

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik yang andal dan berkelanjutan mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan laju pertumbuhan populasi dan kompleksitas aktivitas industri di era modern. Tantangan distribusi energi listrik menjadi semakin kompleks, terutama di wilayah terpencil dan pedesaan yang secara geografis dan infrastruktur menghadapi kendala mendasar. Biaya instalasi jaringan listrik konvensional yang sangat tinggi menjadi penghalang utama pemerataan akses energi. Faktor geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau dengan topografi yang beragam meliputi pegunungan, hutan, dan wilayah kepulauan secara signifikan meningkatkan kompleksitas pembangunan infrastruktur listrik. Keterbatasan ini berdampak langsung pada masyarakat di daerah terpencil, membatasi mereka dalam mengembangkan aktivitas ekonomi, mengakses pendidikan berkualitas, dan meningkatkan kualitas hidup. Permasalahannya, kesenjangan pembangunan antara wilayah perkotaan dan pedesaan yang semakin melebar, menciptakan lingkaran siklus ketidakberdayaan yang sulit memecahkan strategi tanpa intervensi dan inovasi teknologi energi alternatif.

Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama dalam pembangkitan listrik telah menimbulkan serangkaian permasalahan sistemik yang kompleks. Indonesia merupakan negara penyumbang emisi karbon terbesar keenam di dunia. *Carbon emission disclosure* merupakan bentuk tanggung jawab moral dan sosial perusahaan kepada masyarakat dalam mendukung upaya penurunan emisi karbon. Saat ini, sektor yang memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi karbon di Indonesia adalah sektor penggunaan lahan. Namun, diperkirakan pada tahun 2030, sektor energi akan menjadi penyumbang emisi karbon terbesar di Indonesia [1]. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil berkontribusi signifikan terhadap perubahan iklim global, dengan dampak lingkungan yang semakin berdampak. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang berasal dari sisa-sisa organisme hidup masa lampau yang mengalami proses sedimentasi dan pemfosilan selama jutaan tahun. Proses ini melibatkan pengendapan senyawa hidrokarbon yang dihasilkan oleh tumbuhan melalui fotosintesis, yaitu mekanisme pengubahan energi surya menjadi energi kimia. Sebagian besar bahan bakar fosil terbentuk pada masa Karboniferus dalam era Paleozoikum, sekitar 325 juta tahun yang lalu. Contoh bahan bakar fosil meliputi batu bara, minyak bumi, dan gas alam [2]. Selain itu, ketergantungan yang tinggi pada sumber energi tidak hanya menimbulkan kerentanan energi nasional, tetapi juga mengekspos sistem energi terhadap guncangan geopolitik dan mengancam harga komoditas internasional. Kompleksitas

permasalahan energi fosil tidak hanya terbatas pada aspek lingkungan, tetapi juga mencakup dimensi ekonomi yang sangat dinamis. Kenaikan dan volatilitas harga bahan bakar internasional secara langsung berdampak pada biaya operasional pembangkit listrik, yang pada akhirnya akan dibebankan kepada konsumen. Fluktuasi harga minyak, gas, dan batubara menciptakan ketebalan ekonomi yang signifikan, menghambat perencanaan jangka panjang dan investasi dalam infrastruktur energi. Oleh karena itu, transisi menuju solusi energi alternatif yang ramah lingkungan, mandiri, dan ekonomi menjadi suatu keharusan strategi. Pendekatan berbasis energi terbarukan seperti energi surya, angin, dan mikrohidro tidak hanya menawarkan solusi lingkungan yang berkelanjutan, tetapi juga memberikan kepedulian terhadap ekonomi, mengurangi ketergantungan impor, dan membuka peluang pengembangan teknologi energi domestik.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya telah muncul sebagai solusi transformatif dalam mengatasi tantangan distribusi energi listrik, khususnya di wilayah-wilayah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional. Sebagai teknologi energi terbaru yang inovatif, PLTS menawarkan pendekatan menyeluruh untuk menjawab kompleksitas kebutuhan energi dengan memanfaatkan sumber daya matahari yang melimpah dan berkelanjutan. Indonesia terletak di wilayah garis khatulistiwa, sehingga memiliki potensi energi surya yang melimpah dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ per hari di seluruh wilayah. Namun demikian, potensi energi surya yang melimpah di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Di sisi lain, masih terdapat sejumlah wilayah yang belum teraliri listrik akibat keterbatasan jangkauan infrastruktur jaringan PLN. Dalam konteks ini, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistem yang bersifat modular dan mudah dipindahkan menjadi solusi yang potensial untuk penyediaan energi listrik, khususnya di daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional [3]. Berdasarkan sistem instalasinya, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu sistem off-grid dan sistem on-grid. PLTS off-grid, yang juga dikenal sebagai sistem stand-alone, merupakan sistem yang beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik PLN. Sementara itu, PLTS on-grid adalah sistem yang terintegrasi dengan jaringan listrik PLN, sehingga memungkinkan adanya interaksi dan suplai energi secara dua arah antara sistem PLTS dan jaringan utilitas [4]. Keunggulan mendasar PLTS terletak pada kemampuannya menghasilkan listrik tanpa menimbulkan emisi karbon, memberikan tingkat degradasi yang tinggi dalam implementasinya, dan memiliki biaya operasional yang relatif rendah setelah tahap investasi awal. Perkembangan teknologi dalam sistem PLTS *off-grid* telah membuka peluang baru untuk merancang solusi energi yang sangat presisi dan disesuaikan dengan

kebutuhan spesifik suatu wilayah atau komunitas. Perangkat lunak canggih seperti PVsyst memainkan peran kunci dalam proses ini, memungkinkan para insinyur dan perancang untuk melakukan simulasi komprehensif yang mengintegrasikan berbagai variabel kritis. Melalui pemodelan digital yang canggih, PVsyst mampu menganalisis potensi radiasi matahari, menggambarkan kinerja panel surya, menghitung kebutuhan penyimpanan energi, serta merancang konfigurasi sistem yang paling optimal. Kemampuan simulasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi desain, tetapi juga menurunkan risiko kesalahan dalam perencanaan, memberikan keyakinan lebih besar kepada pemangku kepentingan dalam mengimplementasikan proyek PLTS skala kecil hingga menengah di berbagai kondisi geografis dan klimatologis.

PVsyst telah menjadi standar internasional dalam simulasi dan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), menghadirkan kemampuan komputasi canggih yang mendukung proses perencanaan energi terbarukan. Sekilas oleh para ahli di Universitas Jenewa, Swiss, perangkat lunak ini telah menjadi referensi utama bagi insinyur, perancang, dan peneliti dalam menganalisis sistem fotovoltaik secara komprehensif. Salah satu keunggulan dari perangkat lunak PVsyst adalah kemampuannya terintegrasi dengan database yang dari Google Maps maupun data meteorologi. Selain itu, PVsyst juga menyediakan pembaruan berkala terhadap database komponen berdasarkan data pasar aktual. Dengan demikian, simulasi sistem PLTS yang dilakukan menggunakan PVsyst dapat menghasilkan output yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan [5]. Fitur-fitur utama PVsyst memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis mendalam dan presisi terhadap kinerja PLTS. Melalui pemodelan digital yang canggih, perangkat lunak ini mampu menghasilkan perhitungan daya keluaran dengan akurasi tinggi, mentransmisikan kebutuhan komponen secara spesifik, dan memprediksi kinerja sistem dalam berbagai skenario lingkungan. Kemampuan simulasi meliputi evaluasi kehilangan energi, analisis bayangan, perhitungan hasil tahunan, serta optimalisasi konfigurasi sistem. Dengan demikian, PVsyst tidak sekadar menjadi alat simulasi, melainkan platform strategis yang membantu pengambil keputusan dalam merancang sistem PLTS yang efisien, handal, dan sesuai dengan kondisi spesifik lokasi.

Penelitian ini mengambil fokus khusus pada simulasi dan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* dengan kapasitas 3 kW, yang dipandang sebagai solusi strategis untuk menjawab tantangan elektrifikasi di wilayah terpencil Indonesia. Pemilihan kapasitas 3 kW tidak dilakukan secara arbitrer, melainkan berdasarkan pertimbangan teknis dan sosial yang komprehensif. Kapasitas ini secara optimal mampu mendukung kebutuhan listrik rumah tangga skala kecil hingga menengah, termasuk fasilitas publik dasar seperti pos kesehatan,

sekolah pedesaan, dan pusat kegiatan masyarakat di daerah yang belum memiliki akses listrik konvensional. Dengan kemampuan menghasilkan daya listrik berkisar 10-12 kWh per harinya, sistem 3 kW dapat mencukupi kebutuhan dasar seperti penerangan, pengisian daya perangkat elektronik, serta mendukung peralatan rumah tangga berukuran kecil. PLTS *off-grid* merupakan pembangkit listrik yang hanya memanfaatkan energi matahari sebagai pemasok utama yang diubah menjadi energi listrik. PLTS *off-grid* ini biasanya di aplikasikan pada wilayah yang sulit terjangkau jaringan PLN karena PLTS ini mampu berdiri sendiri tanpa adanya pasokan listrik dari PLN. Perawatan PLTS *off-grid* tergolong mudah dan mampu bertahan selama bertahun-tahun tanpa penggantian [6]. Signifikansi penelitian ini melampaui sekadar eksperimen teknis, tetapi menyentuh dimensi strategis pembangunan energi nasional. Melalui simulasi menggunakan PVsyst, penelitian ini bertujuan menghasilkan blueprint teknis yang dapat dijadikan referensi praktis dalam pengembangan sistem PLTS *off-grid* di berbagai karakteristik wilayah Indonesia. Kontribusi utama penelitian mencakup penyediaan metodologi simulasi yang komprehensif, validasi desain sistem dengan mempertimbangkan variabilitas kondisi geografis, serta menghasilkan rekomendasi implementasi yang dapat diterapkan pada konteks local. Lebih jauh, penelitian ini secara langsung mendukung agenda transisi energi bersih nasional, membuka peluang peningkatan akses listrik di wilayah tertinggal, serta berkontribusi pada upaya menurunkan emisi karbon melalui penggunaan energi terbarukan. Dengan demikian, penelitian ini tidak sekadar bersifat akademis, melainkan memiliki potensi transformatif dalam mendorong kemandirian energi dan pemerataan pembangunan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dan penjelasan yang telah dikemukakan pada latar belakang maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini yaitu:

- a. Bagaimana proses simulasi PLTS *off-grid* dengan kapasitas 3Kw menggunakan PVsyst?
- b. Bagaimana perancangan komponen PLTS *off-grid* agar memenuhi kebutuhan energi dengan kapsitas 3 Kw?
- c. Bagaimana analisis kebutuhan komponen PLTS *off-grid* 3kW dari simulasi PVsyst?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mensimulasikan PLTS *off-grid* kapasitas 3Kw menggunakan *software* PVsyst.
- b. Merancang sistem PLTS *off-grid* dengan kapasitas 3kW menggunakan *software* PVsyst.
- c. Menentukan spesifikasi dan jumlah komponen PLTS *off-grid* yang dibutuhkan.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan di Indonesia.
- b. Meningkatkan pemahaman tentang teknis menggunakan PVsyst.
- c. Menyediakan referensi teknis perancangan PLTS *off-grid* menggunakan *software* PVsyst

1.4 Batasan Masalah

- a. Penelitian difokuskan pada perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* dengan kapasitas daya terpasang sebesar 3 kW. Sistem akan dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik skala rumah tinggal atau fasilitas kecil.
- b. Simulasi dan perancangan sistem PLTS dilakukan secara eksklusif menggunakan *software* PVsyst. Seluruh proses pemodelan, perhitungan kinerja, dan analisis sistem akan mengacu pada hasil simulasi yang dihasilkan oleh *software* PVsyst.

1.5 Metodologi Penulisan Skripsi

Metode dalam menyusun skripsi atau penelitian ini melewati 5 tahapan yaitu:

- a. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi ilmiah tentang PLTS *off-grid* dari jurnal, buku, dan publikasi resmi. Tujuannya untuk memperoleh landasan teoritis yang kuat tentang sistem pembangkit listrik tenaga surya dan penggunaan *software* PVsyst.
- b. Pengumpulan Data Awal
Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan data lokasi meliputi radiasi matahari, temperatur, dan kondisi cuaca. Data diperoleh dari instansi resmi seperti BMKG atau database global. Informasi ini penting untuk menentukan potensi energi surya di lokasi perencanaan.
- c. Perencanaan Sistem
Perencanaan sistem dilakukan dengan menghitung kebutuhan daya listrik harian. Selanjutnya ditentukan kapasitas dan spesifikasi komponen PLTS *off-grid* seperti panel surya, baterai, *inverter*, dan peralatan pendukung lainnya sesuai kebutuhan beban.
- d. Simulasi dengan PVsyst
Simulasi menggunakan *software* PVsyst dengan memasukkan data lokasi dan spesifikasi komponen. *Software* akan mensimulasikan kinerja sistem PLTS *off-grid*, menghasilkan estimasi produksi energi, dan parameter performansi sistem.
- e. Analisis Hasil Simulasi
Tahap akhir berupa analisis komprehensif hasil simulasi. Mengevaluasi produktivitas energi, efisiensi sistem, kinerja dalam berbagai kondisi cuaca, dan kelayakan teknis implementasi PLTS *off-grid*.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan sebuah penelitian atau skripsi perlu adanya sebuah sistematika penulisan sehingga pembaca dapat memahami dan mengerti inti dari penelitian yang dilakukan, sistematika penulisan penelitian ini terbagi menjadi beberapa bab, yaitu:

a. Bab I : Pendahuluan

Bab ini menjelaskan alasan penelitian dilakukan, yaitu pentingnya energi terbarukan seperti PLTS untuk daerah yang tidak memiliki listrik. Fokus penelitian ini adalah merancang dan mensimulasikan sistem PLTS off-grid 3 kW menggunakan *software* PVsyst. Bab ini juga memuat rumusan masalah, tujuan, batasan, manfaat penelitian, metode yang digunakan, serta gambaran isi skripsi.

b. Bab II : Teori Penunjang

Bab ini berisi teori dasar yang mendukung penelitian. Dibahas konsep energi terbarukan, prinsip kerja PLTS dan pengenalan *software* PVsyst sebagai alat simulasi. Penelitian terdahulu juga disertakan sebagai referensi.

c. Bab III : Perancangan Sistem

Bab ini menjelaskan langkah-langkah merancang sistem PLTS 3 kW. Dimulai dari pengumpulan data lokasi seperti radiasi matahari, dilanjutkan dengan perhitungan kebutuhan energi serta kapasitas komponen.

d. Bab IV : Hasil dan analisa

Bab ini menyajikan hasil simulasi dan perancangan sistem PLTS off-grid 3 kW menggunakan PVsyst. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem, termasuk daya yang dihasilkan, efisiensi, serta potensi penerapan di lapangan. Pembahasan dalam bab ini mengaitkan hasil yang diperoleh dengan teori dan penelitian sebelumnya.

e. Bab V : Penutup

Bab ini menyajikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan, mencakup capaian terhadap tujuan penelitian serta temuan-temuan utama yang diperoleh melalui hasil simulasi yang telah dilakukan. Selain itu, disarankan adanya pengembangan lebih lanjut baik dari segi perancangan sistem maupun penerapan teknologi yang lebih optimal dalam implementasi PLTS off-grid guna meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem secara keseluruhan.