

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi terbarukan telah menjadi fokus utama global dalam menghadapi perubahan iklim dan kebutuhan energi yang berkelanjutan. *Solar photovoltaic* (PV) atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkembang pesat sebagai salah satu sumber energi bersih yang potensial dengan penetrasi yang meningkat di berbagai sektor [1]. Di Indonesia, pada tahun 2021 potensi energi surya diperkirakan mencapai lebih dari 3000 GWp, namun pemanfaatannya masih jauh dari optimal [2]. Seiring meningkatnya kebutuhan energi dan tekanan untuk mengurangi emisi karbon, adopsi PLTS atap, termasuk oleh sektor industri, menjadi semakin strategis.

Salah satu upaya nyata dalam menanggapi tantangan ini adalah pemanfaatan energi surya dengan menggunakan sistem PLTS atau solar panel. Salah satu Perusahaan yang mengimplementasikan solar panel yaitu PT ATMI Duta Engineering (ADE). PT ADE merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur dengan mesin *laser cutting*. PT ADE berada di bawah naungan Yayasan Karya Bakti Surakarta yang menyelenggarakan pendidikan kejuruan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Yayasan dan unit di bawahnya dipimpin oleh para Imam Serikat Jesuit di Indonesia, para rohaniawan serta para awam umat Katolik yang berada dalam wilayah Keuskupan Agung Semarang. Serikat Jesuit memiliki pedoman dalam bertindak atau yang dikenal dengan *Universal Apostolic Preferences* (UAP) yang terdiri dari sikap menunjukkan jalan menuju Allah, berjalan bersama kaum miskin, menemani kaum muda dan merawat bumi [3]. Pengembangan PLTS di PT ADE merupakan salah satu implementasi dari UAP.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap mengalami pertumbuhan pesat secara global dan di Indonesia sebagai solusi energi bersih yang menjanjikan [4]. PT ADE bekerjasama dengan PT Hijau Makmur Energi (HME) dalam implementasi penggunaan solar panel dan telah dimulai pada bulan Februari 2024. PT HME merupakan sebuah perusahaan yang memberikan layanan konsultasi,

pengadaan dan implementasi solar panel di industri maupun rumah. Skema yang ditawarkan PT HME kepada PT ADE pada implementasi solar panel yaitu Skema *zero capex*.

Skema *zero capex*, juga biasa dikenal sebagai *Power Purchase Agreement* (PPA) atau sewa panel surya, merupakan salah satu model inovasi finansial yang diterapkan untuk memperluas adopsi PLTS, di mana pengguna tidak mengeluarkan biaya investasi awal, melainkan membayar berdasarkan kinerja dan penghematan listrik yang direalisasikan [5]. Model ini mengalihkan risiko investasi kepada *vendor*, sehingga evaluasi performa dan validasi proyeksi *vendor* menjadi krusial bagi efektifitas implementasinya [6]. PT HME telah memberikan proyeksi kinerja dan penghematan biaya jangka panjang, seringkali untuk durasi kontrak 15-25 tahun. Namun secara aktual, kemungkinan ada perbedaan antara proyeksi kinerja dan penghematan yang diproyeksikan dengan penghematan aktual yang dialami. Hal ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor, mulai dari asumsi desain yang terlalu optimis hingga kinerja sistem yang tidak sesuai harapan atau perubahan pola konsumsi di PT ADE.

Di Indonesia, kajian empiris yang memvalidasi proyeksi jangka panjang *vendor* PLTS dengan data operasional nyata masih minim. Padahal, di level internasional, studi tentang *performance gap* antara proyeksi dan realisasi telah menjadi fokus penting dalam pengembangan sistem energi berbasis data dan peningkatan transparansi pasar[7]. Studi validasi performa PLTS biasanya mengacu pada standar internasional seperti IEA PVPS Task 13 dan IEC 61724 yang mengatur penghitungan *performance ratio* (PR), *performance loss rate* (PLR), dan metodologi *quality control* data [8], [9]. Namun, sebagian besar penelitian di Indonesia masih menggunakan metodologi deskriptif dan simulasi tanpa validasi empiris sistematik yang mendalam berdasarkan data operasional [10]. Ketidakhadiran validasi ini juga menyulitkan regulator dalam menyusun kebijakan standar performa layanan dan melindungi kepentingan konsumen industri.

Faktor-faktor teknik krusial yang lain, yaitu laju penurunan kinerja sistem surya aktual, frekuensi dan efektivitas pelaksanaan operasi dan pemeliharaan (O&M) oleh PT HME, serta perubahan lingkungan mikro di sekitar instalasi PT

ADE dapat secara signifikan mempengaruhi kinerja solar panel dan realisasi penghematan biaya dalam jangka panjang. Kesenjangan antara proyeksi optimis dengan realita di lapangan berpotensi merugikan pengguna dan mengurangi kepercayaan terhadap model bisnis *zero capex*. Oleh karena itu, peneliti akan melakukan analisis teknis dan analisis tekno-ekonomi terhadap implementasi penggunaan solar panel dengan skema *zero capex* di PT ADE. Pada konteks tersebut, peneliti mengusulkan penggunaan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) sebagai kerangka kerja utama pada penelitian ini. Model ADDIE, yang awalnya dikembangkan untuk desain instruksional, diadaptasi dalam penelitian ini sebagai kerangka kerja evaluasi teknis dan tekno-ekonomi PLTS secara sistematis dan terstruktur [11], [12]. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan struktur yang jelas dan logis dalam mengelola proses riset, mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi hasil implementasi PLTS dengan skema *zero capex* di PT ADE.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah:

1. Kurangnya validasi empiris dan sistematik terhadap proyeksi *vendor* PLTS dengan data operasional aktual di Indonesia, khususnya pada model *zero capex*.
2. Minimnya adopsi kerangka kerja evaluasi yang terstruktur dan berulang seperti ADDIE dalam kajian teknis dan ekonomi PLTS.
3. Keterbatasan analisis risiko dan mekanisme jaminan performa pada kontrak *zero capex* yang dapat mempengaruhi keberlanjutan investasi.

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian agar tetap fokus dan dapat dilaksanakan pada batasan waktu dan sumber daya yang tersedia, maka penelitian ini akan dibatasi pada:

1. Penelitian akan difokuskan pada studi kasus solar panel skema *zero capex* yang terpasang di PT ADE di Surakarta, Jawa Tengah.
2. Pengumpulan dan analisis data kinerja aktual solar panel akan terbatas pada periode 12 bulan pertama atau April 2024 hingga Maret 2025.
3. Analisis kinerja akan dilakukan melalui simulasi dengan menggunakan perangkat lunak PVsyst.
4. Analisis teknno-ekonomi akan fokus pada skema *zero capex*
5. Penelitian akan menggunakan metode ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation dan Evaluation*).
6. Analisis terhadap faktor penyebab deviasi akan terbatas pada korelasi dan analisis kontribusi berdasarkan data yang terukur selama periode 12 bulan. Penelitian ini tidak bertujuan untuk membuktikan kausalitas definitif untuk fenomena jangka panjang seperti laju penurunan kinerja sistem surya, yang secara metodologis memerlukan periode observasi multi-tahunan. Temuan akan disajikan sebagai "faktor kontributor yang berpengaruh" bukan sebagai "penyebab yang terbukti."
7. Penelitian ini dirancang sebagai studi kasus tunggal yang mendalam di PT ADE dengan satu *vendor* spesifik. Oleh karena itu, hasil kuantitatif (seperti persentase deviasi kinerja) tidak dapat digeneralisasi secara langsung ke perusahaan, lokasi, atau *vendor* lain. Namun, kerangka kerja dan proses evaluasi yang dikembangkan pada penelitian ini dirancang untuk memiliki validitas eksternal yang lebih luas sebagai model yang dapat diadaptasi oleh pihak lain

1.4 Perumusan Masalah

Permasalahan yang ingin dijawab pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa besar deviasi yang terjadi antara proyeksi produksi energi dari *vendor* dengan kinerja aktual sistem PLTS pada periode 12 bulan pertama?

2. Seberapa besar deviasi antara estimasi penghematan biaya listrik dari *vendor* dengan realisasi penghematan aktual dalam periode 12 bulan pertama?
3. Faktor-faktor teknis apa saja (misalnya, perbedaan data iradiasi, efisiensi sistem aktual/PR, dan *downtime*) yang dapat diidentifikasi sebagai kontributor utama terhadap deviasi kinerja yang teramati?
4. Bagaimana model ADDIE dapat diadaptasi dan diterapkan dalam evaluasi performa teknis dan tekno-ekonomi PLTS atas dengan skema *zero capex* di PT ADE?

Rumusan masalah ini penting dijawab untuk menjembatani kesenjangan antara proyeksi *vendor* dan kenyataan di lapangan, yang berdampak pada kredibilitas skema pembiayaan, keputusan investasi industri, dan pengembangan kebijakan energi terbarukan di PT ADE.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengkuantifikasi deviasi antara proyeksi kinerja (produksi energi dan penghematan biaya) dari *vendor* dengan data operasional aktual sistem PLTS di PT ADE selama 12 bulan pertama.
2. Menganalisis dan membandingkan data iradiasi aktual dengan data yang digunakan dalam proyeksi *vendor*, serta menghitung *Performance Ratio* (PR) aktual sebagai dasar untuk mengidentifikasi sumber-sumber utama kerugian energi (*energy losses*).
3. Mengevaluasi kembali kelayakan tekno-ekonomi proyek berdasarkan data kinerja aktual, bukan berdasarkan proyeksi awal.
4. Mengembangkan sebuah kerangka evaluasi berbasis ADDIE yang dapat direplikasi untuk menilai validitas proposal PLTS skema *zero capex* dari *vendor* lain.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi beberapa pihak, dengan kontribusi yang bersifat spesifik-kontekstual dan umum-metodologis:

1. Bagi PT ADE: Memberikan kerangka kerja dan bukti empiris untuk mengevaluasi secara kritis proposal *zero capex* yang sedang berjalan, memiliki ekspektasi yang lebih realistik, dan menjadi dasar negosiasi atau evaluasi kontrak di masa depan.
2. Bagi Industri Penyedia Layanan (seperti PT HME): Memberikan masukan berbasis data untuk meningkatkan akurasi model proyeksi, transparansi penawaran, dan kualitas layanan, sehingga dapat meningkatkan kepercayaan pasar.
3. Bagi Akademisi dan Peneliti: Menambah studi literatur mengenai validasi kinerja aktual vs. Proyeksi pada skema PLTS *zero capex* di iklim tropis, sebuah area yang masih minim publikasi di Indonesia.
4. Kontribusi Metodologis: Menyajikan sebuah model kerangka evaluasi terstruktur (berbasis adaptasi ADDIE) yang dapat direplikasi dan diadopsi oleh perusahaan lain di berbagai sektor industri. Dengan demikian, meskipun hasil numerik penelitian ini bersifat spesifik, proses dan metodologi evaluasinya bersifat dapat digeneralisasi sebagai panduan praktis bagi calon pengguna PLTS atap lainnya.
5. Bagi *Regulator* dan Pembuat Kebijakan: Menyediakan data dan analisis yang dapat mendukung pengembangan kebijakan terkait standar performa layanan (*service level agreement*), transparansi kontrak, dan perlindungan konsumen dalam industri PLTS atap yang sedang berkembang pesat.

1.7 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini memiliki fokus pada ruang lingkup :

1. Analisis teknis dan simulasi sistem solar panel
2. Analisis tekno-ekonomi penerapan solar panel skema *zero capex*

3. Proses penelitian dengan pendekatan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation dan Evaluation*).

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari tesis ini terdiri dari 5 (lima) Bab dengan detail sebagai berikut:

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

Bab II menyajikan landasan teori yang relevan sebagai dasar analisis teknis dan ekonomi.

Bab III membahas metode penelitian, teknik pengumpulan data, serta pendekatan analisis data.

Bab IV menyajikan hasil analisis dan pembahasan teknis serta ekonomis berdasarkan simulasi.

Bab V memuat simpulan, saran, dan rekomendasi strategis berdasarkan hasil penelitian.