

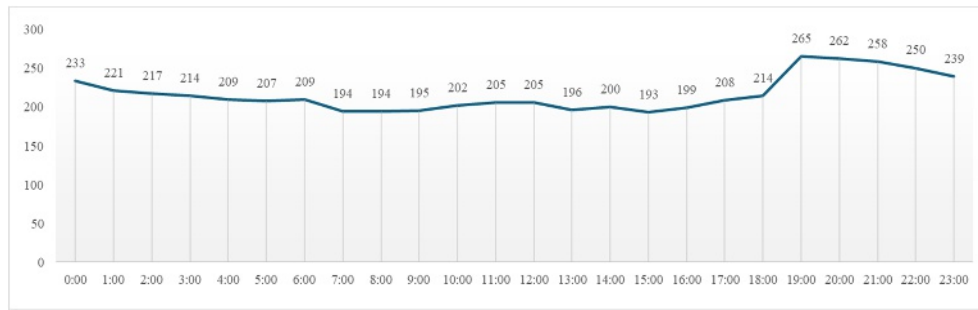
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Desa Kasonaweja di Kabupaten Mamberamo Raya, Papua, berfungsi sebagai pusat kegiatan ekonomi dan logistik yang vital di wilayah tersebut, yang ditunjang oleh keberadaan pelabuhan penyeberangan. Namun, pengembangan wilayah ini terkendala oleh aksesibilitas yang sangat terbatas, yaitu melalui perjalanan laut selama 27 jam dari Jayapura atau penerbangan perintis berkapasitas kecil. Keterisolasian ini berdampak langsung pada berbagai aspek pembangunan, termasuk penyediaan energi listrik yang andal.

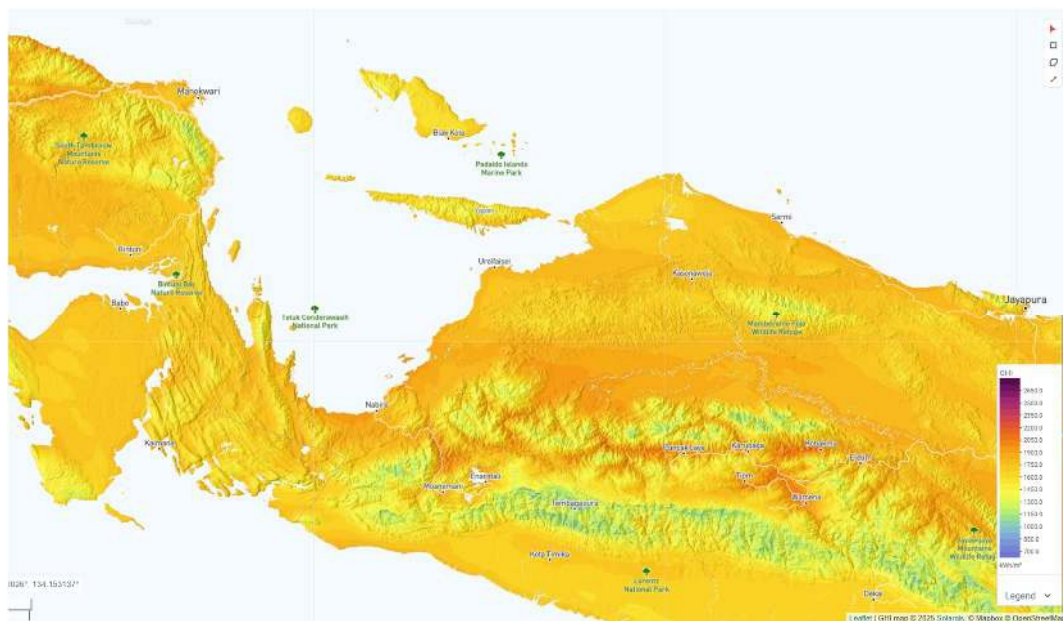
Saat ini, pasokan listrik bagi 583 pelanggan (didominasi oleh 569 pelanggan rumah tangga) di Kasonaweja sepenuhnya bergantung pada satu Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) berkapasitas 400 kW. Ketergantungan pada bahan bakar minyak (BBM) ini menimbulkan dua masalah kritis yaitu ketidakandalan pasokan dan biaya produksi yang sangat tinggi. Pasokan BBM yang harus dikirim dari Jayapura menghadapi ongkos logistik mahal akibat jarak dan kondisi geografis, sehingga sering menyebabkan keterlambatan. Situasi ini mendorong Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik membengkak hingga Rp 5.581 per kWh, angka yang jauh di atas rata-rata nasional. Akibatnya, layanan listrik kerap mengalami fluktuasi dan pemadaman, yang menghambat produktivitas ekonomi serta membatasi akses masyarakat terhadap layanan pendidikan, kesehatan, dan penunjang kualitas hidup lainnya.

Beban puncak sistem kelistrikan eksisting telah mencapai 265 kW. Sementara itu, Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025-2034 memproyeksikan pertumbuhan kebutuhan listrik di Papua sebesar 5,1% per tahun. Dengan mengasumsikan pola konsumsi mengikuti profil beban wilayah Papua, diperkirakan dalam 7-8 tahun mendatang beban puncak akan melampaui kapasitas PLTD yang ada. Tanpa intervensi, kondisi ini akan semakin memperparah krisis kelistrikan yang ada.



Gambar 1-1 Langgam Beban Kasonaweja Januari 2026

Di sisi lain, Desa Kasonaweja memiliki potensi energi surya yang sangat menjanjikan sebagai solusi, dengan rata-rata radiasi matahari (*Global Horizontal Irradiance*) sebesar 4.90 kWh/m²/hari. Secara global, tren positif juga mendukung pemanfaatan energi surya. *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2023) mencatat penurunan biaya pembangkitan listrik tenaga surya hingga 90% dalam dekade terakhir, menjadikannya semakin kompetitif secara ekonomi terutama di lokasi terpencil seperti Kasonaweja yang memiliki BPP diesel tinggi dan ketergantungan pada pasokan bahan bakar yang rentan.



Gambar 1-2 Peta Potensi Iradiasi Surya Wilayah Papua (SolarGIS)

Berdasarkan identifikasi permasalahan dan peluang tersebut, penelitian ini mengusulkan integrasi sistem pembangkit *hybrid* antara Pembangkit Listrik Tenaga Surya

(PLTS), *Battery Energy Storage System* (BESS) dan PLTD eksisting. Sistem ini dirancang untuk mengurangi ketergantungan pada BBM, menurunkan BPP, serta mewujudkan operasi sistem kelistrikan yang andal dan berkelanjutan selama 24 jam. Untuk menganalisis konfigurasi tekno-ekonomi yang paling optimal, penelitian ini akan memanfaatkan perangkat lunak simulasi HOMER Pro.

Studi ini diharapkan dapat memberikan bukti empiris dan rekomendasi yang layak bagi PLN dan Pemerintah Daerah dalam membangun sistem kelistrikan yang lebih andal dan berkelanjutan di Desa Kasonaweja. Lebih luas lagi, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi model percontohan bagi pengembangan kelistrikan di daerah-daerah terpencil lain di Indonesia Timur yang menghadapi permasalahan serupa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah ketidakstabilan pasokan listrik dan tingginya Biaya Pokok Penyediaan (BPP) akibat ketergantungan pada BBM yang mahal dan rentan pasokannya, sementara potensi energi surya yang melimpah di Desa Kasonaweja belum dimanfaatkan secara optimal. Untuk mengatasi permasalahan ini melalui integrasi sistem *hybrid* yang stabil dan berkelanjutan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konfigurasi teknis dan kapasitas optimal sistem *hybrid* PLTD, PLTS dan Baterai (BESS) yang dapat menjamin pasokan listrik yang stabil dan andal 24 jam di Desa Kasonaweja?
2. Bagaimana performa ekonomi dan kelayakan finansial sistem hybrid optimal tersebut jika dibandingkan dengan sistem PLTD existing, yang ditinjau dari *Levelized Cost of Energy* (LCOE), pengurangan Biaya Pokok Penyediaan (BPP), serta indikator finansial *Net Present Value* (NPV), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PBP)?
3. Seberapa besar kontribusi sistem hibrida PLTD, PLTS dan Baterai (BESS) dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (khususnya CO₂) dan ketergantungan pada BBM di Desa Kasonaweja?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memodelkan dan menentukan konfigurasi teknis serta kapasitas optimal sistem *hybrid* PLTD, PLTS dan Baterai (BESS) yang mampu menjamin pasokan listrik yang stabil dan andal 24 jam di Desa Kasonaweja.
2. Menganalisis performa ekonomi dan kelayakan finansial sistem *hybrid* teroptimisasi dengan membandingkannya terhadap sistem PLTD existing, melalui perhitungan *Levelized Cost of Energy* (LCOE), potensi penurunan Biaya Pokok Penyediaan (BPP), serta evaluasi indikator finansial *Net Present Value* (NPV), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PBP).
3. Mengkuantifikasi kontribusi sistem *hybrid* dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (khususnya CO₂) dan ketergantungan pada BBM di Desa Kasonaweja.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat, baik secara praktis maupun teoritis, sebagai berikut:

I. Manfaat Praktis

1. Bagi PLN dan Pemerintah Daerah sebagai bahan pertimbangan dan rekomendasi berbasis data untuk merumuskan kebijakan dan investasi dalam pengembangan sistem *hybrid* PLTD, PLTS dan BESS di Kasonaweja dan daerah terpencil serupa, guna menurunkan BPP, meningkatkan stabilitas dan keandalan pasokan listrik, serta mengurangi ketergantungan pada BBM.
2. Bagi Masyarakat Kasonaweja, penelitian ini diharapkan dapat menjadi langkah awal untuk mewujudkan pasokan listrik yang stabil, andal, dan berkelanjutan, yang akan mendukung peningkatan kualitas hidup, kegiatan ekonomi, pendidikan, dan layanan kesehatan masyarakat.
3. Bagi dunia teknik dan perencanaan energi, hal ini dapat memberikan sebuah *case study* yang komprehensif beserta konfigurasi teknis-ekonomis yang terukur mengenai perancangan sistem *hybrid*, yang dapat dijadikan panduan dalam merencanakan sistem serupa di lokasi lain.

II. Manfaat Teoritis/Akademis

1. Bagi pengembangan ilmu pengetahuan, penelitian ini berkontribusi pada khazanah ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang teknik energi terbarukan, dengan mengaplikasikan metode simulasi HOMER Pro untuk mengoptimasi sistem *hybrid* dalam konteks spesifik daerah terpencil Indonesia, serta menganalisis peran kritis BESS dalam menstabilkan pasokan dari energi surya yang *intermiten* dan mengurangi ketergantungan sistem pada BBM.
2. Bagi Penelitian Selanjutnya, hasil studi ini dapat dijadikan sebagai referensi dan dasar (*baseline*) bagi penelitian lanjutan, seperti studi integrasi energi terbarukan lainnya, analisis kebijakan pendukung, atau optimasi sistem dengan teknologi baterai yang lebih mutakhir dalam konteks transisi energi daerah terpencil.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian ini tetap fokus dan terarah, ruang lingkup dan batasannya ditetapkan sebagai berikut:

1. Lokasi dan Sistem *Existing*

Penelitian berfokus pada sistem kelistrikan isolasi di Desa Kasonaweja, Kabupaten Mamberamo Raya, Papua. Sistem eksisting yang menjadi dasar simulasi adalah PLTD berkapasitas 400 kW yang saat ini menghadapi tantangan ketidakstabilan pasokan listrik akibat ketergantungan pada BBM dengan beban puncak tercatat sebesar 265 kW.

2. Peningkatan Kapasitas dan Integrasi Pembangkit

Ruang lingkup teknis mencakup studi integrasi dan optimasi kapasitas pembangkit dalam konfigurasi sistem *hybrid*, yang melibatkan:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).
- b. *Battery Energy Storage System* (BESS).
- c. PLTD eksisting (sebagai *backup*).

3. Tujuan Analisis Sistem

Analisis difokuskan untuk mencapai sistem kelistrikan yang mampu menyuplai beban pasokan listrik yang kontinu (24 jam), ekonomis dan layak secara finansial serta andal (*reliable*) dalam kondisi ketergantungan pada BBM yang

tinggi. Simulasi menggunakan *software* HOMER Pro untuk menemukan konfigurasi teknis dan kapasitas yang paling optimal.

4. Parameter Ekonomi dan Lingkungan

Kelayakan sistem dinilai berdasarkan parameter utama:

- a. Ekonomi dan Finansial: LCOE, potensi penurunan BPP, serta indikator kelayakan investasi berupa *Net Present Value* (NPV), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PBP). Analisis dilakukan dengan membandingkan skenario sistem hybrid dengan *baseline* sistem PLTD eksisting.
- b. Lingkungan: Pengurangan emisi CO₂ dan konsumsi BBM

5. Batasan Penelitian

Penelitian ini tidak mencakup:

- a. Analisis dampak integrasi sistem terhadap stabilitas jaringan distribusi (*Grid Impact Study*).
- b. Analisis detail teknis komponen seperti jenis panel surya atau kimia baterai tertentu.
- c. Analisis sensitivitas mendalam terhadap tarif jual listrik dalam perhitungan finansial. Analisis finansial akan menggunakan asumsi suku bunga diskonto (*discount rate*) yang tetap.
- d. Aspek sosial dan implementasi di lapangan, seperti mekanisme pembiayaan atau skema *business model*.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian tesis ini disusun secara sistematis ke dalam lima bab utama untuk memudahkan pemahaman alur penelitian secara keseluruhan. Setiap bab saling berkaitan dan membangun fondasi untuk analisis serta kesimpulan akhir. Sistematika penulisan tersebut diuraikan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan fondasi dari seluruh penelitian. Bab ini diawali dengan Latar Belakang yang menguraikan kondisi *eksisting* sistem kelistrikan di Desa Kasonaweja,

permasalahan tingginya BPP dan terbatasnya jam operasi PLTD, serta potensi energi surya yang belum dimanfaatkan. Dari latar belakang tersebut, kemudian dirumuskan Rumusan Masalah yang spesifik dan terukur untuk membatasi ruang lingkup analisis. Bab ini juga memaparkan Tujuan Penelitian sebagai sasaran yang ingin dicapai, Manfaat Penelitian untuk menggambarkan kontribusi praktis dan teoritis, serta Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian untuk memfokuskan analisis pada aspek-aspek tertentu dan mengelola ekspektasi pembaca.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas landasan teori dan hasil-hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian. Materi yang dibahas meliputi teori dasar tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), mencakup komponen utama dan faktor yang mempengaruhi kinerjanya. Dibahas pula teknologi *Battery Energy Storage System* (BESS) mengenai peran, jenis, dan karakteristiknya dalam sistem *hybrid*. Teori operasi Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan karakteristik bebannya juga dijelaskan. Selanjutnya, bab ini akan mengkaji konsep sistem kelistrikan *hybrid*, prinsip simulasi dan optimasi dengan perangkat lunak HOMER Pro, serta parameter ekonomi seperti *Levelized Cost of Electricity* (LCOE) yang menjadi indikator kelayakan. Tinjauan terhadap jurnal-jurnal terdahulu juga disajikan untuk menunjukkan posisi dan *novelty* penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjabarkan langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam penelitian, mulai dari persiapan hingga analisis. Diuraikan metode pengumpulan data, yang meliputi data teknis (beban listrik, spesifikasi PLTD *existing*), data sumber daya energi terbarukan (iradiasi matahari), dan data ekonomi (harga komponen, suku bunga). Bab ini juga menjelaskan asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan. Tahapan inti penelitian, yaitu pemodelan dan simulasi menggunakan *software* HOMER Pro, dijelaskan secara rinci, termasuk bagaimana konfigurasi sistem dimodelkan dan skenario-skenario yang akan diuji. Terakhir, dijelaskan metode dan parameter yang digunakan untuk menganalisis hasil simulasi, baik dari aspek teknis, ekonomi, maupun lingkungan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan dan menginterpretasikan hasil simulasi secara komprehensif. Data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan diagram. Pembahasan mencakup analisis

konfigurasi optimal, performa teknis (keandalan pasokan, operasional BESS), perbandingan ekonomi (LCOE & BPP), serta dampak lingkungan (pengurangan emisi dan BBM). Hasil tersebut dikaitkan dengan teori dan studi terdahulu pada Bab II.

BAB V : PENUTUP

Bab ini merupakan simpulan akhir dari seluruh rangkaian penelitian. Kesimpulan dirumuskan sebagai jawaban atas rumusan masalah yang diajukan dalam Bab I, yang menyatakan temuan utama penelitian mengenai konfigurasi optimal, kelayakan ekonomi, dan manfaat lingkungan dari sistem *hybrid* yang diusulkan. Selain itu, bab ini juga memuat saran yang ditujukan kepada para pemangku kepentingan, seperti PLN dan Pemerintah Daerah, sebagai rekomendasi kebijakan dan implementasi teknis berdasarkan temuan penelitian. Saran untuk penelitian selanjutnya juga diberikan untuk pengembangan topik ini lebih lanjut.