

BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 Peran Energi Terbarukan di Indonesia

Energi terbarukan memiliki peran strategis dalam agenda transisi energi di Indonesia, terutama dalam upaya diversifikasi sumber energi dan pengurangan emisi karbon. Seiring dengan meningkatnya permintaan energi akibat pertumbuhan ekonomi dan populasi, ketergantungan pada bahan bakar fosil menjadi tantangan utama yang harus segera diatasi. Untuk itu, pengembangan energi terbarukan seperti energi surya dan biomassa menjadi relevan.

Studi menekankan bahwa energi surya memiliki potensi teknis yang sangat besar di Indonesia, dengan distribusi radiasi matahari rata-rata yang tinggi sepanjang tahun, menjadikannya sumber energi bersih yang andal untuk wilayah tropis [11]. Biomass juga diidentifikasi sebagai sumber energi terbarukan yang penting, di wilayah pedesaan dan sektor industri berbasis agro, karena ketersediaan bahan baku lokal yang melimpah [12],[13],[14],[15]. Pemanfaatan kedua sumber ini tidak hanya membantu memenuhi kebutuhan energi nasional, tetapi juga berkontribusi terhadap target pengurangan emisi gas rumah kaca dan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan di sektor energi [16],[17]. Peran energi terbarukan semakin krusial dalam mendukung ketahanan energi jangka Panjang dan transformasi sistem energi nasional yang lebih hijau.

2.1.1 Potensi Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan di Indonesia, terutama karena letak geografis negara ini yang berada di garis khatulistiwa. Posisi ini memberikan keunggulan alami berupa paparan sinar matahari yang tinggi dan stabil sepanjang tahun. Penelitian menyebutkan bahwa rata-rata intensitas radiasi matahari di Indonesia mencapai sekitar 4,8 kWh/m²/hari, yang menjadikannya sangat ideal untuk pengembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [18]. Selain itu, potensi teknis energi surya di Indonesia diperkirakan lebih dari 200 GW, tetapi pemanfaatannya masih tergolong rendah dibandingkan potensinya [19]. Dalam konteks global, International Renewable Energy Agency (IRENA, 2020) juga menegaskan bahwa negara-negara tropis seperti Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadikan energi surya

sebagai pilar utama transisi energi, terutama dalam mendukung dekarbonisasi sektor ketenagalistrikan dan peningkatan akses energi bersih di daerah terpencil [7], [20]. Oleh karena itu, optimalisasi pemanfaatan energi surya tidak hanya menjadi solusi atas tantangan ketahanan energi nasional, tetapi juga bagian integral dari upaya pengurangan emisi karbon dan pencapaian target pembangunan berkelanjutan.

Energi terbarukan adalah hal krusial dalam strategi diversifikasi energi Indonesia dan mendukung target pengurangan emisi karbon nasional. Salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan adalah energi surya, mengingat Indonesia memiliki rata-rata intensitas penyinaran matahari yang tinggi sepanjang tahun. Dengan kondisi geografis yang berada di garis khatulistiwa, potensi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat besar untuk dimanfaatkan dalam mendukung ketahanan energi nasional. Menurut studi pemanfaatan teknologi fotovoltaik (PV) berpotensi memberikan kontribusi signifikan dalam penyediaan listrik khususnya di wilayah-wilayah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik konvensional. Implementasi PLTS tidak hanya memberikan solusi terhadap keterbatasan akses energi, tetapi juga mendukung agenda transisi energi menuju sumber yang bersih dan berkelanjutan [21].

2.1.2 Potensi Energi Biomassa

Biomassa adalah sumber energi terbarukan lain yang memiliki potensi besar di Indonesia, terutama dari limbah pertanian, kehutanan, dan sampah organik. Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi tidak hanya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi dari pengelolaan limbah. Biomassa di Indonesia tersedia dalam jumlah yang melimpah dari limbah pertanian, kehutanan, dan perkebunan. Teknologi pengolahan biomassa dapat mengubah bahan organik ini menjadi sumber energi yang berkelanjutan. Studi menunjukkan bahwa potensi biomassa di Indonesia mencapai 32 GW, yang sebagian besar belum dimanfaatkan [22]. Proses konversi biomassa menjadi energi, baik melalui pembakaran langsung maupun melalui teknologi canggih seperti pirolisis dan gasifikasi, dapat menyediakan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan, khususnya di daerah pedesaan dan terpencil.

2.1.3 Kebijakan dan Regulasi

Pemerintah Indonesia telah menunjukkan komitmen yang kuat terhadap pengembangan energi terbarukan melalui berbagai kebijakan dan regulasi strategis. Salah satu tonggak kebijakan tersebut adalah Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), yang ada turunan menjadi RANPERDA RUED 2023-2050 Kepulauan Riau, yang menetapkan target ambisius kontribusi energi terbarukan sebesar 23% dalam bauran energi nasional pada tahun 2025 [23]. Kebijakan ini tidak hanya menegaskan arah transisi energi Indonesia, tetapi juga memberikan dasar hukum yang kokoh bagi pengembangan proyek-proyek energi bersih. Selain itu, berbagai insentif telah diperkenalkan untuk menarik investasi, seperti pengurangan pajak, kemudahan perizinan, serta tarif feed-in bagi listrik yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan. Menurut studi internasional, dukungan kebijakan yang konsisten dan jelas merupakan faktor kunci dalam menarik investor dan mempercepat implementasi proyek energi terbarukan di negara berkembang, termasuk Indonesia [24],[25].

2.1.4 Dampak Sosial dan Ekonomi

Pengembangan energi terbarukan tidak hanya berkontribusi terhadap ketahanan energi dan pengurangan emisi karbon, tetapi juga memberikan dampak sosial dan ekonomi yang signifikan bagi masyarakat lokal. Proyek-proyek pembangkit energi terbarukan, seperti tenaga surya dan biomassa, terbukti mampu menciptakan lapangan kerja baru, baik pada fase konstruksi, instalasi, maupun operasional jangka panjang. Hal ini berdampak langsung terhadap peningkatan kesejahteraan ekonomi masyarakat, terutama di wilayah terpencil yang selama ini mengalami keterbatasan akses listrik. Akses terhadap energi bersih secara langsung meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan memungkinkan kegiatan pendidikan, kesehatan, dan ekonomi berjalan lebih efektif [7],[26]. Selain itu, pengembangan potensi energi terbarukan yang disertai kebijakan proaktif dari pemerintah Indonesia dapat mempercepat tercapainya Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), serta memberikan manfaat jangka panjang baik bagi masyarakat maupun lingkungan [27].

2.2 Tantangan Energi Terbarukan di Indonesia

Pengembangan energi terbarukan di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan yang signifikan, yang menghambat percepatan penerapan teknologi dan perkembangan proyek energi bersih di seluruh wilayah. Beberapa hambatan utama yang diidentifikasi meliputi keterbatasan infrastruktur pendukung, ketidakpastian regulasi, dan keterbatasan dalam akses pendanaan untuk proyek skala besar maupun komunitas. Selain itu, keterbatasan teknologi lokal serta minimnya kapasitas sumber daya manusia di bidang energi terbarukan turut memperlambat proses transformasi energi. Kurangnya kesadaran masyarakat dan dukungan politik yang konsisten juga menjadi faktor penghambat utama dalam mendorong transisi energi nasional (IEA, 2021). Tantangan-tantangan ini perlu diatasi melalui kerangka kebijakan yang lebih progresif, dukungan investasi, serta peningkatan edukasi publik agar potensi energi terbarukan di Indonesia dapat dimaksimalkan secara berkelanjutan [28].

2.2.1 Keterbatasan infrastruktur

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia adalah keterbatasan infrastruktur yang mendukung. Banyak wilayah, terutama daerah terpencil dan pulau-pulau kecil, masih belum memiliki jaringan listrik yang andal atau fasilitas penyimpanan energi yang memadai. Hal ini berdampak langsung pada biaya tambahan yang harus dikeluarkan untuk membangun infrastruktur pendukung, seperti sistem transmisi, distribusi, dan baterai penyimpan energi, yang pada akhirnya dapat mengurangi daya tarik investasi bagi pengembang proyek [29]. Selain itu, ketidakterpaduan antara pusat-pusat pembangkit energi terbarukan dan sistem jaringan nasional menyebabkan tingginya potensi *curtailment* atau pemborosan energi yang sudah dihasilkan namun tidak tersalurkan secara optimal [30],[31]. Oleh karena itu, penguatan infrastruktur menjadi elemen krusial dalam mendorong percepatan pembangunan dan penerapan teknologi energi terbarukan secara luas di Indonesia.

2.2.2 Regulasi yang belum mendukung sepenuhnya

Meskipun Indonesia telah menetapkan berbagai kebijakan strategis untuk mendukung transisi energi, tantangan regulasi masih menjadi hambatan utama

dalam implementasi proyek energi terbarukan. Salah satu permasalahan yang paling sering muncul adalah tumpang tindihnya peraturan serta kurangnya kejelasan dan konsistensi dalam penerapannya, yang menyebabkan ketidakpastian hukum bagi para investor dan pelaku industri [32]. Selain itu, proses perizinan yang panjang dan birokrasi yang kompleks kerap memperlambat pembangunan proyek energi terbarukan, terutama di sektor swasta. Hal ini membuat biaya transaksi meningkat dan risiko investasi menjadi lebih tinggi [33]. Oleh karena itu, dibutuhkan penyesuaian regulasi dan penyederhanaan prosedur agar iklim investasi menjadi lebih kondusif dan dapat mempercepat transisi menuju energi terbarukan di Indonesia.

2.2.3 Kendala pendanaan

Pendanaan menjadi salah satu kendala utama dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Proyek-proyek di sektor ini umumnya memerlukan investasi awal yang besar, terutama untuk pembangunan infrastruktur dan teknologi penyimpanan energi, yang seringkali tidak sebanding dengan pendapatan awal yang dihasilkan [24],[34],[35]. Selain itu, akses terhadap sumber pembiayaan masih terbatas karena proyek energi terbarukan masih dianggap memiliki risiko tinggi oleh bank dan lembaga keuangan, baik dari sisi ketidakpastian teknis maupun keberlanjutan pasokan bahan baku, terutama untuk biomassa [36]. Di samping itu, masih minimnya mekanisme pembiayaan inovatif, seperti blended finance atau green bonds, serta terbatasnya insentif fiskal dari pemerintah semakin memperlambat pertumbuhan investasi di sektor ini. Dukungan kebijakan yang lebih kuat dan keterlibatan aktif sektor keuangan menjadi krusial untuk menjembatani kebutuhan pendanaan yang besar dalam transisi energi nasional.

2.2.4 Kendala teknologi

Meskipun teknologi energi terbarukan mengalami perkembangan pesat, berbagai kendala teknologi masih menjadi tantangan utama dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem energi terbarukan di Indonesia. Salah satu kendala yang signifikan adalah keterbatasan dalam teknologi penyimpanan energi. Penyimpanan yang efisien dan terjangkau sangat diperlukan untuk mengatasi sifat *intermittent* dari sumber energi seperti tenaga surya dan angin, yang tidak selalu tersedia

sepanjang waktu [37]. Teknologi baterai, seperti lithium-ion, masih tergolong mahal dan memiliki tantangan dalam skala besar, baik dari sisi biaya maupun keberlanjutan siklus hidupnya [38]. Selain itu, teknologi konversi biomassa menjadi energi, meskipun telah tersedia, masih memerlukan inovasi lebih lanjut agar lebih efisien dan ramah lingkungan, terutama dalam konteks pengurangan emisi dan pemanfaatan limbah secara optimal. Oleh karena itu, peningkatan investasi dalam riset dan pengembangan teknologi sangat penting untuk mendukung transisi energi yang berkelanjutan.

2.2.5 Kurangnya kesadaran dan dukungan masyarakat

Kurangnya kesadaran dan dukungan masyarakat menjadi salah satu hambatan dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Rendahnya pemahaman masyarakat terhadap manfaat dan urgensi transisi energi bersih menyebabkan tingkat penerapan teknologi energi terbarukan masih rendah, khususnya di wilayah pedesaan dan terpencil [39]. Masyarakat sering kali menunjukkan resistensi terhadap teknologi baru karena kurangnya informasi, ketidakpastian terhadap keandalan sistem, dan kekhawatiran akan perubahan yang dibawa [40]. Oleh karena itu, kampanye edukasi sangat diperlukan untuk meningkatkan literasi energi dan membangun persepsi positif terhadap energi terbarukan. Keterlibatan aktif pemerintah, LSM, dan sektor swasta dalam mengedukasi masyarakat dapat menjadi katalisator penting dalam mendorong penerimaan dan partisipasi publik dalam proyek-proyek energi bersih.

2.2.6 Tantangan ekonomi dan politik

Situasi ekonomi dan politik memiliki pengaruh besar terhadap pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Fluktuasi harga bahan bakar fosil sering kali menyebabkan ketidakpastian dalam pengambilan keputusan investasi, karena harga energi konvensional yang rendah dapat mengurangi daya saing proyek energi terbarukan (IEA, 2021). Selain itu, perubahan kebijakan pemerintah dan ketidakstabilan politik dapat menciptakan risiko tambahan bagi investor dan pengembang proyek, yang pada akhirnya menghambat percepatan transisi energi [41]. Kepastian hukum, konsistensi regulasi, serta dukungan politik yang kuat dari berbagai pemangku kepentingan menjadi elemen penting dalam menciptakan iklim

investasi yang kondusif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penguatan tata kelola sektor energi serta komitmen jangka panjang dari pemerintah sangat diperlukan untuk memastikan pertumbuhan sektor energi terbarukan yang stabil dan inklusif.

2.3 Skema Bisnis Energi Terbarukan

Skema bisnis memainkan peran kunci dalam keberhasilan implementasi proyek energi terbarukan, karena mereka menentukan struktur keuangan, distribusi risiko, dan model pengembalian investasi. Beberapa skema yang umum diterapkan meliputi *feed-in tariff* (FiT), *power purchase agreements* (PPA), serta kemitraan publik-swasta (*public-private partnerships*) yang memungkinkan pembiayaan dan pengelolaan bersama antara pemerintah dan sektor swasta (Zhou et al., 2020). FiT, misalnya, memberikan jaminan harga kepada produsen energi terbarukan, yang sangat penting dalam menarik investor pada tahap awal pasar [42],[43]. Di sisi lain, kemitraan publik-swasta memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan risiko dan pembiayaan, khususnya untuk proyek besar dan kompleks. Pemilihan skema bisnis yang tepat harus disesuaikan dengan karakteristik proyek, seperti lokasi, kapasitas pembangkit, jenis teknologi, serta profil risiko yang melekat. Selain itu, skema bisnis proyek tersebut perlu diperkuat dengan kebijakan dan regulasi yang mendukung agar mampu menciptakan lingkungan investasi yang stabil dan menarik. Dengan demikian, keberhasilan proyek energi terbarukan sangat dipengaruhi oleh kecocokan skema bisnis serta dukungan kebijakan yang proaktif dan berkelanjutan.

2.3.1 Tarif *Feed-in*

Tarif *feed-in* (*feed-in tariff*/FiT) merupakan salah satu instrumen kebijakan yang paling efektif dalam mendorong pengembangan energi terbarukan di berbagai negara, termasuk Indonesia. Skema ini menjamin bahwa penyedia energi terbarukan akan menerima harga tetap untuk setiap kilowatt-jam (kWh) listrik yang mereka hasilkan dan suplai ke jaringan selama periode tertentu, biasanya antara 15 hingga 25 tahun. Mekanisme ini memberikan kepastian pendapatan bagi investor dan mengurangi risiko finansial, sehingga sangat menarik untuk pengembangan proyek energi bersih. Selain itu, FiT dapat merangsang masuknya teknologi baru dan mempercepat pertumbuhan pasar energi terbarukan, terutama pada tahap awal

ketika biaya teknologi masih tinggi [44],[45]. Namun, keberhasilan implementasi FiT sangat tergantung pada penetapan tarif yang kompetitif dan berkelanjutan serta dukungan regulasi yang stabil dan transparan. Dalam konteks Indonesia, penerapan skema ini menjadi salah satu pendekatan yang potensial untuk meningkatkan daya tarik investasi di sektor energi terbarukan.

2.3.2 Pembiayaan Swasta

Pembiayaan swasta menjadi salah satu pilar utama dalam mendukung pengembangan proyek energi terbarukan, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Melalui berbagai instrumen seperti investasi ekuitas, pinjaman, dan obligasi hijau (*green bonds*), sektor swasta menyediakan sumber dana yang lebih fleksibel dan dapat disesuaikan dengan karakteristik proyek [46],[47]. Keterlibatan sektor swasta tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan pada pembiayaan publik, tetapi juga membawa nilai tambah dalam bentuk inovasi teknologi, efisiensi operasional, dan keahlian manajerial yang dapat mempercepat realisasi proyek [48]. Selain itu, kehadiran pembiayaan swasta sering menjadi indikator penting bagi keberlanjutan proyek, karena menunjukkan adanya kepercayaan pasar terhadap kelayakan teknis dan komersial dari proyek tersebut. Oleh karena itu, menciptakan iklim investasi yang kondusif, termasuk melalui kebijakan insentif dan mitigasi risiko, menjadi kunci untuk meningkatkan partisipasi swasta dalam transisi energi berkelanjutan.

2.3.3 Kemitraan Publik-Swasta

Kemitraan publik-swasta (*public-private partnership/PPP*) telah menjadi salah satu mekanisme efektif dalam mendorong pengembangan proyek energi terbarukan, terutama di negara berkembang yang menghadapi keterbatasan anggaran pemerintah. Dalam skema ini, pemerintah dan sektor swasta bekerja sama dalam pendanaan, pembangunan, dan pengelolaan proyek, dengan pembagian risiko, tanggung jawab, serta manfaat yang jelas antara kedua pihak [49]. Pemerintah biasanya memberikan dukungan dalam bentuk regulasi yang kondusif, insentif fiskal, atau jaminan terhadap risiko tertentu, sementara pihak swasta menyumbangkan modal investasi, keahlian teknis, dan efisiensi operasional [50]. Skema PPP memungkinkan percepatan pembangunan infrastruktur energi

terbarukan dengan kualitas yang lebih tinggi dan risiko yang lebih terkelola, sekaligus meningkatkan daya tarik investasi melalui struktur proyek yang lebih bankable. Dengan demikian, PPP merupakan pendekatan strategis yang mampu menjembatani kebutuhan pembangunan infrastruktur energi berkelanjutan dan keterbatasan kapasitas fiskal pemerintah.

2.3.4 Power Purchase Agreement (PPA)

Power Purchase Agreement (PPA) merupakan salah satu instrumen utama dalam pengembangan proyek energi terbarukan yang menawarkan kepastian hukum dan finansial bagi para investor. PPA adalah kontrak jangka panjang antara penyedia energi terbarukan dan pembeli listrik, seperti perusahaan utilitas atau korporasi besar, yang menetapkan volume dan harga listrik yang dijual selama periode tertentu [51]. Dengan adanya PPA, penyedia energi memperoleh jaminan pendapatan tetap yang dapat digunakan untuk menjamin pembiayaan proyek, sementara pembeli mendapatkan stabilitas harga dan pasokan listrik yang andal. Hal ini secara signifikan mengurangi risiko fluktuasi harga pasar dan meningkatkan bankability proyek [52]. Di pasar negara berkembang seperti Indonesia, PPA sangat penting untuk menarik investasi swasta karena memberikan struktur risiko yang lebih jelas dan kepastian pengembalian modal dalam jangka Panjang.

2.3.5 Kredit Karbon

Skema kredit karbon memberikan peluang tambahan bagi proyek energi terbarukan untuk memperoleh pendapatan dari kontribusinya dalam pengurangan emisi gas rumah kaca. Setiap satu kredit karbon umumnya mewakili satu ton emisi karbon dioksida (CO₂) yang berhasil dihindari melalui pemanfaatan sumber energi rendah karbon seperti tenaga surya, angin, atau biomassa. Kredit ini dapat dijual di pasar karbon internasional, baik dalam skema pasar sukarela maupun pasar yang diatur, sehingga menciptakan insentif finansial bagi proyek-proyek energi bersih [53]. Pendapatan dari penjualan kredit karbon ini tidak hanya membantu meningkatkan kelayakan finansial proyek, tetapi juga menarik minat investor swasta dengan meningkatkan *return on investment* (ROE) [54]. Oleh karena itu, integrasi proyek energi terbarukan dengan pasar karbon menjadi strategi penting dalam mempercepat transisi energi bersih di negara berkembang seperti Indonesia.

2.3.6 Pembiayaan Crowdfunding

Pembiayaan *crowdfunding* telah muncul sebagai salah satu alternatif inovatif dalam mendukung pengembangan proyek energi terbarukan, terutama skala kecil dan menengah. Metode ini mengandalkan pengumpulan dana dari banyak individu melalui platform daring, yang memungkinkan partisipasi publik dengan kontribusi modal yang relatif kecil [55]. Selain menyediakan sumber pembiayaan tambahan, *crowdfunding* juga memiliki potensi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya transisi energi bersih serta menciptakan keterlibatan sosial yang lebih luas dalam pengembangan energi terbarukan. Studi menunjukkan bahwa proyek energi terbarukan yang didanai melalui *crowdfunding* tidak hanya mendapatkan dukungan finansial tetapi juga legitimasi sosial yang kuat, karena melibatkan investor langsung dari komunitas [56]. Oleh karena itu, *crowdfunding* menjadi salah satu skema pembiayaan yang menjanjikan dalam mempercepat adopsi teknologi energi bersih di negara berkembang seperti Indonesia.

2.4 Peluang dan Tantangan Bisnis Energi Terbarukan

Bisnis energi terbarukan di Indonesia memiliki prospek yang menjanjikan, mengingat potensi sumber daya alam yang melimpah seperti energi surya, angin, air, dan biomassa, serta komitmen pemerintah yang tertuang dalam berbagai kebijakan untuk mendorong penggunaan energi bersih dalam bauran energi nasional. Menurut IRENA (2020), Indonesia memiliki potensi energi terbarukan hingga lebih dari 3000 GW, yang jika dimanfaatkan secara optimal dapat mendukung pertumbuhan ekonomi berkelanjutan dan pengurangan emisi karbon [11],[57]. Namun demikian, untuk merealisasikan peluang tersebut, terdapat tantangan signifikan yang harus dihadapi. Beberapa hambatan utama meliputi ketidakpastian dalam regulasi, tingginya biaya investasi awal, dan keterbatasan teknologi serta infrastruktur pendukung. Ketidakpastian kebijakan, seperti perubahan tarif listrik atau insentif pajak yang tidak konsisten, menurunkan minat investor. Sementara itu, teknologi penyimpanan energi yang belum optimal dan keterbatasan kapasitas jaringan listrik juga menjadi penghalang dalam integrasi energi terbarukan secara luas. Oleh karena itu, dukungan kebijakan yang stabil, kemitraan strategis, serta inovasi pembiayaan menjadi kunci penting untuk mempercepat transisi energi di Indonesia [58].

2.4.1 Peluang Bisnis Energi Terbarukan

Peluang bisnis dalam sektor energi terbarukan di Indonesia sangat besar, didorong oleh kombinasi antara potensi sumber daya alam yang melimpah dan dukungan kebijakan dari pemerintah. Energi surya, angin, biomassa, dan panas bumi memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan proyek-proyek skala besar maupun kecil di seluruh wilayah Indonesia (IEA, 2021). Selain itu, kebijakan nasional seperti Perpres No. 112 Tahun 2022 dan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menunjukkan komitmen kuat dalam meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi. Studi oleh Hasan et al. (2021) menunjukkan bahwa inisiatif pemerintah seperti insentif fiskal dan tarif feed-in memberikan dorongan bagi investor untuk terlibat dalam proyek energi terbarukan. Meski demikian, tantangan tetap ada, seperti ketidaksempurnaan regulasi dan biaya teknologi yang masih tinggi. Teknologi penyimpanan energi, sistem jaringan cerdas (smart grid), dan peralatan energi bersih lainnya masih memerlukan investasi besar, yang dapat menghambat pertumbuhan bisnis baru dalam sektor ini (IRENA, 2020). Untuk memaksimalkan peluang tersebut, diperlukan reformasi regulasi yang konsisten serta strategi pembiayaan inovatif yang mampu menjembatani kebutuhan modal dengan risiko investasi yang ada [59].

2.4.1.1 Investasi dalam Proyek Pembangkit Listrik

Investasi dalam proyek pembangkit listrik tenaga surya dan biomassa telah menjadi fokus utama dalam strategi pengembangan energi terbarukan, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Proyek-proyek ini menawarkan peluang bisnis yang menjanjikan karena mampu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil sekaligus menyediakan sumber energi yang bersih dan berkelanjutan [60]. Selain dampak lingkungan yang positif, sektor ini juga menarik minat investor karena potensi pengembalian investasi yang kompetitif, terutama ketika didukung oleh insentif fiskal dan kebijakan feed-in tariff yang stabil. Biomassa, yang berasal dari limbah pertanian dan kehutanan, serta tenaga surya yang didukung oleh intensitas radiasi matahari yang tinggi di wilayah tropis, menjadikan Indonesia sebagai lokasi ideal bagi pengembangan proyek pembangkit energi terbarukan. Studi oleh Ouhibi et al. (2021) menunjukkan bahwa keberhasilan investasi dalam proyek pembangkit

ini sangat bergantung pada kepastian regulasi dan kelayakan teknis proyek, termasuk aspek penyimpanan dan integrasi ke jaringan. Oleh karena itu, investasi dalam sektor ini tidak hanya relevan dari sisi profitabilitas, tetapi juga mendukung agenda transisi energi nasional.

2.4.1.2 Pengembangan Teknologi dan Inovasi

Pengembangan teknologi dan inovasi memegang peranan penting dalam mempercepat adopsi energi terbarukan di berbagai sektor. Kemajuan dalam teknologi penyimpanan energi seperti baterai lithium-ion, sistem manajemen energi berbasis kecerdasan buatan, dan *smart grid* telah secara signifikan meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem energi terbarukan [61]. Selain itu, inovasi dalam sistem distribusi dan integrasi energi, termasuk *microgrid* dan *demand response technology*, membuka peluang baru bagi perusahaan teknologi dan *start-up* untuk terlibat dalam sektor energi bersih [62]. Teknologi efisiensi energi seperti inverter canggih, panel surya bifasial, dan sistem prediksi cuaca berbasis machine learning juga meningkatkan kinerja teknis dan ekonomi dari proyek-proyek energi terbarukan. Di Indonesia, peluang untuk adopsi teknologi ini sangat besar, terutama di wilayah kepulauan yang memerlukan sistem distribusi energi yang fleksibel dan dapat diandalkan. Dengan dukungan kebijakan dan investasi, pengembangan teknologi energi terbarukan dapat menjadi motor utama transisi energi nasional.

2.4.1.3 Kemitraan Publik-Swasta

Kemitraan antara sektor publik dan swasta (Public-Private Partnership/PPP) merupakan salah satu pendekatan strategis yang semakin banyak diterapkan dalam pengembangan proyek energi terbarukan di negara berkembang, termasuk Indonesia. Model ini memungkinkan pembagian risiko dan pembiayaan antara pemerintah dan sektor swasta, sehingga mempercepat realisasi proyek energi bersih dengan efisiensi yang lebih tinggi [63]. Pemerintah dapat menyediakan berbagai insentif seperti subsidi modal awal, jaminan harga listrik melalui *Power Purchase Agreements* (PPA), serta kebijakan perpajakan yang mendukung guna menarik minat investor swasta [64]. Studi menunjukkan bahwa keberhasilan PPP sangat bergantung pada transparansi regulasi, kejelasan struktur kontrak, dan adanya jaminan kestabilan kebijakan jangka panjang dari pemerintah. Di konteks

Indonesia, PPP sangat relevan untuk proyek pembangkit listrik tenaga surya dan biomassa, khususnya di daerah-daerah terpencil seperti Pulau Kundur, karena mampu menjembatani keterbatasan fiskal pemerintah dan kebutuhan teknologi serta manajemen dari sektor swasta.

2.4.1.4 Pasar Sertifikat Energi Terbarukan

Pasar Sertifikat Energi Terbarukan atau Renewable Energy Certificates (RECs) telah menjadi mekanisme penting dalam mendukung transisi global menuju energi bersih. Melalui RECs, perusahaan dapat secara tidak langsung mendukung pengembangan energi terbarukan dengan membeli sertifikat yang mewakili satu megawatt-jam listrik yang dihasilkan dari sumber terbarukan [65]. RECs memungkinkan entitas bisnis untuk memenuhi komitmen keberlanjutan tanpa harus mengubah pasokan listrik fisik mereka. Di banyak negara, RECs juga menjadi bagian dari mekanisme pemenuhan regulasi atau target energi hijau yang bersifat sukarela. Pasar RECs terus berkembang dan menciptakan peluang pendapatan tambahan bagi pengembang proyek energi terbarukan, termasuk dari sumber biomassa dan surya, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia (Kumar et al., 2020). Selain itu, meningkatnya kesadaran perusahaan global terhadap target *net-zero* emisi karbon turut mendorong permintaan atas RECs sebagai alat kompensasi emisi, sehingga memperkuat daya tarik bisnis energi terbarukan [66].

2.4.1.5 Pengelolaan Limbah dan Produksi Biomassa

Pemanfaatan limbah sebagai sumber energi biomassa merupakan pendekatan strategis dalam mencapai tujuan keberlanjutan energi dan pengelolaan limbah secara terpadu. Limbah organik dari sektor pertanian, kehutanan, dan industri agro dapat diolah menjadi energi dalam bentuk biogas, bio-oil, atau listrik melalui proses termokimia dan biokimia [67]. Strategi ini tidak hanya membantu mengurangi volume limbah dan dampak lingkungan yang ditimbulkannya, tetapi juga menciptakan sumber energi terbarukan yang dapat diandalkan, terutama di wilayah pedesaan atau terpencil [68]. Dalam konteks negara berkembang seperti Indonesia, pemanfaatan limbah biomassa menjadi penting mengingat besarnya potensi residu pertanian dan limbah organik yang belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian juga menunjukkan bahwa sistem bioenergi berbasis limbah dapat meningkatkan

ketahanan energi lokal sekaligus menciptakan nilai tambah ekonomi dari bahan yang sebelumnya tidak bernilai [69].

2.4.1.6 Energi Terbarukan di Daerah Terpencil

Energi terbarukan memiliki potensi besar untuk meningkatkan akses energi di daerah terpencil dan pulau-pulau kecil yang tidak terhubung ke jaringan listrik utama. Sistem hybrid yang menggabungkan tenaga surya dan biomassa telah terbukti efektif dalam menyediakan pasokan energi yang berkelanjutan, andal, dan ramah lingkungan bagi komunitas terpencil [70]. Solusi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang mahal dan sulit didistribusikan ke wilayah terpencil, tetapi juga meningkatkan kemandirian energi lokal dan mempercepat pembangunan sosial ekonomi [71]. Selain itu, sistem ini dapat dirancang secara modular dan disesuaikan dengan kebutuhan lokal, menjadikannya solusi yang fleksibel dan skalabel untuk wilayah geografis dengan tantangan akses listrik. Dengan dukungan kebijakan yang tepat dan keterlibatan masyarakat, implementasi energi terbarukan di daerah terpencil dapat menjadi pendorong utama dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan.

2.4.2 Tantangan Bisnis Energi Terbarukan

Meskipun sektor energi terbarukan menawarkan peluang bisnis yang sangat besar, pelaksanaannya masih menghadapi berbagai tantangan yang signifikan, terutama dalam aspek finansial dan teknis. Proyek-proyek energi terbarukan sering kali memerlukan investasi awal yang besar, yang menjadi hambatan utama bagi pengembang dan investor, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia [72]. Selain itu, ketidakpastian kebijakan, risiko pasar, dan kurangnya akses ke mekanisme pembiayaan yang memadai turut memperbesar risiko proyek dan mengurangi daya tarik investasi (Luthra et al., 2015). Dari sisi teknis, keterbatasan infrastruktur pendukung seperti sistem penyimpanan energi dan jaringan listrik cerdas (smart grid) masih menjadi kendala dalam integrasi energi terbarukan ke dalam sistem kelistrikan nasional (IRENA, 2018). Kompleksitas regulasi serta kurangnya kapasitas teknis lokal untuk mengoperasikan dan memelihara teknologi canggih juga berkontribusi terhadap rendahnya realisasi proyek energi terbarukan. Oleh karena itu, strategi mitigasi risiko dan kolaborasi lintas sektor sangat

diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan memperkuat keberlanjutan bisnis energi terbarukan.

2.4.2.1 Tantangan Finansial

2.4.2.1.1 Biaya awal yang tinggi

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan proyek energi terbarukan adalah tingginya biaya awal yang diperlukan untuk pembangunan fasilitas pembangkit listrik. Biaya ini mencakup pengadaan peralatan, instalasi, dan pembangunan infrastruktur pendukung, yang sering kali menjadi hambatan signifikan bagi investor, terutama di negara berkembang. Menurut Raza et al. (2015), tingginya biaya modal awal merupakan penghalang utama dalam penyebaran energi terbarukan, karena proyek-proyek ini memerlukan investasi besar di awal, sementara pengembalian investasi terjadi dalam jangka Panjang [73]. Selain itu, Painuly (2001) menyoroti bahwa keterbatasan akses terhadap pembiayaan jangka panjang dan ketatnya persyaratan pinjaman dari lembaga keuangan membuat proyek energi terbarukan kurang menarik bagi investor. Hal ini diperparah oleh persepsi risiko tinggi terhadap teknologi baru dan kurangnya pengalaman lembaga keuangan dalam menilai proyek-proyek energi terbarukan, yang mengakibatkan suku bunga pinjaman yang lebih tinggi dan persyaratan jaminan yang ketat. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan inovasi dalam mekanisme pembiayaan, seperti kemitraan publik-swasta dan skema pembiayaan berbasis hasil, guna meningkatkan daya tarik investasi dan mempercepat adopsi energi terbarukan.

2.4.2.1.2 Kesulitan dalam mendapatkan pembiayaan

Meskipun energi terbarukan semakin dilihat sebagai sektor strategis dan menjanjikan, banyak proyek berskala besar masih menghadapi kesulitan dalam memperoleh pembiayaan yang memadai. Hal ini disebabkan oleh karakteristik proyek energi terbarukan yang umumnya memerlukan investasi awal yang tinggi dengan periode pengembalian yang panjang. Investor dan lembaga keuangan sering kali menunjukkan keraguan dalam mendanai proyek-proyek ini karena dianggap memiliki tingkat risiko yang tinggi dan tingkat pengembalian yang tidak pasti dalam jangka pendek [74]. Selain itu, keterbatasan informasi mengenai risiko teknologi dan pasar, serta kurangnya pengalaman dalam mengevaluasi proyek

energi bersih, turut memperburuk kondisi ini (Wüstenhagen & Menichetti, 2012). Studi oleh Taghizadeh-Hesary et al. (2020) juga mengungkapkan bahwa ketidaksesuaian antara profil risiko proyek dan preferensi risiko lembaga keuangan sering menyebabkan penolakan pembiayaan. Oleh karena itu, penguatan kerangka kebijakan, jaminan kredit, serta instrumen pembiayaan inovatif diperlukan untuk menjembatani kesenjangan antara kebutuhan pembiayaan dan kapasitas pendanaan yang tersedia.

2.4.2.1.3 Fluktuasi harga pasar

Fluktuasi harga pasar merupakan salah satu tantangan utama dalam pengembangan proyek energi terbarukan karena dapat secara langsung memengaruhi profitabilitas dan kelayakan investasi jangka panjang. Ketidakstabilan harga energi, baik dari sisi biaya input seperti peralatan teknologi maupun dari sisi harga jual listrik di pasar, menciptakan ketidakpastian yang cukup tinggi bagi pengembang proyek dan investor. Ketika harga listrik dari sumber konvensional menurun secara drastis, daya saing harga energi terbarukan juga ikut tertekan, terutama jika tidak ada skema tarif tetap seperti *feed-in tariff* atau kontrak jangka panjang [75]. Lebih lanjut, studi oleh He et al. (2022) menekankan bahwa volatilitas harga listrik di pasar bebas dapat menghambat ekspansi kapasitas energi terbarukan karena investor cenderung menghindari risiko pasar yang tinggi, kecuali jika terdapat instrumen lindung nilai atau dukungan kebijakan yang memadai. Oleh sebab itu, stabilisasi harga melalui regulasi pasar atau Power Purchase Agreement (PPA) menjadi penting untuk memberikan kepastian pendapatan dan menarik lebih banyak investasi dalam sektor ini.

2.4.2.2 Tantangan Teknis

2.4.2.2.1 Intermitensi sumber energi

Sifat intermiten dari sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin merupakan tantangan teknis utama dalam integrasi energi terbarukan ke dalam sistem kelistrikan. Produksi energi dari sumber ini sangat bergantung pada kondisi alam seperti intensitas sinar matahari dan kecepatan angin, yang bersifat fluktuatif dan tidak dapat diprediksi secara konsisten [76]. Ketidakpastian ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara pasokan dan permintaan energi, sehingga

mengganggu stabilitas jaringan listrik. Untuk mengatasi tantangan ini, sistem energi memerlukan dukungan dari teknologi penyimpanan energi dan sistem grid yang fleksibel. Namun, pengembangan infrastruktur penyimpanan energi seperti baterai skala besar masih menghadapi kendala biaya dan efisiensi teknologi. Oleh karena itu, solusi jangka panjang memerlukan kombinasi antara inovasi teknologi, perencanaan sistem yang canggih, dan kebijakan yang mendukung integrasi energi terbarukan secara andal.

2.4.2.2.2 Teknologi penyimpanan energi

Teknologi penyimpanan energi menjadi komponen krusial dalam mendukung integrasi sumber energi terbarukan yang bersifat intermittent seperti tenaga surya dan angin. Meskipun teknologi seperti baterai litium-ion telah menunjukkan potensi besar dalam menyimpan energi dalam jumlah besar dan dengan respons cepat, biaya investasi yang tinggi serta keterbatasan kapasitas dan umur pakai masih menjadi kendala utama [38],[77]. Selain itu, efisiensi konversi energi dan degradasi performa seiring waktu juga membatasi keandalan penyimpanan jangka panjang. Tantangan ini diperburuk oleh kurangnya infrastruktur yang mendukung penyebaran sistem penyimpanan energi dalam skala besar. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi serta kebijakan insentif untuk menurunkan biaya dan meningkatkan performa penyimpanan energi agar sistem energi terbarukan dapat beroperasi secara andal dan berkelanjutan.

2.4.2.2.3 Keterbatasan infrastruktur

Keterbatasan infrastruktur merupakan tantangan teknis utama dalam integrasi energi terbarukan ke dalam sistem kelistrikan, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Sebagian besar jaringan distribusi listrik yang ada dirancang untuk sistem satu arah dan tidak fleksibel dalam menangani variabilitas dan intermitensi produksi dari sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin [78]. Kurangnya infrastruktur modern seperti jaringan pintar (smart grid), sistem penyimpanan energi yang memadai, serta fasilitas integrasi dan kontrol beban membuat penetrasi energi terbarukan dalam skala besar menjadi sulit dicapai. Selain itu, di banyak wilayah terpencil, jaringan listrik belum tersedia atau belum cukup andal untuk mendukung proyek energi terbarukan, yang pada akhirnya

meningkatkan biaya dan kompleksitas proyek. Oleh karena itu, modernisasi dan investasi dalam infrastruktur kelistrikan menjadi kebutuhan mendesak untuk mendukung transisi energi yang berkelanjutan.

2.4.2.3 Tantangan Regulasi dan Kebijakan

2.4.2.3.1 Kebijakan yang tidak konsisten

Kebijakan dan regulasi yang tidak konsisten menjadi salah satu hambatan utama dalam pengembangan energi terbarukan, khususnya dalam menarik investasi jangka panjang. Ketidakpastian regulasi, termasuk perubahan mendadak dalam tarif feed-in, insentif pajak, atau mekanisme subsidi, dapat mengganggu kepercayaan investor dan memperbesar risiko proyek [79]. Di banyak negara berkembang, termasuk Indonesia, kebijakan energi terbarukan sering berubah seiring dengan pergantian pemerintahan atau tekanan fiskal, sehingga menciptakan lingkungan investasi yang tidak stabil. Kurangnya kerangka regulasi yang stabil dan jangka panjang menghambat perencanaan proyek energi bersih secara strategis dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan kepastian hukum dan kebijakan yang berkelanjutan untuk memastikan daya tarik sektor energi terbarukan bagi pelaku pasar dan pemodal.

2.4.2.3.2 Perizinan dan Birokrasi

Proses perizinan yang panjang dan birokrasi yang kompleks merupakan hambatan signifikan dalam pengembangan proyek energi terbarukan, terutama di negara berkembang. Keterlambatan dalam memperoleh izin lingkungan, pembangunan, dan koneksi jaringan listrik sering kali menyebabkan penundaan proyek dan peningkatan biaya yang substansial [80]. Studi oleh IEA (2020) juga menekankan bahwa hambatan administratif, termasuk kurangnya koordinasi antar lembaga, prosedur yang tidak transparan, dan standar teknis yang tidak harmonis, dapat mengurangi minat investor dan menghambat skala adopsi energi bersih. Kondisi ini menuntut reformasi birokrasi dan penyederhanaan proses perizinan untuk menciptakan ekosistem yang lebih kondusif bagi investasi energi terbarukan.

2.4.2.4 Tantangan Sosial dan Lingkungan

2.4.2.4.1 Penerimaan Masyarakat

Penerimaan masyarakat lokal merupakan salah satu faktor krusial dalam keberhasilan implementasi proyek energi terbarukan. Meskipun proyek-proyek ini membawa manfaat lingkungan jangka panjang, resistensi masyarakat sering kali muncul karena kekhawatiran terhadap dampak visual, kebisingan, perubahan lanskap, atau potensi gangguan terhadap kehidupan sehari-hari dan mata pencaharian mereka [81]. Selain itu, kurangnya keterlibatan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan dan komunikasi yang tidak transparan dapat memperkuat ketidakpercayaan terhadap proyek. Oleh karena itu, pendekatan partisipatif yang melibatkan masyarakat sejak tahap awal perencanaan sangat penting untuk meningkatkan akseptabilitas sosial dan meminimalkan konflik.

2.4.2.4.2 Dampak Lingkungan

Meskipun energi terbarukan menawarkan alternatif yang lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar fosil, pengembangan infrastrukturnya tetap dapat menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Misalnya, pembangunan ladang angin dapat mempengaruhi populasi burung dan kelelawar, serta mengubah habitat alami, sementara instalasi solar farm skala besar membutuhkan lahan yang luas dan dapat menyebabkan degradasi lahan serta perubahan fungsi ekosistem [82]. Selain itu, proyek pembangkit biomassa, jika tidak dikelola dengan tepat, juga dapat memicu deforestasi dan penggunaan air yang berlebihan. Oleh karena itu, penting bagi pengembang proyek untuk melakukan analisis dampak lingkungan secara komprehensif dan menerapkan praktik pembangunan berkelanjutan untuk meminimalkan efek negatif terhadap lingkungan lokal [83]. Pendekatan ini tidak hanya akan meningkatkan keberlanjutan proyek, tetapi juga membantu memperoleh dukungan dari masyarakat dan pemangku kepentingan lainnya.

2.5 Kelayakan Investasi Energi Terbarukan

Kelayakan investasi dalam proyek energi terbarukan dapat dianalisis secara komprehensif menggunakan berbagai parameter keuangan, seperti Internal Rate of Return (IRR) [84],[85], Net Present Value (NPV) [86],[87], Payback Period (PP),

Profitability Index (PI), dan Weighted Average Cost of Capital (WACC) [88],[89]. IRR menjadi indikator penting yang mencerminkan tingkat pengembalian proyek; semakin tinggi IRR dibandingkan WACC, semakin layak proyek tersebut untuk dijalankan [34], [90]. Dalam konteks energi terbarukan, WACC sering menjadi acuan dalam menilai seberapa besar biaya modal keseluruhan, yang akan berdampak langsung terhadap keputusan investasi dan strategi pembiayaan.

Studi menekankan bahwa meskipun biaya awal pembangunan proyek seperti PLTS dan PLTBm tinggi, efisiensi sistem yang semakin baik dan penurunan harga teknologi telah meningkatkan nilai NPV dan memperpendek PP, sehingga proyek menjadi lebih menarik secara finansial. Selain itu, PI juga digunakan sebagai tolok ukur untuk melihat rasio antara manfaat dan biaya investasi; $PI > 1$ menunjukkan proyek menguntungkan dan layak [91],[92]. Oleh karena itu, dengan perhitungan yang akurat terhadap parameter-parameter tersebut, serta dukungan kebijakan dan stabilitas harga, proyek energi terbarukan dapat menunjukkan kelayakan investasi yang kuat dan berkontribusi secara signifikan terhadap transisi energi berkelanjutan.

2.5.1 Kelayakan Teknis Hybrid PLTS dan PLTBm

Kelayakan teknis sistem hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) ditentukan oleh berbagai faktor, termasuk potensi sumber energi lokal, ketersediaan bahan baku biomassa, karakteristik beban, serta pemilihan teknologi yang tepat untuk integrasi sistem. Menurut studi, kelayakan teknis harus dimulai dengan penilaian potensi energi surya dan biomassa di wilayah penelitian, dengan mempertimbangkan radiasi matahari tahunan dan pasokan biomassa yang berkelanjutan, seperti limbah pertanian atau residu kayu dan bahan baku biomassa lainnya yang ada di lokasi dan daerah yang berdekatan dengan lokasi pembangkit [93]. Penelitian ini juga harus menunjukkan bahwa sistem hybrid yang dirancang dengan mempertimbangkan profil beban lokal dan faktor kapasitas masing-masing pembangkit dapat meningkatkan efisiensi energi dan keandalan sistem secara keseluruhan.

Teknologi penyimpanan energi seperti baterai lithium-ion dan sistem kontrol energi pintar memainkan peran penting dalam menjembatani fluktuasi produksi dari PLTS dan memastikan kontinuitas pasokan ketika suplai dari biomassa menurun [94]. Efektivitas teknis sistem hybrid juga ditentukan oleh kemampuan integrasi antar komponen, efisiensi termal PLTBm (terutama yang menggunakan teknologi gasifikasi), serta perencanaan kapasitas yang tepat untuk menghindari overdesign atau underutilization [95]. Dalam konteks ini, software simulasi Helioscope dan HOMER Pro digunakan untuk mengevaluasi performa teknis dan menentukan konfigurasi optimal yang memenuhi kebutuhan energi lokal dengan biaya dan emisi minimal.

Dengan demikian, landasan teori kelayakan teknis sistem hybrid PLTS-PLTBm menggabungkan pemahaman tentang potensi energi, teknologi konversi, penyimpanan, dan integrasi sistem dalam kerangka perencanaan energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan.

2.5.2 Kelayakan Investasi Hybrid PLTS dan PLTBm

Evaluasi kelayakan investasi untuk sistem hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) merupakan langkah penting dalam menentukan apakah suatu proyek layak secara finansial. Beberapa parameter utama yang digunakan dalam analisis kelayakan finansial meliputi *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Weighted Average Cost of Capital (WACC)*, *Profitability Index (PI)*, dan *Payback Period (PP)*.

NPV digunakan untuk menghitung selisih antara nilai sekarang dari arus kas masuk dan nilai sekarang dari arus kas keluar selama masa proyek [96]. Proyek dikatakan layak jika NPV bernilai positif, yang menunjukkan bahwa investasi tersebut dapat memberikan keuntungan finansial bersih. IRR, sebagaimana dijelaskan oleh Maheshwari dan Gupta (2022), adalah tingkat pengembalian di mana NPV menjadi nol; jika IRR lebih tinggi dari WACC, maka proyek dinilai layak karena tingkat pengembaliannya melampaui biaya modal yang digunakan (Maheshwari & Gupta, 2022).

Parameter WACC digunakan sebagai diskonto dalam menghitung NPV dan mencerminkan biaya rata-rata modal dari semua sumber pendanaan, baik ekuitas maupun utang. Profitability Index (PI), yang merupakan rasio antara nilai sekarang dari arus kas masa depan terhadap investasi awal, digunakan sebagai alat perbandingan antar proyek. $PI > 1$ menunjukkan bahwa proyek menghasilkan nilai lebih dari investasi awalnya. Sementara itu, *Payback Period* (PP) memberikan informasi tentang berapa lama investasi akan kembali tanpa mempertimbangkan nilai waktu uang. Meski sederhana, PP tetap berguna untuk memahami risiko likuiditas dalam proyek energi terbarukan berskala kecil dan menengah (Sahu et al., 2021).

Dalam konteks sistem hybrid PLTS dan PLTBm, pemilihan lokasi, teknologi, serta biaya operasional dan pemeliharaan akan sangat memengaruhi proyeksi arus kas proyek. Studi oleh Rahman et al. (2023) menunjukkan bahwa sistem hybrid dapat memberikan NPV dan IRR yang kompetitif apabila dikombinasikan dengan skema pendukung seperti feed-in tariff atau insentif pajak, yang secara signifikan dapat menurunkan nilai WACC proyek tersebut (Rahman et al., 2023).

Oleh karena itu, pemanfaatan metode evaluasi investasi yang komprehensif sangat penting untuk menilai kelayakan finansial proyek hybrid PLTS dan PLTBm, terutama dalam lingkungan investasi yang berisiko tinggi dan penuh ketidakpastian.