

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kesulitan dalam pengiriman tenaga listrik ke pulau-pulau kecil berpenduduk di negara Indonesia dan tingginya biaya produksi listrik dengan bahan bakar fosil dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) mendorong keinginan untuk memproduksi listrik yang lebih murah dan ramah lingkungan, tidak memerlukan *maintenance* yang rumit serta yang terpenting adalah menghasilkan energi terbarukan guna mendukung target Net Zero Emission Indonesia tahun 2060.

Indonesia terdiri dari 17.374 pulau yang tercatat pada tahun 2023 (sumber portal informasi Indonesia, [www.indonesia.go.id](http://www.indonesia.go.id)) dengan jumlah pulau berpenduduk diperkirakan sekitar 8.000 pulau. Luas wilayah negara Indonesia adalah 7,81 juta km<sup>2</sup>, luasnya merupakan 2/3 wilayah merupakan perairan/lautan dengan luas 5,8 juta km<sup>2</sup> dan luas daratan 2,01 juta km<sup>2</sup> (sumber [lib.lemhannas.go.id](http://lib.lemhannas.go.id)). Dengan jumlah pulau yang sangat banyak tentunya merupakan tantangan khusus untuk memenuhi kebutuhan energi pada masing-masing pulau khususnya untuk pulau-pulau kecil. Hingga saat ini di tahun 2025 masih banyak pulau-pulau terpencil, termasuk Pulau Air Gelubi, belum terjangkau jaringan listrik atau hanya mendapatkan pasokan listrik sangat terbatas dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan daya yang kecil dan tingkat kehandalan yang sangat rendah.

Untuk itu perlu dipikirkan bagaimana untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada pulau-pulau kecil dengan harga terjangkau dan berkelanjutan dan tidak menimbulkan dampak yang terlalu besar terhadap lingkungan sekitar. Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar dengan intensitas radiasi matahari rata-rata yang tinggi sepanjang tahun. Pemanfaatan energi surya melalui PLTS memberikan solusi yang potensial untuk mengatasi krisis energi di pulau-pulau terpencil. PLTS bersifat modular, ramah lingkungan, dan biaya operasionalnya relatif rendah. Pemerintah Indonesia sendiri telah menetapkan

target untuk peningkatan bauran energi terbarukan, di mana PLTS menjadi salah satu yang paling potensial.

Pulau Air Gelubi adalah salah satu pulau terpencil yang terletak pada titik koordinat 00,885223°, 104,64426° (<https://globalsolaratlas.info/map>) di Kecamatan Bintan Pesisir, Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau. Pulau ini belum merasakan hadirnya listrik secara layak yaitu 24 jam nyala setiap hari. Masyarakat hanya menikmati tersedianya energi listrik kurang dari 12 jam dan hanya tersedia pada malam hari yang dihasilkan dari listrik tenaga diesel (PLTD) mesin tunggal dengan kapasitas yang terbatas.

Desa Air Gelubi berada sekitar 6 mil dari ibu Kota Kabupaten Bintan dengan luas wilayah desa  $\pm$  1.800 Ha . Memiliki 7 RT, 3 RW dan 1 dusun, yakni : untuk wilayah RW 001 ialah RT 003 (Tanjung Sengkuang) dan RT 004 (Pulau Buton), RW 002 ialah RT 005 (Pulau Kecil), RT 006 (Pulau Malin) dan RT 007 (Pulau Kecil), dan untuk wilayah RW 003 ialah RT 001 dan RT 002. Desa Air Gelubi berbatasan dengan:

1. Sebelah Utara berbatasan dengan Gunung Kijang
2. Sebelah Selatan berbatasan dengan Kelong/Kecamatan Bintan Pesisir
3. Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Bintan Timur
4. Sebelah Timur berbatasan dengan Desa Pulau Mapur.

Jarak kantor desa Air Gelubi ke pusat kabupaten dapat ditempuh dengan menggunakan kendaraan kapal/pompong laut untuk sampai di daratan Kijang Kota dengan waktu tempuh  $\pm$  30 menit dan dilanjutkan dengan menggunakan kendaraan motor/mobil untuk sampai di pusat kabupaten dengan perkiraan jarak 76 km, dengan waktu ditempuh  $\pm$  90 menit.

Potensi Desa Air Gelubi cukup baik sebagai sebuah desa. Potensi tersebut meliputi letak/wilayah, sumber daya alam (SDA), sumber daya manusia (SDM), industri, dan infrastruktur. Letak wilayah cukup strategis karena terletak di Kepulauan Riau yang dilewati oleh jalur perdagangan selat Malaka dan Laut Cina Selatan sehingga dengan adanya jalur tersebut bisa menjadi salah satu potensi untuk mengembangkan daerah, terutama perekonomian masyarakat.

Sumber daya alam di Desa Air Gelubi adalah bidang perikanan karena wilayah desa adalah pulau-pulau yang kaya akan berbagai jenis ikan dari lautan terbuka yaitu Laut Cina Selatan. Selain perikanan, juga terdapat beberapa perkebunan tradisional masyarakat, sebagai mata pencaharian mereka penunjang kebutuhan pangan. Sumber daya manusia yang dimiliki pemerintah desa yaitu, jumlah warga pada tahun 2024 mencapai 1.094 orang yang terbagi menjadi 558 orang laki-laki dan 536 orang perempuan (sumber Bintang Pesisir dalam Angka 2024) dengan jumlah KK mencapai 261 KK (sumber [kampungkb.bkkbn.go.id](http://kampungkb.bkkbn.go.id), 2023). Sayangnya tingkat pendidikan masyarakat di pulau ini masih sangat rendah dan diharapkan peningkatannya di tahun-tahun mendatang. Di bidang industri kecil yang dikelola oleh warga diantaranya bergerak di sektor jasa dan industri rumah tangga seperti kuliner, dan lain-lain. Infrastruktur di Desa Air Gelubi masih sangat kurang dan diperlukan usaha untuk meningkatkan. Beberapa potensi infrastruktur tersebut dapat dilihat dari sarana dan prasarana yang ada seperti jalan raya, jalan kebun, sekolah, tempat beribadah, sarana kesehatan, lembaga pemerintahan, dan sarana prasarana lainnya.

Sejalan dengan program pemerintah untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, menekan jejak karbon, dan merealisasikan target *Net Zero Emission* pada tahun 2060, telah ditetapkan lima prinsip utama. Salah satu prinsip tersebut adalah mendorong peningkatan pemanfaatan energi listrik di sektor rumah tangga seraya mengurangi ketergantungan pada energi fosil (KESDM, 2022). Latar belakang inilah yang melandasi penyusunan tesis ini dengan judul:

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) HYBRID KOMBINASI OFF-GRID DAN ON-GRID: STUDI KASUS PULAU AIR GELUBI PROVINSI KEPULAUAN RIAU.** Perencanaan PLTS ini dilakukan dengan sistem *hybrid* antara dua sistem PLTS yaitu model *off-grid* dan model *on-grid*

Penelitian ini akan mengaplikasikan perangkat lunak PVsyst, sebuah *platform* yang berfungsi sebagai alat bantu untuk studi, penentuan dimensi (*sizing*), dan analisis data pada sistem PLTS secara menyeluruh. Perangkat lunak ini mampu memodelkan berbagai parameter esensial yang dibutuhkan dalam

perancangan sistem PLTS, serta dapat menghasilkan laporan simulasi yang terperinci. Parameter-parameter kunci yang menjadi fokus dalam analisis ini meliputi data radiasi matahari, spesifikasi teknis baterai dan panel surya, kuantitas panel, kapasitas inverter, hingga kebutuhan daya pada sisi beban.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Terbatasnya atau belum adanya akses listrik yang andal dan berkelanjutan bagi masyarakat di Pulau Air Gelubi.
2. Tingginya biaya operasional dan ketergantungan pada bahan bakar fosil menggunakan PLTD sebagai sumber energi utama serta potensi dampak negatif lingkungan berupa emisi karbon, polusi suara dan lingkungan dari tumpahan bahan bakar dan minyak pelumasan mesin.
3. Tidak adanya kajian mendalam mengenai kelayakan teknis, ekonomis, dan sosial untuk implementasi PLTS terpusat di Pulau Air Gelubi dan belum optimalnya pemanfaatan potensi energi surya yang melimpah.
4. Kebutuhan akan model perencanaan PLTS yang sesuai dengan karakteristik spesifik Pulau Air Gelubi yang sesuai dengan kebutuhan energi, kondisi geografis dan sumber daya lokal.

## **1.3 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana profil beban listrik di Pulau Air Gelubi dan bagaimana kesesuaiannya dengan potensi iradiasi matahari lokal?
2. Bagaimana desain teknis dan konfigurasi sistem PLTS (termasuk panel surya, inverter, dan sistem penyimpanan baterai) yang optimal untuk menghasilkan daya 350 kWp?
3. Seberapa besar estimasi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh sistem PLTS 350 kWp ini dalam satu tahun dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan pulau?

4. Berapa besar nilai investasi awal (CAPEX), biaya operasional (OPEX), nilai *Levelized Cost of Electricity* (LCOE) yang dibutuhkan untuk pembangunan PLTS 350 kWp di lokasi tersebut?
5. Apakah rencana pembangunan PLTS 350 kWp ini layak secara finansial berdasarkan parameter *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period*?
6. Seberapa besar potensi penurunan emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) yang dapat dicapai melalui implementasi sistem PLTS ini?

#### 1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup pada studi perencanaan PLTS *hybrid* kombinasi *off-grid* dan *on-grid*: studi kasus Pulau Air Gelubi Provinsi Kepulauan Riau adalah sebagai berikut:

1. Lokasi studi dikhususkan pada Pulau Air Gelubi, Desa Air Gelubi, Kecamatan Bintan Pesisir, Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau.
2. Sumber energi terbarukan yang dikaji adalah energi surya (PLTS), dengan sistem terpusat dan menggunakan sistem *hybrid* antara dua sistem PLTS yaitu model *off-grid* dan model *on-grid*.
3. Analisis teknis meliputi estimasi kebutuhan energi, potensi energi surya, perancangan konfigurasi sistem PLTS yaitu kapasitas, komponen utama seperti panel surya, inverter, baterai, sistem kontrol, dan analisis performa sistem.
4. Analisis ekonomis meliputi estimasi biaya investasi (CAPEX), biaya operasional dan pemeliharaan (OPEX), *Levelized Cost of Energy* (LCOE), *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period*.
5. Analisis sosial-lingkungan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif berupa estimasi pengurangan emisi CO<sub>2</sub>.
6. Penelitian ini tidak mencakup tahap implementasi fisik atau konstruksi PLTS, melainkan studi perencanaan dan kelayakan.

7. Data potensi energi surya menggunakan data sekunder dari *data base* meteorologi terpercaya yaitu: Global Solar Atlas, NASA dan Weather Spark.
8. Perencanaan menggunakan aplikasi pendukung yaitu PVsyst.

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah:

1. Menganalisa profil kebutuhan energi listrik aktual dan proyeksinya di Pulau Air Gelubi.
2. Mengidentifikasi dan menganalisis potensi energi surya yang tersedia di Pulau Air Gelubi.
3. Merancang konfigurasi sistem PLTS yang optimal secara terpusat dengan kombinasi *off-grid* dan model *on-grid* untuk memenuhi kebutuhan energi di Pulau Air Gelubi.
4. Menganalisis kelayakan ekonomis dan potensi dampak lingkungan dari implementasi PLTS di Pulau Air Gelubi.
5. Memberikan rekomendasi model perencanaan dan strategi implementasi PLTS yang berkelanjutan kepada pihak-pihak terkait.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat akademis:
  - Menambah literatur ilmu pengetahuan di bidang perencanaan energi terbarukan, khususnya PLTS di daerah terpencil.
  - Menjadi referensi bagi penelitian sejenis di masa mendatang.
2. Manfaat bagi pemerintah daerah dan pusat serta lembaga terkait:
  - Menyediakan data dan analisis komprehensif sebagai dasar pengambilan kebijakan terkait elektrifikasi di pulau-pulau terpencil.

- Membantu dalam perencanaan strategis pencapaian target bauran energi terbarukan dan rasio elektrifikasi nasional.
3. Manfaat bagi masyarakat pulau khususnya Pulau Air Gelubi:
    - Memberikan gambaran potensi peningkatan akses listrik yang lebih andal, bersih, dan berkelanjutan.
    - Membuka peluang bagi peningkatan kualitas hidup dan kegiatan ekonomi.
  4. Manfaat bagi investor dan swasta yaitu menyediakan informasi awal mengenai kelayakan investasi proyek PLTS di Pulau Air Gelubi.

## 1.7 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini mencakup:

1. Studi literature berupa tinjauan pustaka mengenai teknologi PLTS, metode perencanaan PLTS, studi kasus implementasi PLTS di daerah terpencil.
2. Pengumpulan Data:
  - Pengumpulan data primer dengan survei kebutuhan energi masyarakat, wawancara dengan tokoh masyarakat, pemerintah daerah, dan pihak terkait lainnya di Pulau Air Gelubi.
  - Pengumpulan data sekunder dengan data demografi, data sosial-ekonomi, data iklim dan radiasi matahari dari stasiun meteorologi atau database online dari Global Solar Atlas, NASA, Weather Spark, harga komponen PLTS, dan data terkait lainnya.
3. Analisis Data:
  - Analisis kebutuhan energi (*load demand analysis*).
  - Analisis potensi energi surya (*solar resource assessment*).
  - Perancangan sistem PLTS dengan perhitungan manual dan menggunakan perangkat lunak simulasi PVsyst.
  - Analisis tekno-ekonomi (LCOE, NPV, IRR, PBP).

- Analisis dampak lingkungan berupa estimasi pengurangan emisi.
4. Penyusunan rekomendasi yaitu perumusan model perencanaan dan strategi implementasi PLTS yang sesuai.

## **1.8 Sistematika Penulisan**

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi tinjauan umum tentang PLTS, tipe PLTS, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja PLTS, komponen-komponen utama serta perhitungan dasar sistem. Secara ringkas membahas tentang ATS atau *switching* pada PLTS *hybrid*, studi aspek ekonomi dan aspek kelayakan, *software* yang dipergunakan dalam pengolahan data serta manajemen risiko.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tempat dan waktu penelitian, jenis penelitian, alat dan bahan, dan langkah kerja, serta pengumpulan data.

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Merupakan bagian inti dari penulisan tesis ini yang membahas tentang profil beban energi listrik, data iklim lokasi perencanaan, perhitungan kapasitas PLTS dengan cara manual dan menentukan komponen termasuk sistem penghantar. Pada bagian akhir dari bab IV, membahas tentang analisis ekonomi dan dampak lingkungan terhadap pengurangan emisi CO<sub>2</sub> serta perencanaan PLTS dengan menggunakan *software* PVsyst dan manajemen risiko.

### **BAB V PENUTUP**

Pada bagian ini berisi bagian akhir dari tesis berupa kesimpulan dan saran.