

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi listrik memegang peranan fundamental pembangunan ekonomi, peningkatan kualitas hidup, dan kemajuan sosial, khususnya di wilayah pedesaan. Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan bentang geografis yang sangat luas dan beragam, menghadapi tantangan signifikan dalam upaya mencapai target elektrifikasi 100% di seluruh penjuru negeri. Wilayah terdepan, terluar, dan tertinggal (3T) seringkali menjadi area yang paling sulit dijangkau oleh infrastruktur kelistrikan nasional. Terdapat 6.700 desa di Indonesia masih belum teraliri listrik (Menteri ESDM, 2025).

Salah satu wilayah yang mengalami permasalahan ini adalah Huta Halumbeak, Dusun I, Desa Aek Sipitundai yang terdapat di Kabupaten Samosir, Provinsi Sumatera Utara. Dusun ini terdapat 8-10 rumah yang belum terjangkau listrik nasional, untuk memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari masyarakat desa masih sangat bergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (Genset). Namun, ketergantungan pada genset sebagai sumber energi utama di daerah ini menimbulkan berbagai masalah, seperti biaya operasional yang tinggi, distribusi yang sulit dan mahal, polusi udara yang tinggi serta emisi gas buang yang dihasilkan oleh generator set menyebabkan pencemaran lingkungan.

Sementara itu, sebagai negara yang dilintasi garis khatulistiwa Indonesia dianugerahi energi terbarukan yang melimpah, khususnya energi tenaga surya.

Indonesia menerima radiasi matahari yang intens sepanjang tahun, yang memiliki potensi teknis energi surya diperkirakan mencapai $4,8 \text{ kWh/m}^2$ atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp (Kementrian ESDM, 2012). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menawarkan alternatif energi bersih dan terbarukan yang sangat cocok untuk di daerah terpencil, karena memiliki keunggulan yaitu meliputi biaya operasional yang rendah, kebutuhan perawatan yang minimal, serta tidak menghasilkan emisi selama pengoperasiannya. Namun, PLTS juga memiliki kekurangan yaitu membutuhkan biaya investasi awal yang relatif mahal untuk instalasi panel surya, *inverter*, dan sistem penyimpanan energi (baterai), selain itu produksi energi dari PLTS bergantung pada ketersediaan sinar matahari (*intermittent*), kondisi cuaca dan hanya dapat beroperasi pada siang hari.

Menyadari keterbatasan masing-masing teknologi tersebut (PLTS dan Genset), pembangkit listrik *hybrid* digunakan untuk mengkombinasi keduanya sebagai solusi yang pragmatis dan dapat diterapkan di Desa Aek Siptudai. Penelitian ini terinspirasi oleh Suparman & Elvikasari (2021) yang berjudul Rancangan Bangun Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* PLTS dan Genset Sebagai Suplai Beban Untuk Daerah Terpencil dan Jargantara & Patwa (2024) yang berjudul Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* pada Pulau Polewali Kabupaten Pangkep.

Perancangan dan pengoptimalan sistem *hybrid*, perlu dilakukan analisis dan simulasi yang cermat, aplikasi *HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)* adalah salah satu perangkat lunak yang populer untuk merancang dan

mengoptimalkan sistem *hybrid*, dengan aplikasi ini memungkinkan peneliti untuk mensimulasikan berbagai konfigurasi sistem, mempertimbangkan faktor-faktor seperti beban listrik, radiasi matahari, dan biaya komponen untuk menemukan solusi yang paling efisien dan ekonomis. Penggunaan aplikasi *HOMER* ini penulis merujuk pada hasil penelitian Pratama, et al. (2022) yang menemukan bahwa konfigurasi sistem PLTH memiliki hasil yang lebih optimal dibandingkan konfigurasi pada sistem genset. Banyak penelitian yang membahas perancangan sistem *hybrid* PLTS dan Genset untuk daerah terpencil, namun penelitian yang secara khusus mengoptimalkan konfigurasi kapasitas baterai dan analisis keekonomian sistem menggunakan aplikasi *HOMER* di Desa Aek Sipitundai masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat mengisi kekosongan tersebut dengan menawarkan solusi teknis dan ekonomis yang lebih adaptif terhadap kondisi lokal.

Tabel 1.1 Spesifikasi Genset (generator set) yang digunakan

Fitur	Spesifikasi Umum
Model	YMT9900NDD
Daya rata-rata (<i>Rated power</i>)	6500 Watt
Daya maksimum (<i>Max power</i>)	7000 Watt
Tegangan output (<i>Rated voltage</i>)	220 Volt (V)
Frekuensi (<i>Frequency</i>)	50 Hz
Faktor Daya (<i>Power Factor</i>)	1

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Ketergantungan masyarakat desa Aek Sipitudai pada genset berbahan bakar fosil menyebabkan tingginya biaya operasional dan ketidakpastian pasokan listrik.
2. Sifat *intermittent* (ketergantungan) dari sumber energi surya menimbulkan ketidakstabilan pasokan listrik apabila hanya mengandalkan PLTS tanpa sistem rancangan.
3. Kebutuhan perancangan sistem *hybrid* PLTS-Genset yang optimal, yang dapat memastikan keandalan suplai listrik dengan efisiensi teknis dan biaya.
4. Keterbatasan data konsumsi beban harian dan potensi energi surya yang akurat, yang diperlukan untuk simulasi dan optimasi sistem *hybrid* menggunakan aplikasi *HOMER*.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian berfokus pada optimasi sistem *hybrid* antara Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Genset, dengan Genset berfungsi sebagai sumber daya cadangan (*back-up*) menggunakan aplikasi simulasi *HOMER Pro*.
2. Studi kasus dilakukan secara khusus di Halumbeak Dusun I yang terletak di Desa Aek Sipitudai, Kecamatan Sianjur Mulamula, dengan mempertimbangkan karakteristik beban listrik harian dan potensi radiasi matahari di wilayah tersebut.

3. Penelitian ini tidak membahas aspek sosial, lingkungan hidup dan kebijakan secara mendalam, seperti analisis dampak sosial-ekonomi atau emisi karbon secara kuantitatif.
4. Variasi harga bahan bakar, degradasi panel surya dan penurunan efisiensi baterai selama masa operasi tidak dimodelkan secara dinamis dalam simulasi.
5. Penelitian hanya menggunakan satu jenis teknologi panel surya, baterai, dan *inverter* yang spesifik sesuai parameter simulasi tanpa membandingkan alternatif teknologi lain.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem *hybrid* PLTS-Genset yang optimal, untuk memenuhi kebutuhan listrik di Halumbeak Dusun I Desa Aek Sipitudai, dengan mempertimbangkan karakteristik beban listrik dan potensi energi surya setempat menggunakan aplikasi *HOMER* ?
2. Berapa estimasi biaya investasi, biaya operasional, dan total biaya sistem (NPC dan LCOE) dari sistem *hybrid* PLTS-Genset yang dirancang?
3. Bagaimana analisis perbandingan biaya dan kinerja antara sistem *Hybrid* PLTS-Genset yang dirancang dengan sistem Genset konvensional yang saat ini digunakan di Desa Aek Sipitudai?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem *hybrid* PLTS dan Genset yang optimal untuk memenuhi kebutuhan listrik di Desa Aek Sipitudai, dengan mempertimbangkan karakteristik beban listrik dan potensi energi surya, menggunakan aplikasi *HOMER Pro*.
2. Menganalisis estimasi biaya investasi, biaya operasional, dan total biaya sistem *hybrid* PLTS- Genset yang dirancang.
3. Melakukan analisis komparatif antara sistem *hybrid* PLTS-Genset dan sistem genset konvensional, baik dari segi teknis maupun keekonomian, untuk menentukan sistem yang lebih layak dan berkelanjutan bagi masyarakat desa.

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan panduan bagi perancangan sistem energi terbarukan dalam mengoptimalkan system *hybrid* PLTS-Genset dengan genset sebagai pelengkap di desa tersebut.
2. Menyediakan informasi mengenai potensi penghematan biaya dan peningkatan efisiensi system *hybrid* PLTS-Genset dibandingkan dengan sistem PLTD konvensional.
3. Mendorong pemanfaatan energi surya dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil di desa-desa terpencil.