

BAB II

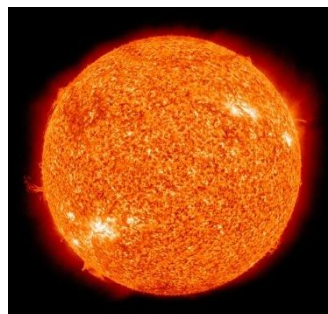
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori-teori yang Relevan

2.1.1 Energi Matahari

Ketergantungan dunia terhadap sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam telah menjadi pemicu utama berbagai permasalahan global. Sumber daya ini bersifat tidak dapat diperbarui dan jumlahnya terbatas, sehingga cadangannya terus menipis seiring dengan meningkatnya konsumsi global. Ketergantungan pada energi fosil tidak hanya menimbulkan kekhawatiran mengenai pasokan energi di masa depan tetapi juga memberikan dampak buruk bagi lingkungan. Proses pembakaran bahan bakar fosil menjadi penyumbang utama emisi gas rumah kaca, termasuk karbon dioksida.

Menghadapi isu kelangkaan energi dan dampak lingkungannya, transisi menuju sumber energi terbarukan menjadi solusi yang mendesak. Energi terbarukan menawarkan alternatif sumber energi yang aman, bersih, tidak terbatas, dan tidak mencemari lingkungan. Salah satu keunggulan utamanya adalah sifatnya yang dapat terus diproduksi secara alami tanpa batas, sehingga meminimalkan risiko kehabisan sumber daya. Di antara berbagai opsi yang ada, energi yang berasal dari matahari atau energi surya merupakan salah satu pilihan alternatif yang paling potensial untuk menggantikan ketergantungan pada sumber daya fosil.



Gambar 2. 1 Matahari
(Sumber: id.wikipedia.org)

Indonesia mempunyai kesempatan besar untuk menjadi pemimpin dalam pemanfaatan energi surya. Berkat lokasinya di sekitar garis khatulistiwa, Indonesia memiliki iklim tropis yang menyediakan paparan sinar matahari melimpah sepanjang tahun. Kondisi geografis ini menjadi dasar yang kuat bagi pengembangan energi matahari sebagai sumber energi alternatif utama di wilayah tropis. Mengingat topografi dan letak geografisnya, energi surya menjadi energi terbarukan yang paling cocok untuk Indonesia, terutama sebagai pengganti energi konvensional yang kian langka dan mahal.

Penggunaan energi matahari memberikan serangkaian keunggulan yang strategis. Sumber energi ini sangat ramah lingkungan karena prosesnya tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polutan udara lainnya. Dengan beralih ke energi matahari, dampak negatif terhadap lingkungan dan jejak karbon dapat dikurangi secara substansial. Matahari merupakan sumber energi tak terbatas yang dapat diperbarui, dengan kapasitas yang sangat besar untuk memenuhi kebutuhan energi dunia tanpa kekhawatiran akan penipisan sumber daya. Oleh karena itu, adopsi energi surya dapat mendorong kemandirian, mengurangi ketergantungan pada energi impor, dan memperkuat ketahanan energi suatu negara.(Dwisari et al., 2023).

2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau biasa dikenal dengan nama PLTS adalah teknologi yang mengubah energi cahaya matahari (foton) menjadi listrik. Proses ini terjadi di dalam sel fotovoltaik pada panel surya yang terbuat dari lapisan tipis semikonduktor seperti silikon (Si). Menurut Buresh (1983), ketika cahaya matahari mengenai lapisan ini, elektron-elektron di dalamnya akan terlepas dan bergerak bebas, sehingga menghasilkan tegangan listrik arus searah (DC). Fenomena inilah yang dikenal sebagai efek fotovoltaik, yang menjadi dasar dari seluruh sistem energi surya modern.

Sistem PLTS merupakan sebuah integrasi dari berbagai komponen esensial yang bekerja secara sinergis, tidak hanya terbatas pada panel surya. Komponen utamanya meliputi panel surya sebagai penangkap energi matahari, inverter yang mengkonversi listrik arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) agar sesuai

dengan peralatan elektronik, dan baterai sebagai sistem penyimpanan untuk cadangan daya. Untuk melindungi baterai dari pengisian berlebih dan kerusakan, sistem yang dilengkapi penyimpanan daya juga menyertakan *charge controller* atau kontroler pengisian daya. (Samsurizal et al., 2021)



Gambar 2. 2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya
(Sumber: esdm.go.id)

2.1.3 Jenis-jenis Sistem PLTS

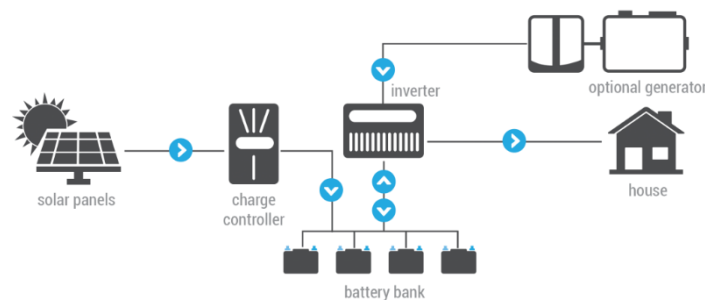
Berdasarkan konfigurasinya, sistem PLTS dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama. Pertama adalah sistem On-Grid, yang terhubung langsung dengan jaringan listrik publik (PLN). Sistem ini memungkinkan pemilik untuk mengurangi tagihan listrik dan bahkan menjual kelebihan energi ke PLN. Kedua adalah sistem Off-Grid, yang beroperasi secara mandiri dan sepenuhnya mengandalkan energi matahari serta penyimpanan baterai, sangat ideal untuk daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan listrik. Ketiga adalah sistem Hybrid, yang menggabungkan PLTS dengan sumber energi lain, seperti generator diesel atau jaringan PLN, untuk memastikan pasokan listrik yang stabil dan andal setiap saat.

2.1.3.1 PLTS *Off-Grid*

PLTS *Off-Grid* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang beroperasi secara mandiri tanpa tersambung ke jaringan listrik utama, sehingga sering disebut juga sebagai *stand-alone system*. Sistem ini umumnya dipasang secara tersebar dengan kapasitas pembangkitan skala kecil. Untuk menjamin pasokan listrik tetap tersedia saat cuaca mendung atau pada malam hari, sistem ini dilengkapi baterai

sebagai media penyimpanan energi. Berdasarkan penggunaannya, IFC (2012) membagi sistem ini menjadi dua jenis, yaitu untuk kebutuhan Domestik dan Non Domestik.(Samsurizal et al., 2021)

PLTS *Off-Grid* Domestik adalah sistem yang menyuplai listrik untuk rumah-rumah dan wilayah pedesaan yang belum mendapatkan akses ke jaringan PLN. Listrik yang dihasilkan digunakan untuk menghidupkan lampu serta peralatan rumah tangga lainnya. Berbeda dari tipe domestik, PLTS *Off-Grid* Non-Domestik digunakan untuk menyuplai listrik bagi berbagai kebutuhan di luar rumah tangga. Contoh aplikasinya meliputi menara telekomunikasi, penerangan jalan umum (PJU), pompa air, rambu lalu lintas, serta berbagai fasilitas publik lainnya.



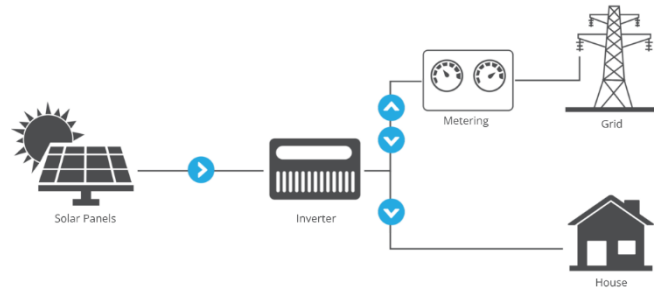
Gambar 2. 3 Skema Sistem PLTS *Off-Grid*

(Sumber: renergynusantara.com)

2.1.3.2 PLTS *On Grid*

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terintegrasi dengan jaringan listrik utama, dikenal sebagai PLTS On Grid atau *Grid-connected PV*, dapat diklasifikasikan berdasarkan arsitektur operasional dan skala implementasinya. Menurut Dadzie (2008), dari perspektif operasional, sistem ini dibedakan menjadi dua konfigurasi utama yaitu sistem yang dilengkapi dengan unit penyimpanan energi (*storage*) berupa baterai (*Grid-connected PV with a battery backup*), dan sistem yang beroperasi tanpa komponen penyimpanan tersebut (*Grid-connected PV without a battery backup*). Pada konfigurasi yang menggunakan baterai, komponen ini memegang peran ganda yang krusial. Pertama, baterai berfungsi sebagai catu daya cadangan (*backup power*) yang menjamin kontinuitas pasokan listrik untuk beban

lokal saat terjadi interupsi atau kegagalan pada jaringan utama. Kedua, baterai memungkinkan penyimpanan surplus energi (*excess power*) yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik untuk kemudian disalurkan kembali ke jaringan listrik nasional (PLN).(Samsurizal et al., 2021).

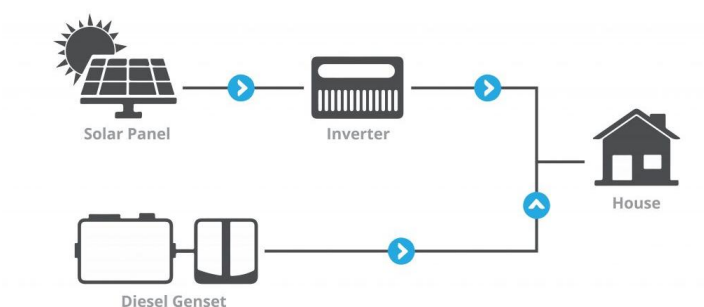


Gambar 2. 4 Skema Sistem PLTS *On-Grid*

(Sumber: renergynusantara.com)

2.1.3.3 PLTS *Hybrid*

PLTS *Hybrid* adalah sistem pembangkit listrik yang menggabungkan tenaga surya dengan satu atau lebih sumber energi lain, seperti genset, mikrohidro, atau angin. Tujuan utamanya adalah untuk menciptakan pasokan listrik yang lebih andal, stabil, dan berjalan terus-menerus. Selain itu, dengan manajemen operasi yang baik, sistem gabungan ini dirancang agar lebih hemat biaya (Samsurizal et al., 2021).



Gambar 2. 5 Skema Sistem PLTS *Hybrid*

(Sumber: renergynusantara.com)

2.1.4 Kebijakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap di Indonesia

Landasan hukum strategis dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia saat ini berpusat pada (PERATURAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA Nomor 112 Tahun 2022) tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Regulasi ini diterbitkan sebagai respon pemerintah terhadap urgensi transisi energi global dan komitmen nasional untuk menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sesuai dengan target *Nationally Determined Contribution* (NDC) serta pencapaian *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat. Kehadiran peraturan ini menandai pergeseran paradigma kebijakan energi nasional, dari yang sebelumnya bertumpu pada energi fosil menjadi prioritas pada energi bersih yang berkelanjutan.

Secara substansial, Perpres No. 112 Tahun 2022 memberikan kerangka regulasi yang komprehensif untuk menciptakan iklim investasi yang kondusif bagi pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT), termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Salah satu poin krusial dalam peraturan ini adalah mandat yang diberikan kepada PT PLN (Persero) untuk melakukan pembelian tenaga listrik yang dihasilkan dari pembangkit energi terbarukan. Kebijakan ini memberikan kepastian pasar (*off-take certainty*) bagi pengembang listrik swasta (*Independent Power Producer*), yang merupakan elemen vital dalam perhitungan kelayakan finansial sebuah proyek energi.

Dalam konteks keekonomian, regulasi ini menetapkan mekanisme harga pembelian tenaga listrik yang lebih transparan melalui skema Harga Patokan Tertinggi (*Ceiling Price*). Sebagaimana tercantum dalam Lampiran I peraturan ini, pemerintah telah menetapkan besaran harga patokan tertinggi pembelian tenaga listrik untuk PLTS Fotovoltaik yang didasarkan pada kapasitas dan lokasi pembangkit. Meskipun proyek PLTS Atap untuk penggunaan sendiri (*self-consumption*) memiliki karakteristik bisnis yang berbeda dengan *Independent Power Producer* (IPP) yang menjual listrik ke grid, penetapan harga patokan ini berfungsi sebagai *benchmark* atau acuan valuasi ekonomi energi surya di pasar domestik. Hal ini memberikan sinyal positif bahwa energi surya memiliki nilai ekonomi yang

kompetitif dan diakui secara regulasi. Selain itu, penetapan faktor lokasi (F) untuk wilayah-wilayah tertentu di luar Jawa, Madura, dan Bali menunjukkan upaya pemerintah untuk pemeratakan akses energi bersih ke seluruh pelosok negeri.

Lebih jauh lagi, Perpres No. 112 Tahun 2022 juga mengatur pemberian insentif, baik fiskal maupun non-fiskal, kepada badan usaha yang mengembangkan energi terbarukan. Dukungan pemerintah ini mencakup fasilitas perpajakan, kepastian, serta kemudahan dalam proses perizinan berusaha. Insentif-insentif ini dirancang untuk menurunkan biaya investasi awal (*Capital Expenditure*) yang seringkali menjadi hambatan utama dalam adopsi teknologi PLTS, sehingga dapat meningkatkan nilai *Internal Rate of Return* (IRR) dan mempercepat *Payback Period* proyek.

Aspek lain yang sangat fundamental dari regulasi ini adalah penyusunan peta jalan (*roadmap*) percepatan pengakhiran masa operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara serta larangan pembangunan PLTU baru, kecuali yang telah ditetapkan dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) sebelum berlakunya peraturan ini atau yang memenuhi syarat-syarat khusus terkait hilirisasi industri. Kebijakan "pensiun dini" PLTU ini secara tidak langsung "memaksa" sektor industri dan komersial untuk segera beralih ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Bagi sektor industri seperti PT. X, pemasangan PLTS Atap bukan lagi sekadar pilihan efisiensi biaya, melainkan langkah strategis untuk mengamankan pasokan energi masa depan dan memitigasi risiko volatilitas harga energi fosil, serta meningkatkan citra perusahaan (*corporate image*) sebagai entitas yang patuh terhadap regulasi lingkungan (ESG Compliance).

Dengan demikian, Perpres No. 112 Tahun 2022 tidak hanya berfungsi sebagai aturan teknis, tetapi sebagai payung hukum yang menjamin keberlanjutan proyek energi terbarukan di Indonesia. Bagi penelitian ini, keberadaan regulasi tersebut memperkuat justifikasi non-finansial bahwa investasi PLTS Atap on-grid kapasitas 50 kWp pada Gedung PT. X adalah keputusan yang selaras dengan arah kebijakan nasional, serta memiliki potensi keberlanjutan jangka panjang yang didukung penuh oleh instrumen hukum negara.

2.1.5 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Dalam konfigurasi PLTS Atap yang terhubung dengan jaringan listrik PLN (*grid-connected*), terdapat tiga elemen vital yang menjadi tulang punggung sistem, yaitu modul fotovoltaik yang berfungsi pada sisi pembangkitan, inverter pada sisi konversi daya, dan alat ukur pada sisi transaksi energi. Ketiga komponen utama tersebut dijabarkan sebagai berikut:

2.1.5.1 Modul Fotovoltaiik

Modul Fotovoltaiik merupakan inti dari teknologi konversi energi surya, yang bertanggung jawab untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Modul PV terdiri dari sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang mampu menghasilkan arus listrik ketika terkena sinar matahari. Proses ini, dikenal sebagai efek fotovoltaiik, memungkinkan modul PV mengonversi energi cahaya menjadi energi Listrik secara langsung. Modul PV biasanya diatur dalam serangkaian panel yang dapat dipasang di atap bangunan atau di lahan terbuka. Efisiensi modul PV, yang mencerminkan seberapa baik modul tersebut dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik, terus mengalami peningkatan melalui inovasi material dan desain. Pemahaman mendalam tentang karakteristik dan kinerja modul PV menjadi kunci dalam merancang sistem pembangkit listrik tenaga surya yang efisien dan berkelanjutan. (Arrosyid et al., 2024).



Gambar 2. 6 Modul Fotovoltaiik

(Sumber: exeoenergy.co.uk)

2.1.5.2 Inverter

Inverter adalah salah satu komponen terpenting dan paling kompleks dari sistem independen. Sistem tenaga listrik independen adalah sistem yang terlepas dari jaringan utilitas listrik. Sistem seperti itu bervariasi ukurannya dari lampu halaman kecil hingga rumah-rumah di lokasi terpencil, desa, taman nasional, fasilitas medis, dan militer. Fungsi utama inverter untuk mengubah daya arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik standar (AC). Ini dikarenakan AC merupakan daya yang dipasok ke industri dan rumah oleh jaringan listrik utama, baterai sistem tenaga bolak-balik hanya menyimpan daya DC. (Manihuruk & Simbolon, 2024)



Gambar 2. 7 Inverter

(Sumber: dunia-energi.com)

2.1.5.3 kWh Meter EXIM (Ekspor-Impor)

Secara Fungsional, kWh meter EXIM memiliki kemiripan dengan meteran konvensional PLN, namun dilengkapi kemampuan pengukuran dua arah. Alat ini mencatat arus energi yang masuk dan keluar, di mana kelebihan daya dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang diekspor ke jaringan PLN dihitung melalui skema Net Metering sebagai faktor pengurangan tagihan listrik (Immanuel Situmorang et al., 2024). Net Metering adalah energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap yang digunakan untuk kebutuhan konsumsi dan jika ada kelebihan akan di ekspor ke grid PLN dan jika terjadi defisit maka akan mengimpor daya dari grid PLN. kWh meter sistem metering ini akan mencatat besarnya selisih

ekspor/impor dan akan menjadi dasar perhitungan biaya listrik bulanan (Subariato, 2019).



Gambar 2. 8 kWh Meter EXIM
(Sumber: ralali.com)

2.1.6 Komponen Tambahan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.1.6.1 Kabel PV dan MCB DC

Kabel PV adalah kabel yang digunakan sebagai penghantar antara string panel surya dengan inverter. Sedangkan MCB DC adalah komponen untuk pembatas arus dan saklar antara *string* panel surya dan *inverter*. Kabel PV dan MCB DC ditentukan berdasarkan arus maksimal dari string panel surya (Diansyah et al., 2021).

2.1.6.2 Kabel AC dan MCB AC

Kabel AC berfungsi sebagai media transmisi daya yang menghubungkan inverter dengan jaringan listrik (*grid*). Pada jalur tersebut, diperlukan pemasangan MCB AC yang berperan ganda sebagai mekanisme proteksi terhadap arus berlebih sekaligus sebagai saklar pemutus arus. Spesifikasi teknis untuk kedua komponen ini harus dikalkulasikan berdasarkan besaran arus keluaran maksimum dari inverter.

2.1.6.3 SPD DC

Surge protection device (SPD) adalah peralatan yang berfungsi sebagai proteksi terhadap surja petir. SPD DC ditentukan berdasarkan tegangan rangkaian terbuka dari *string* panel surya (Diansyah et al., 2021).

2.1.6.4 SPD AC

Pada Sistem PLTS sisi AC juga memerlukan perlindungan terhadap lonjakan tegangan (*surge*), maka dari itu *Surge Protective Device* (SPD) AC harus dipasang, dengan spesifikasi yang mengacu pada tegangan nominal jaringan listrik yang digunakan.

2.1.7 Faktor Kinerja PLTS (Performance Ratio & Derating Factor)

Kinerja suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tidak hanya ditentukan oleh kapasitas nominal panel surya yang terpasang, tetapi juga oleh seberapa efisien sistem tersebut mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Dua parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi efektivitas dan kualitas teknis instalasi PLTS adalah *Performance Ratio* (PR) dan *Derating Factor*.

2.1.7.1 Performance Ratio (PR)

Performance Ratio didefinisikan sebagai rasio dari jumlah sebenarnya energi panel surya yang dikirim ke jaringan PLN dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah teoritis energi yang dihasilkan oleh panel surya. PR adalah persentase yang menunjukkan daya total yang dihasilkan oleh sistem PLTS dengan adanya pengaruh rugi-rugi dibandingkan dengan produksi daya listrik pada sistem PLTS yang ideal. Sistem PLTS dinyatakan layak jika memiliki persentase PR sebesar 70%-90%. PR dihitung dengan menggunakan persamaan berikut: (Sartika et al., 2023)

$$Performance\ Ratio = \frac{E_{yield}}{E_{ideal}}$$

Keterangan:

E_{yield} : Energi keluaran sistem PLTS dalam satu tahun

E_{ideal} : Energi ideal sistem PLTS

Energi keluaran dan energi ideal dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_{yield} = \text{kapasitas PV} \times N \times H_{tilt} \times \text{efisiensi}$$

$$H_{tilt} = PSH \times 365 \text{ hari}$$

Keterangan:

E_{yield} : rata-rata keluaran energi PLTS (Wh)

N : jumlah panel dalam *array* sistem PLTS

H_{tilt} : Radiasi Matahari

PSH : *Peak Sun Hours* (kWh/m²)

Efisiensi : 100% - *losses* (%)

Sedangkan untuk mengetahui nilai dari energi ideal yang dihasilkan dari PLTS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$E_{ideal} = \text{kapasitas PV} \times N \times H_{tilt}$$

Keterangan:

E_{ideal} : keluaran produksi energi PLTS tanpa *losses* (Wh)

N : jumlah panel dalam *array* sistem PLTS

H_{tilt} : radiasi matahari (1 PSH = 1 kWh/ m²)

2.1.7.2 Derating Factors (D)

Derating Factors (D) adalah faktor penskalan pada keluaran sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk memperhitungkan rugi-rugi sistem (*system losses*) dalam kondisi pengoperasian yang sebenarnya. *Derating factors* optimal adalah 1 dan nilai kurang dari 1 menunjukkan daya keluaran sistem yang berkurang (Rafli et al., 2022).

2.1.8 Pengertian Studi Kelayakan

Menurut Dr. Suad Husnan, MBA (1994;4) studi kelayakan proyek dapat didefinisikan sebagai sebuah riset mendalam untuk mengevaluasi probabilitas keberhasilan implementasi suatu proyek, yang umumnya bersifat investasi. Penting untuk digarisbawahi bahwa tolok ukur "keberhasilan" itu sendiri tidak bersifat tunggal, melainkan bervariasi sesuai dengan sudut pandang kalangan yang berkepentingan. Bagi pelaku usaha swasta, parameter keberhasilan cenderung dipersempit pada aspek manfaat ekonomi, di mana profitabilitas menjadi tujuan utama. Sebaliknya, bagi pemerintah atau organisasi nirlaba, konsep keuntungan (*benefit*) memiliki cakupan yang lebih luas. Keberhasilan dapat diartikan sebagai kontribusi proyek terhadap tujuan sosio-ekonomi yang lebih besar, seperti penciptaan lapangan kerja, pemanfaatan sumber daya domestik, serta penghematan atau perolehan devisa bagi negara.

Dalam kerangka analisis ini, kelayakan finansial menjadi salah satu pilar utama. Analisis kelayakan finansial secara spesifik bertujuan untuk merumuskan suatu indikator komprehensif yang dapat mengukur tingkat kelayakan sebuah proyek. Perspektif yang digunakan dalam analisis ini adalah dari sudut pandang investor atau pemangku kepentingan yang secara langsung menanamkan modalnya, sehingga fokus utamanya adalah pada viabilitas investasi tersebut.

2.1.9 Tujuan Studi Kelayakan

Investasi finansial berskala besar memerlukan studi kelayakan yang mendalam guna mencegah risiko kerugian modal pada proyek yang tidak memberikan keuntungan bagi perusahaan. Kegagalan tersebut sering kali dipicu oleh kesalahan dalam perencanaan strategis, mulai dari estimasi pasar yang keliru hingga ketidaktepatan dalam memilih teknologi, dan juga manajemen tenaga kerja. Selain itu, pembengkakan biaya pembangunan dan penundaan jadwal penyelesaian menjadi faktor internal yang kerap menghambat keberhasilan aspek ekonomi tersebut. Tantangan eksternal juga turut berperan, di mana perubahan dinamika sosial, ekonomi, politik, hingga bencana alam yang tidak terduga dapat mengancam keberlangsungan investasi. Dengan demikian, studi kelayakan memiliki tujuan

sebagai instrument krusial untuk memitigasi berbagai risiko tersebut agar pengambilan keputusan investasi menjadi lebih terukur dan aman.

2.1.10 Analisis Kelayakan Finansial

Dalam melakukan analisis ekonomi terhadap implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), faktor kelayakan teknis dan perhitungan finansial harus dipertimbangkan secara terintegrasi. Analisis ini bertujuan untuk mengestimasi biaya energi rata-rata dan mengoptimalkan efektivitas biaya.

Metode penganggaran modal (*capital budgeting*) dalam studi kelayakan proyek berpusat pada perhitungan *Free Cash Flow to Firm* (FCFF) sebagai indikator utama kesehatan finansial. Analisis ini diawali dengan perhitungan arus kas keluar (*Cash Outlay*) yang mencakup komponen biaya belanja modal (*Capital Expenditure*) seperti biaya *Engineering, Procurement, and Construction* (EPC) serta biaya pengembangan awal. Selain investasi fisik, komponen pengeluaran juga harus memperhitungkan biaya rutin tahunan, seperti biaya Operasional & Pemeliharaan (O&M). Sementara itu, arus kas masuk (*Cash Inflow*) diproyeksikan dari potensi pendapatan penjualan energi atau nilai penghematan tagihan listrik yang diperoleh perusahaan. Estimasi pendapatan ini dihitung secara cermat dengan mempertimbangkan faktor kapasitas produksi (*Capacity Factor*) dari pembangkit serta tarif dasar listrik yang berlaku. (Putra & Prabowo, 2026)

Analisis kelayakan proyek dari aspek finansial merupakan suatu langkah penting untuk menilai sejauh mana proyek tersebut layak dijalankan dari sisi ekonomi. Melalui analisis ini, peneliti atau pihak pengambil keputusan dapat mengetahui besarnya manfaat finansial yang akan diperoleh dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. Penilaian ini tidak hanya berfokus pada keuntungan jangka pendek, tetapi juga mempertimbangkan potensi keuntungan dalam jangka panjang yang dapat memberikan nilai tambah bagi perusahaan.

2.1.11 Kriteria Penilaian Kelayakan Finansial

Dalam melakukan analisis kelayakan suatu proyek investasi, diperlukan beberapa indikator yang dapat menggambarkan tingkat keuntungan serta waktu

pengembalian modal dari proyek tersebut. Beberapa kriteria yang umum digunakan untuk menilai kelayakan finansial proyek adalah Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period (PP). Ketiga indikator ini memberikan gambaran menyeluruh tentang manfaat ekonomi yang diperoleh dari suatu investasi energi, seperti pada proyek PLTS Rooftop 50 kWp.

1. Net Present Value (NPV)

Metode ini digunakan untuk menentukan perbedaan antara nilai sekarang dari arus kas masuk bersih dengan nilai sekarang dari biaya investasi yang dikeluarkan. Apabila nilai NPV yang diperoleh bernilai positif, maka investasi tersebut dianggap layak karena mampu memberikan keuntungan atau nilai tambah bagi proyek (Abuk & Rumbino, 2020).

$$NPV = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Keterangan:

- C_t : Aliran Kas (Cash Flow) pada periode ke-t
- I_0 : Investasi Awal
- r : Tingkat Diskonto
- t : Periode Waktu
- Jika $NPV > 0$, proyek layak dijalankan karena menghasilkan keuntungan.
- Jika $NPV = 0$, proyek impas (tidak rugi dan tidak untung).
- Jika $NPV < 0$, proyek tidak layak karena menyebabkan kerugian secara finansial.

2. Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat pengembalian investasi yang menyamakan nilai sekarang dari seluruh arus kas masuk di masa mendatang dengan nilai investasi awal. Semakin besar nilai IRR dibandingkan dengan tingkat pengembalian minimum yang diinginkan, maka semakin layak proyek investasi tersebut untuk dijalankan (Qomaruddin et al., 2021).

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2}(i_2 - i_1)$$

Keterangan:

- i_1 : Tingkat diskonto yang lebih rendah (yang menghasilkan NPV positif).
- i_2 : Tingkat diskonto yang lebih tinggi (yang menghasilkan NPV negatif).
- NPV_1 : *Net Present Value* yang bernilai positif, dihitung menggunakan tingkat diskonto i_1
- NPV_2 : *Net Present Value* yang bernilai negatif, dihitung menggunakan tingkat diskonto i_2

3. Payback Period (PP)

Payback Period merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan nilai investasi awal melalui keuntungan atau penghematan yang dihasilkan. Satuan waktu yang digunakan biasanya dinyatakan dalam tahun, bulan, dan hari. (Prabawa & Sidqi, 2025)

$$PP = \frac{\text{Nilai Investasi}}{\text{Total Kas Bersih}} \times 1 \text{ tahun}$$

2.1.12 Levelized Cost of Energy (LCOE)

Beberapa jenis sumber energi dapat mencapai titik impas (*break-even point*) dalam jangka waktu tertentu, yang biasanya ditentukan oleh umur operasional (*lifetime*) sistem pembangkit. Titik impas ini terjadi ketika akumulasi pendapatan dari penjualan energi yang dihasilkan telah menyamai seluruh biaya yang dikeluarkan, mulai dari investasi pembangunan hingga biaya operasi dan pemeliharaan fasilitas pembangkit tersebut.

Metode *Levelized Cost of Energy* (LCOE) sering digunakan dalam evaluasi proyek energi karena dapat menghitung biaya keseluruhan per unit energi yang dihasilkan, dengan mempertimbangkan semua biaya dari investasi awal hingga operasional dan pemeliharaan selama masa proyek. Dengan LCOE, perbandingan

antara teknologi seperti energi terbarukan, nuklir, dan bahan bakar fosil menjadi lebih jelas. Selain itu, LCOE memperhitungkan inflasi dan suku bunga, sehingga membantu memberikan gambaran yang realistis tentang biaya operasional jangka panjang. Dalam jangka panjang, energi terbarukan sering memiliki LCOE yang lebih rendah dibandingkan energi fosil, karena tidak ada biaya bahan bakar yang berkelanjutan.

Hal ini membuat LCOE sangat berguna bagi investor, pemerintah, dan pembuat kebijakan dalam menentukan pilihan teknologi yang paling ekonomis dan efisien. Selain itu, juga memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim, karena dapat membantu memprioritaskan investasi pada energi rendah karbon. Secara keseluruhan, LCOE menjadi alat yang sangat bermanfaat dalam merencanakan sistem energi yang berkelanjutan dan efisien untuk masa depan. (Adi, 2024)

2.2 Penelitian atau studi sebelumnya

Sebagai landasan awal dalam penyusunan analisis finansial, akurasi data input sangat menentukan validitas hasil perhitungan ekonomi. Melakukan analisis kelayakan finansial pada perencanaan sistem PLTS atap berkapasitas 59,8 kWp di Hotel Mella Putri dengan pendekatan yang sangat menekankan pada detail komponen biaya. Penelitian ini menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) secara rinci yang mencakup seluruh komponen investasi awal, kemudian menyandingkannya dengan estimasi penghematan energi hasil simulasi. Pendekatan ini dilakukan untuk memitigasi risiko kesalahan perhitungan arus kas (*cash flow*) yang sering terjadi akibat asumsi biaya yang tidak realistis pada tahap perencanaan awal.

Dalam studi tersebut, Yulia mengintegrasikan hasil simulasi produksi energi sebesar 68,78 MWh per tahun sebagai basis pendapatan penghematan listrik. Angka produksi energi ini tidak hanya diperlakukan sebagai data teknis semata, melainkan langsung dikonversi menjadi nilai moneter untuk mengukur efisiensi biaya operasional hotel secara jangka panjang. Dengan membandingkan tingginya

investasi awal (CAPEX) melawan penghematan biaya operasional (OPEX), penelitian ini memberikan gambaran konkret mengenai seberapa cepat titik impas dapat dicapai.

Relevansi studi ini terhadap penelitian penulis terletak pada metodologi penyusunan komponen arus kas yang valid. Pendekatan Yulia menegaskan bahwa profitabilitas proyek komersial sangat sensitif terhadap akurasi penaksiran biaya investasi dan potensi penghematan tarif listrik. Oleh karena itu, penulis mengadopsi struktur RAB dan metode konversi energi-ke-finansial yang serupa untuk memastikan skema investasi PLTS 50 kWp yang dirancang memiliki landasan perhitungan yang dapat dipertanggungjawabkan (Yulia, 2024).

Setelah komponen biaya dan pendapatan terpetakan, penting untuk memahami korelasi teknis yang mendasari angka-angka tersebut. Menyusun perencanaan sistem PLTS *rooftop* di Gedung Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo dengan pendekatan integrasi parameter teknis dan indikator ekonomis. Penelitian ini menyoroti bahwa analisis ekonomi tidak dapat berdiri sendiri tanpa validasi teknis yang kuat, khususnya terkait parameter *Performance Ratio* (PR). Peneliti menekankan bahwa PR adalah indikator kualitas utama yang menentukan seberapa efisien sistem mengubah iradiasi matahari menjadi energi listrik yang siap pakai

Studi ini membuktikan bahwa kesalahan kecil dalam desain teknis atau estimasi *yield* energi dapat mendistorsi seluruh proyeksi pendapatan keuangan di masa depan. Jika estimasi produksi energi meleset dari realisasi lapangan, maka perhitungan penghematan biaya listrik akan menjadi tidak akurat, yang pada akhirnya mempengaruhi validitas nilai NPV dan IRR. Oleh karena itu, desain teknis yang presisi ditempatkan sebagai fondasi prasyarat sebelum melangkah ke tahap analisis biaya. Metodologi ini sejalan dengan alur penelitian penulis yang memprioritaskan akurasi simulasi teknis menggunakan perangkat lunak sebelum melakukan perhitungan finansial. Dengan memastikan bahwa data input produksi energi telah terverifikasi melalui standar *Performance Ratio* yang wajar, penulis dapat menjamin bahwa analisis kelayakan finansial yang dihasilkan untuk PT

Mutuagung Lestari Tbk didasarkan pada asumsi kinerja sistem yang realistis dan dapat dicapai (Rafli et al., 2022).

Dalam konteks sistem *on-grid*, efisiensi teknis tersebut diterjemahkan menjadi nilai ekonomi melalui mekanisme tarif yang spesifik. Melakukan kajian mendalam terhadap proyek PLTS On-Grid berkapasitas 10 kWp di Graha YPK PLN dengan fokus spesifik pada perhitungan Levelized Cost of Energy (LCOE). Penelitian ini menguraikan secara rinci bagaimana mekanisme ekspor-impor energi dengan jaringan listrik (PLN) bekerja untuk mengurangi beban tagihan bulanan. Dalam skema ini, selisih antara energi yang diimpor dari jaringan dan energi yang diekspor oleh PLTS menjadi basis perhitungan nilai penghematan riil bagi gedung perkantoran.

Analisis LCOE dalam penelitian ini menghasilkan nilai biaya pokok pembangkitan sebesar Rp 1.444,70/kWh. Ketika angka ini dibandingkan dengan tarif dasar listrik (TDL) konvensional yang berlaku, terlihat margin efisiensi yang signifikan. Temuan ini memberikan bukti empiris bahwa biaya rata-rata untuk memproduksi listrik sendiri menggunakan tenaga surya jauh lebih rendah dibandingkan terus-menerus membeli listrik sepenuhnya dari jaringan, sehingga menciptakan ruang fiskal untuk penghematan anggaran operasional. Bagi tugas akhir penulis, studi ini memvalidasi asumsi bahwa instalasi PLTS atap 50 kWp dapat berfungsi sebagai instrumen strategis untuk menekan biaya operasional (OPEX). Mekanisme *net metering* yang dibahas oleh Pawenary menjadi rujukan utama penulis dalam memodelkan skema pendapatan proyek, di mana setiap kWh yang dihasilkan oleh sistem akan dihitung sebagai pengurangan biaya tagihan listrik perusahaan (Pawenary et al., 2022).

Ketika potensi penghematan operasional sudah terkonfirmasi, tantangan berikutnya adalah menentukan strategi pembiayaan yang tepat untuk mendanai investasi tersebut. Melakukan evaluasi komprehensif mengenai kelayakan pemasangan sistem PLTS berkapasitas 80 kW pada fasilitas industri. Fokus utama studi ini adalah membandingkan berbagai skema pembiayaan, yaitu pendanaan

mandiri (*equity*) melawan pinjaman bank (*loan*), guna menemukan opsi yang paling menguntungkan bagi arus kas perusahaan.

Penelitian ini menggunakan indikator *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate of Return* (IRR) sebagai tolak ukur perbandingan. Hasil simulasi menunjukkan disparitas yang signifikan antara kedua opsi tersebut skema investasi mandiri terbukti memberikan imbal hasil yang jauh lebih optimal. Hal ini disebabkan karena skema pinjaman bank membebankan bunga angsuran yang secara perlahan menggerus margin penghematan yang diperoleh dari produksi listrik, sehingga memperpanjang masa pengembalian modal. Temuan ini sangat krusial bagi penulis dalam menstrukturkan analisis modal untuk proyek di PT Mutuagung Lestari Tbk. Berdasarkan rekomendasi dari studi Ray tersebut, penulis mendapatkan wawasan bahwa struktur modal harus dirancang dengan hati-hati. Meminimalkan porsi utang berbunga tinggi adalah strategi kunci untuk menjaga agar nilai NPV tetap positif dan memastikan proyek tetap menarik secara finansial dalam jangka panjang.

Dalam penelitian ini, penulis merencanakan penggunaan 195 panel yang diproyeksikan dapat menghasilkan energi sebesar 89,83 MWh per tahun, dengan estimasi penghematan biaya mencapai Rp 110.051.317,00. Berdasarkan metode ekonomi teknik yang diterapkan, alternatif investasi terbaik yang diidentifikasi menunjukkan nilai NPV (Net Present Value) sebesar Rp 81.346.406,00 dan IRR (Internal Rate of Return) sebesar 0,53%. Dengan hasil tersebut, disimpulkan bahwa rencana finansial ini layak untuk dirancang dan diimplementasikan (Ray et al., 2021).

Namun, setiap proyeksi finansial pasti mengandung risiko ketidakpastian yang harus dimitigasi sejak awal. Meneliti hambatan ekonomi pada penerapan teknologi fotovoltaik di fasilitas publik Stasiun Kereta Api Cirebon. Studi ini mengidentifikasi masalah klasik dalam proyek energi terbarukan, yaitu tingginya biaya investasi awal (*Capital Expenditure*) yang seringkali membuat proyek terlihat tidak layak (*unfeasible*) jika hanya dilihat dari kondisi pasar saat ini tanpa mempertimbangkan dinamika masa depan.

Untuk mengatasi stagnasi tersebut, penelitian ini menerapkan analisis sensitivitas sebagai instrumen uji ketahanan. Peneliti mensimulasikan berbagai skenario perubahan variabel eksternal, seperti fluktuasi biaya komponen, laju inflasi, dan kenaikan tarif dasar listrik secara berkala. Hasilnya menunjukkan bahwa sebuah proyek yang awalnya dinilai rugi dapat berubah status menjadi layak (*feasible*) ketika variabel-variabel tersebut bergerak ke arah tertentu, misalnya saat tarif listrik naik atau harga komponen panel surya turun.

Metode analisis sensitivitas ini diadopsi sepenuhnya dalam tugas akhir penulis. Penulis tidak hanya akan menyajikan satu skenario tunggal, melainkan akan memproyeksikan skenario optimis, moderat, dan pesimis. Langkah ini bertujuan untuk memberikan gambaran risiko investasi yang transparan kepada pemangku kepentingan, membuktikan bahwa proyek PLTS 50 kWp memiliki ketahanan finansial terhadap gejolak ekonomi yang mungkin terjadi selama umur operasional proyek (Syamsudin et al., 2017).

Sebagai validasi penutup yang mencerminkan kondisi pasar terkini, (Prabawa, 2025) menerapkan teori penganggaran modal (*capital budgeting*) secara komprehensif untuk mengkaji kelayakan proyek PLTS di wilayah Pulau Limbung. Penelitian ini mengintegrasikan berbagai variabel makroekonomi ke dalam model finansial, menghasilkan kesimpulan bahwa proyek energi surya saat ini sangat layak dengan IRR mencapai 14,5% dan Payback Period 9,8 tahun. Angka-angka ini menegaskan bahwa dengan struktur biaya teknologi tahun 2025, proyeksi energi surya mampu menawarkan imbal hasil yang kompetitif dibandingkan instrumen investasi konvensional. Studi ini menjadi acuan utama penulis dalam menetapkan standar parameter kelayakan finansial yang wajar dalam tugas akhir ini.