggantian komponen besar (*replacement cost*).
 - e. Nilai sisa (*salvage value*) pada akhir umur mesin.
 - Nilai ekonomi dianalisis dengan pendekatan diskonto (*discount rate*) dan analisis sensitivitas terhadap parameter-parameter kunci seperti harga bahan bakar, efisiensi mesin, dan tingkat bunga.
- 3. Ruang Lingkup Lokasi dan Waktu
 - Lokasi penelitian difokuskan pada PLTD Tenau Kupang, Nusa Tenggara Timur, sebagai salah satu pembangkit diesel utama penyedia listrik di wilayah Kupang.
 - Waktu penelitian mencakup periode data operasi dan pemeliharaan mesin selama lima tahun terakhir sebagai dasar analisis historis dan proyeksi biaya siklus hidup.
- 4. Batasan Penelitian
 - Penelitian tidak membahas aspek perancangan sistem kelistrikan, kontrol, atau integrasi sistem *hybrid* (PLTS–PLTD).
 - Perhitungan emisi gas buang tidak dimasukkan dalam ruang lingkup analisis.
 - Nilai biaya dan efisiensi dihitung berdasarkan data aktual dan asumsi konservatif sesuai kondisi operasi di lapangan, tanpa simulasi optimasi berbasis *software*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun agar pembahasan tersusun secara sistematis dan mudah dipahami. Penelitian ini terdiri dari beberapa bab yang saling berhubungan, dengan uraian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan. Bab ini menjelaskan dasar pemikiran dan arah penelitian yang akan dilakukan, termasuk alasan pentingnya analisis *Life Cycle Cost* (LCC) pada mesin diesel PLTD Tenau Kupang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat teori-teori dasar yang mendukung penelitian, seperti teori *Life Cycle Cost Analysis*, efisiensi termal mesin diesel, dan manajemen pemeliharaan. Selain itu, bab ini juga mencakup tinjauan penelitian terdahulu yang relevan sebagai landasan dalam mengidentifikasi *research gap* serta membangun kerangka teori dan kerangka berpikir penelitian.

BAB III METODE PENULISAN

Bab ini menjelaskan metode penulisan yang digunakan, meliputi objek penelitian, jenis dan sumber data, variabel yang dianalisis, metode pengumpulan data, serta langkah-langkah analisis *Life Cycle Cost* (LCC). Termasuk di dalamnya adalah alur penelitian, asumsi dasar, serta rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan teknis dan ekonomis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil pengolahan dan analisis data yang diperoleh dari PLTD Tenau Kupang. Analisis meliputi perhitungan total biaya siklus hidup, efisiensi operasional mesin, identifikasi komponen biaya dominan, dan analisis sensitivitas terhadap parameter utama. Selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap hasil tersebut untuk menilai performa ekonomi dan teknis mesin diesel.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan, serta memberikan saran dan rekomendasi teknis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi biaya operasional mesin diesel pada PLTD Tenau Kupang. Selain itu, saran juga diarahkan untuk penelitian selanjutnya yang relevan dalam bidang teknik mesin dan analisis sistem pembangkitan tenaga.