



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 6 Tahun 2024 Page 5140-5154

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Kontribusi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam Mengurangi Emisi Karbon

Kunto Wibowo

Universitas Gunadarma

Email: [mazkunto@staff.gunadarma.ac.id](mailto:mazkunto@staff.gunadarma.ac.id)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi kombinasi energi terbarukan di daerah pedesaan Sulawesi Selatan guna menciptakan desa mandiri energi yang berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Metode tinjauan pustaka ini mengumpulkan, menganalisis, dan mensintesis literatur tentang kontribusi energi terbarukan dalam mengurangi emisi karbon. Penelusuran dan seleksi literatur dilakukan dari berbagai sumber ilmiah, diikuti oleh analisis, sintesis temuan, dan identifikasi kesenjangan penelitian, dengan fokus pada kebijakan dan tantangan implementasi di Indonesia. Hasil karya ini potensi energi terbarukan di Indonesia, terutama tenaga surya, angin, dan biomassa, sangat besar. Meskipun implementasi proyek seperti desa mandiri energi dan co-firing biomassa menunjukkan dampak positif, pengembangan masih terkendala biaya investasi, infrastruktur, dan dukungan kebijakan. Teknologi seperti smart grid menunjukkan potensi efisiensi energi, namun penerapannya terbatas. Dengan dukungan yang tepat, energi terbarukan dapat signifikan mengurangi emisi karbon dan mendukung pertumbuhan ekonomi berkelanjutan.

Kata Kunci: *Emisi Karbon, Energi Terbarukan, Pembangkit Listrik*

## Abstract

This study aims to examine the potential of renewable energy combinations in rural areas of South Sulawesi to create sustainable energy-independent villages and reduce dependence on fossil fuels. This literature review method collects, analyzes, and synthesizes literature on the contribution of renewable energy to reducing carbon emissions. Literature searches and selection were conducted from various scientific sources, followed by analysis, synthesis of findings, and identification of research gaps, with a focus on policy and implementation challenges in Indonesia. The results of this work show that the potential for renewable energy in Indonesia, especially solar, wind, and biomass, is very large. Although the implementation of projects such as energy-independent villages and biomass co-firing has shown positive impacts, development is still constrained by investment costs, infrastructure, and policy support. Technologies such as smart grids show potential for energy efficiency, but their implementation is limited. With the right support, renewable energy can significantly reduce carbon emissions and support sustainable economic growth.

Keyword: *Carbon Emissions, Renewable Energy, Power Generation*

## PENDAHULUANN

Energi terbarukan semakin menjadi fokus utama dalam upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan memerangi perubahan iklim (Bahri 2024; Abdullah 2019; Anwar 2022). Berbagai jenis energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan biomassa menawarkan alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan dibandingkan energi fosil yang dominan. Namun, adopsi teknologi energi terbarukan masih menghadapi berbagai kendala, termasuk biaya investasi yang tinggi dan keterbatasan infrastruktur di banyak negara, termasuk Indonesia (Witjaksana et al. 2024).

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, terutama tenaga surya (Afif and Martin 2022; Al Hakim 2020; Ipung and Thamrin 2023) dan angin (Bachtiar and Hayattul 2018; Widyanto, Wisnugroho, and Agus 2018), yang tersebar di seluruh kepulauan. Meskipun pemerintah telah menetapkan target untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan dalam bauran energinya, perkembangan implementasinya masih jauh dari harapan. Proyek-proyek seperti co-firing biomassa dan desa mandiri energi menunjukkan hasil yang positif, namun implementasi teknologi lain seperti tenaga laut dan tenaga angin masih terhambat oleh masalah finansial dan kebijakan yang tidak stabil. Peningkatan efisiensi energi melalui teknologi seperti smart grid juga telah menunjukkan hasil yang baik, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta. Namun, penerapan teknologi ini belum merata di seluruh wilayah Indonesia, terutama di daerah-daerah terpencil yang memiliki keterbatasan akses terhadap jaringan listrik nasional. Oleh karena itu, transisi menuju energi terbarukan di Indonesia masih membutuhkan dukungan kebijakan yang

lebih kuat, investasi yang lebih besar, dan peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya keberlanjutan energi.

Di Indonesia, potensi energi terbarukan yang besar belum sepenuhnya dimanfaatkan. Daerah-daerah seperti Sulawesi dan Nusa Tenggara, yang memiliki paparan sinar matahari sepanjang tahun, dan pesisir Jawa Barat serta Sulawesi Selatan, yang memiliki kecepatan angin yang tinggi, merupakan contoh wilayah dengan potensi energi terbarukan yang masih menunggu untuk dieksplorasi secara optimal. Indonesia menghadapi tantangan besar dalam mengadopsi energi terbarukan. Meskipun memiliki potensi besar, seperti tenaga surya dan angin, pengembangannya masih terhambat oleh biaya investasi awal yang tinggi, kurangnya insentif kebijakan yang memadai, serta keterbatasan infrastruktur (Nugroho et al. 2023). Selain itu, ketergantungan pada energi fosil masih sangat tinggi, terutama di sektor pembangkit listrik, yang menyebabkan lambatnya transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan.

Teori-teori energi terbarukan menawarkan berbagai perspektif untuk mendukung transisi dari energi fosil ke energi bersih dan berkelanjutan. Teori Ekonomi Lingkungan menyoroti pentingnya memasukkan biaya kerusakan lingkungan akibat energi fosil ke dalam harga energi, sehingga energi terbarukan menjadi lebih ekonomis dalam jangka panjang (Sinaga, Sasue, and Hutahaean 2021). Teori Trilemma Energi dari *World Energy Council* menekankan keseimbangan antara keamanan energi, ekuitas akses energi, dan keberlanjutan lingkungan, yang semua dapat didukung oleh energi terbarukan (Wardhana and Marifatullah 2020). Teori Daur Hidup Produk (LCA) mengukur dampak lingkungan dari energi terbarukan sepanjang siklus hidupnya, menunjukkan bahwa teknologi seperti tenaga surya dan biomassa memiliki emisi yang lebih rendah daripada energi fosil (Al Hakim 2020).

Teori Teknologi Co-firing mengusulkan penggunaan biomassa bersama batu bara untuk mengurangi emisi karbon tanpa mengorbankan efisiensi energi (Elmal-781). Teori Konservasi Energi dan Teori Transisi Energi mendorong efisiensi melalui teknologi seperti smart grid dan peralihan dari energi fosil ke terbarukan (Nakhoda, Sulistiawati, and Soetedjo 2018; Akbar, Hiron, and Nadrotan 2019). Teori Pengendalian Emisi Karbon mendukung kebijakan pajak karbon untuk membatasi emisi, sementara Teori Pengurangan Risiko Lingkungan menunjukkan bahwa energi terbarukan mengurangi risiko polusi (Palupi et al. 2024; Al Hakim 2020). Teori Kemandirian Energi Lokal menekankan pentingnya desa mandiri energi untuk mengurangi ketergantungan energi dari luar (Wahyuni et al. 2020), dan Teori Ekonomi Hijau mempromosikan energi terbarukan sebagai bagian dari pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan (Palupi et al. 2024).

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa energi terbarukan seperti tenaga

surya dan biomassa memiliki potensi besar untuk mengurangi emisi karbon di Indonesia. Proyek co-firing biomassa di beberapa pembangkit listrik tenaga uap di Jawa berhasil mengurangi emisi karbon hingga 30%, sementara desa mandiri energi telah membantu mengurangi ketergantungan masyarakat pedesaan pada listrik berbasis fosil. India memanfaatkan potensi energi surya yang besar melalui panel surya untuk mengatasi masalah polusi udara dan memenuhi kebutuhan energi, dengan perkembangan pesat di negara bagian seperti Rajasthan dan Gujarat (Simarmata et al. 2023).

Meskipun banyak penelitian yang telah dilakukan terkait potensi energi terbarukan, masih ada kesenjangan dalam implementasi kebijakan yang mendukung adopsi skala besar teknologi ini di daerah terpencil. Selain itu, belum ada pendekatan holistik yang mengintegrasikan semua sumber energi terbarukan di satu wilayah untuk memenuhi kebutuhan energi lokal secara berkelanjutan. Penelitian ini menawarkan pendekatan baru dengan mengeksplorasi potensi kombinasi teknologi energi terbarukan di daerah pedesaan terpencil, termasuk tenaga surya, angin, dan biomassa, untuk menciptakan desa mandiri energi yang sepenuhnya mandiri dari energi fosil, sekaligus mengembangkan model kebijakan yang mendukung implementasinya secara luas.

Penelitian ini relevan dengan tantangan global dalam mengatasi perubahan iklim dan kebutuhan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Signifikansinya terletak pada kemampuannya untuk menawarkan solusi energi yang bersih dan berkelanjutan bagi daerah-daerah terpencil di Indonesia, yang seringkali terabaikan dalam rencana pengembangan energi nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi kombinasi energi terbarukan di daerah pedesaan Sulawesi Selatan guna menciptakan desa mandiri energi yang berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan pustaka (Connaway and Radford 2021), yang merupakan salah satu metode yang bertujuan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan merangkum penelitian-penelitian yang relevan mengenai topik yang dibahas. Dalam konteks ini, tinjauan pustaka dilakukan untuk mengidentifikasi dan menilai kontribusi pembangkit listrik energi terbarukan dalam mengurangi emisi karbon, khususnya dalam konteks global dan Indonesia. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat mempelajari berbagai konsep, teori, hasil penelitian terdahulu, serta temuan empiris yang mendukung penggunaan energi terbarukan sebagai solusi dalam mengurangi dampak lingkungan dari energi fosil.

Tinjauan pustaka merupakan langkah penting dalam proses penelitian untuk

memahami topik yang akan diteliti dan mendapatkan gambaran menyeluruh dari literatur yang ada. Langkah pertama dalam melakukan tinjauan pustaka adalah mengidentifikasi topik dan tujuan penelitian. Pada penelitian ini, topik yang diangkat adalah "Kontribusi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam Mengurangi Emisi Karbon." Tujuannya adalah memahami berbagai pendekatan yang digunakan dalam pemanfaatan energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, air, dan biomassa, serta mengevaluasi dampak dari penggunaan energi tersebut terhadap lingkungan dan ekonomi. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi kebijakan energi terbarukan di beberapa negara, termasuk Indonesia, untuk menganalisis kontribusinya dalam pengurangan emisi karbon global.

Tahap berikutnya dalam tinjauan pustaka adalah penelusuran literatur, di mana berbagai sumber akademik seperti jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, dan dokumen kebijakan pemerintah digunakan. Sumber data diperoleh dari database akademik seperti Google Scholar, Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, dan JSTOR. Selain itu, laporan dari lembaga internasional seperti IRENA, IEA, dan World Energy Council juga menjadi referensi utama. Penelusuran ini menggunakan kata kunci seperti "renewable energy", "carbon emissions reduction", "solar power", "wind energy", "hydropower", "biomass co-firing", serta kata kunci lokal seperti "energi terbarukan di Indonesia" untuk mendapatkan pemahaman lebih mendalam tentang konteks lokal.

Setelah literatur terkumpul, proses seleksi dilakukan untuk memilih artikel yang relevan dan berkualitas. Literatur yang dipilih harus secara langsung berkaitan dengan topik energi terbarukan dan pengurangan emisi karbon. Kriteria seleksi meliputi artikel yang mengandung hasil penelitian empiris, diskusi kebijakan, serta teori-teori terkait. Fokus utama diberikan pada teknologi panel surya, turbin angin, serta teknologi co-firing biomassa. Artikel yang berkaitan dengan kasus di Indonesia atau negara berkembang lainnya turut diprioritaskan karena memiliki karakteristik tantangan implementasi yang serupa.

Setelah seleksi literatur selesai, tahap berikutnya adalah analisis dan kategorisasi literatur. Pada tahap ini, literatur dibaca secara mendalam untuk mengidentifikasi teori, metode, hasil, dan kesimpulan yang diberikan oleh setiap penelitian. Literatur kemudian dikategorikan berdasarkan jenis energi terbarukan yang dibahas, dampak pengurangan emisi karbon, tantangan implementasi, serta kebijakan yang mendukung pengembangan energi terbarukan. Pendekatan ini membantu memberikan kerangka yang jelas untuk mendiskusikan kontribusi masing-masing teknologi dalam pengurangan emisi karbon.

Langkah selanjutnya adalah menyintesis temuan dari berbagai penelitian. Tinjauan pustaka ini tidak hanya merangkum informasi dari berbagai sumber, tetapi juga

membandingkan dan menggabungkan temuan-temuan tersebut untuk memberikan wawasan yang lebih luas. Penelitian ini, misalnya, mengevaluasi kontribusi teknologi energi terbarukan seperti tenaga surya dalam menyediakan energi bersih, terutama di daerah-daerah tropis, serta teknologi co-firing biomassa yang memanfaatkan limbah pertanian sebagai sumber energi. Peneliti juga membandingkan dampak pengurangan emisi dari berbagai teknologi dan kebijakan terkait di Indonesia serta negara-negara lain.

Selain itu, dalam proses sintesis ini, peneliti mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan dari literatur yang ada. Beberapa studi mungkin menunjukkan bukti kuat tentang efektivitas energi terbarukan dalam mengurangi emisi karbon, tetapi memiliki keterbatasan dalam hal implementasi di wilayah terpencil atau pedesaan. Di sisi lain, terdapat kesenjangan dalam literatur yang ada, seperti kurangnya data jangka panjang tentang dampak energi terbarukan di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Identifikasi kesenjangan ini penting untuk menunjukkan area yang belum terjamah oleh penelitian sebelumnya, serta memberikan arah bagi penelitian selanjutnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan emisi karbon telah menjadi salah satu tantangan terbesar bagi dunia dalam upaya menanggulangi perubahan iklim (Ananto and Santoso 2021). Dalam dekade terakhir, permintaan energi global terus meningkat, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Sebagian besar energi ini masih berasal dari bahan bakar fosil seperti batu bara. Pembangkit listrik berbahan bakar fosil, khususnya batu bara, merupakan salah satu sumber utama emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Emisi ini berkontribusi signifikan terhadap perubahan iklim global, dengan dampak seperti kenaikan suhu global, perubahan pola cuaca ekstrem, serta penurunan kualitas lingkungan. Ketergantungan dunia terhadap energi fosil menjadi masalah yang mendesak untuk segera diatasi (Dwisari, Sudarti, and Yushardi 2023). Di Indonesia, sebagian besar energi yang digunakan masih bersumber dari batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Penggunaan energi ini, meskipun melimpah, tidak berkelanjutan karena keterbatasan cadangannya dan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Selain berkontribusi terhadap pemanasan global, pembakaran bahan bakar fosil juga menyebabkan pencemaran udara yang mengancam kesehatan manusia serta kerusakan lingkungan yang sulit diperbaiki (Zulatama, n.d.; Handayani, Hakim, and Anwar 2023). Pemanfaatan bahan bakar ini dalam jangka panjang berpotensi memperburuk krisis iklim global, membuat peralihan ke energi terbarukan menjadi solusi yang sangat diperlukan

Namun, meski Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar seperti

tenaga surya, angin, dan biomassa, implementasinya masih jauh dari optimal. Salah satu hambatan utama adalah investasi awal yang tinggi, di mana pembangunan infrastruktur energi terbarukan memerlukan biaya yang besar. Selain itu, Indonesia juga menghadapi tantangan berupa kurangnya kebijakan yang stabil dan terkoordinasi untuk mendukung transisi menuju energi bersih (Ahsan 2021). Keterbatasan infrastruktur, ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan kurangnya insentif bagi pengembangan energi terbarukan memperlambat langkah Indonesia dalam mewujudkan energi yang lebih ramah lingkungan. Meskipun pemerintah Indonesia telah menetapkan target penggunaan energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 melalui Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 79 Tahun 2014 (Arsita, Saputro, and Susanto 2021), realisasinya masih menghadapi berbagai hambatan. Keterbatasan anggaran, minimnya dukungan insentif finansial, serta prioritas yang masih diberikan kepada pembangkit listrik berbahan bakar fosil menjadi faktor penghambat utama (Qodriyatun 2021). Kebijakan dan regulasi yang ada belum sepenuhnya mendukung pengembangan energi terbarukan, sehingga tujuan pengurangan emisi karbon masih sulit tercapai. Prioritas pemerintah terhadap pembangunan infrastruktur energi fosil menunjukkan bahwa komitmen terhadap energi terbarukan perlu diperkuat.

Selain tantangan teknis dan kebijakan, ada juga tantangan sosial dan ekonomi yang memperlambat transisi ke energi terbarukan. Kesadaran masyarakat mengenai pentingnya energi terbarukan masih rendah, dan persepsi bahwa energi terbarukan lebih mahal daripada energi fosil menjadi penghalang utama (Afriyanti, Sasana, and Jalunggono 2020). Banyak masyarakat dan pelaku industri yang masih enggan berinvestasi dalam teknologi energi terbarukan karena dianggap kurang menguntungkan dalam jangka pendek. Hal ini memperlambat adopsi teknologi energi terbarukan, padahal investasi dalam energi hijau ini sangat diperlukan untuk masa depan yang lebih berkelanjutan. Dengan berbagai tantangan tersebut, diperlukan langkah-langkah yang lebih agresif dari pemerintah dan pelaku industri untuk mendukung transisi ke energi terbarukan. Tanpa upaya yang terkoordinasi dan dukungan kebijakan yang kuat, sulit bagi Indonesia untuk mencapai target pengurangan emisi karbon dan mendorong penggunaan energi bersih.

Teori Trilemma Energi yang dikembangkan oleh World Energy Council mencakup tiga pilar utama, yaitu keamanan energi, ekuitas energi, dan keberlanjutan lingkungan. Di Indonesia, penerapan teori ini masih menghadapi berbagai tantangan, khususnya terkait keberlanjutan lingkungan. Meskipun pemerintah telah berupaya untuk meningkatkan kontribusi energi terbarukan, data pada tahun 2018 menunjukkan bahwa energi terbarukan hanya mencapai 11,68% dari keseluruhan bauran energi (Setyono, Mardiansjah, and Astuti 2019). Ketergantungan Indonesia pada energi fosil masih sangat tinggi, terutama pada

sektor listrik yang sebagian besar masih menggunakan batu bara. Hal ini memperlihatkan bahwa upaya untuk mencapai keberlanjutan lingkungan masih belum sejalan dengan harapan dalam teori ini.

Pilar keamanan energi dalam *Trilemma Energi*, yang menekankan pada kestabilan pasokan energi, menghadapi tantangan lain di Indonesia. Meskipun pemerintah telah menerapkan program ketahanan energi nasional, Indonesia masih rentan terhadap fluktuasi harga energi global karena ketergantungannya yang besar terhadap impor minyak bumi dan gas alam (Modjo 2019; Wardhana and Marifatullah 2020). Selain itu, upaya pengembangan energi terbarukan seperti tenaga angin dan tenaga surya masih sangat terbatas dan belum merata di seluruh wilayah Indonesia, sehingga akses energi bersih hanya terkonsentrasi di beberapa wilayah tertentu (Sinaga, Sasue, and Hutahaean 2021). *Teori Ekuitas Energi* yang berfokus pada aksesibilitas energi yang merata bagi seluruh populasi juga menghadapi tantangan besar di Indonesia. Banyak wilayah pedesaan, terutama di daerah terpencil, masih belum terjangkau oleh infrastruktur energi terbarukan. Program *desa mandiri energi* yang telah diterapkan di beberapa tempat memberikan sedikit solusi, tetapi pengaruhnya masih sangat terbatas dan belum meluas (Nakhoda, Sulistiawati, and Soetedjo 2018; Wahyuni et al. 2020). Meskipun ada potensi besar untuk pengembangan energi terbarukan di daerah-daerah ini, investasi infrastruktur yang diperlukan masih menjadi hambatan utama.

*Teori Konservasi Energi* yang mengedepankan penghematan energi melalui teknologi pintar seperti smart grid mulai diterapkan di Indonesia. Namun, penerapannya masih dalam skala kecil dan terbatas pada proyek-proyek percobaan di daerah perkotaan seperti Jakarta dan Surabaya (Nakhoda, Sulistiawati, and Soetedjo 2018). Teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi karbon, tetapi implementasinya belum merata di seluruh wilayah Indonesia (Wardhana and Marifatullah 2020). Hal ini menunjukkan bahwa upaya konservasi energi melalui teknologi modern masih jauh dari optimal. Terkait dengan *Teori Pengendalian Emisi Karbon*, Indonesia telah berkomitmen dalam *Paris Agreement* untuk mengurangi emisi karbon. Namun, hingga saat ini, instrumen kebijakan seperti pajak karbon belum sepenuhnya diterapkan di Indonesia (Setyono, Mardiansjah, and Astuti 2019). Program seperti co-firing biomassa dengan batu bara dalam pembangkit listrik tenaga uap merupakan salah satu upaya pengurangan emisi yang sejalan dengan teori ini, tetapi implementasinya masih sangat terbatas (Palupi et al. 2024). Tantangan utama adalah ketersediaan biomassa yang masih terbatas dan infrastruktur yang belum mendukung penuh penggunaan teknologi ini.

*Teori Ekonomi Lingkungan* menekankan bahwa biaya eksternal dari kerusakan

lingkungan akibat penggunaan energi fosil harus diinternalisasi ke dalam harga energi. Di Indonesia, biaya lingkungan yang dihasilkan dari penggunaan energi fosil belum tercermin secara memadai dalam harga energi (Al Hakim 2020). Energi fosil, seperti batu bara, masih lebih murah dibandingkan energi terbarukan, sehingga menghambat transisi menuju penggunaan energi bersih. Ketiadaan pajak karbon yang efektif memperkuat ketidakcocokan antara teori ini dan realitas di lapangan (Palupi et al. 2024). Dalam konteks *Teori Daur Hidup Produk* (LCA), energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, terbukti memiliki jejak karbon yang jauh lebih rendah dibandingkan energi fosil. Studi di Indonesia menunjukkan bahwa emisi karbon dari pembangkit listrik tenaga surya dan angin jauh lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik berbasis batu bara (Wahyuni et al. 2020; Akbar, Hiron, and Nadrotan 2019). Namun, meskipun ada manfaat lingkungan yang jelas, implementasi energi terbarukan ini masih terhambat oleh biaya investasi yang tinggi dan kurangnya insentif bagi penggunaannya.

*Teori Transisi Energi* yang mengedepankan peralihan dari energi fosil ke energi terbarukan juga menunjukkan adanya kesenjangan antara target kebijakan dan realitas di lapangan. Pemerintah Indonesia telah menetapkan target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, tetapi hingga tahun 2020, kontribusi energi terbarukan baru mencapai sekitar 13% (Sinaga, Sasue, and Hutahaean 2021; Setyono, Mardiansjah, and Astuti 2019). Perkembangan ini menunjukkan bahwa peralihan menuju energi bersih masih berlangsung lambat dan membutuhkan dukungan kebijakan yang lebih kuat serta investasi yang lebih besar. Dalam hal teknologi, *Teori Teknologi Co-firing* menunjukkan bahwa pencampuran biomassa dengan batu bara dapat membantu mengurangi emisi karbon di pembangkit listrik tenaga uap. Di Indonesia, beberapa pembangkit listrik sudah mulai menerapkan teknologi ini dan berhasil mengurangi emisi karbon, tetapi masalah pasokan biomassa menjadi kendala utama dalam perluasan teknologi ini (Palupi et al. 2024).

*Teori Kemandirian Energi Lokal* menyatakan bahwa komunitas di daerah pedesaan dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil melalui proyek energi terbarukan skala kecil. Di Indonesia, program *desa mandiri energi* sudah diterapkan di beberapa wilayah, dan hasilnya menunjukkan bahwa masyarakat lokal dapat lebih mandiri dalam penyediaan energi. Namun, implementasinya masih terbatas pada beberapa pilot project dan belum meluas ke seluruh wilayah yang membutuhkan (Wahyuni et al. 2020). *Teori Ekonomi Hijau* menekankan bahwa transisi menuju energi terbarukan dapat mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Di Indonesia, pengembangan energi terbarukan masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam hal investasi (filayudha, +Journal+mana... ). Meskipun ada potensi besar untuk pertumbuhan ekonomi hijau, hambatan regulasi dan

keterbatasan modal masih menjadi penghalang utama (Wahyuni et al. 2020).

*Teori Smart Grid* yang mendukung efisiensi distribusi energi melalui teknologi pintar juga sudah mulai diterapkan di Indonesia. Namun, implementasinya masih dalam skala kecil dan terbatas pada proyek-proyek di daerah perkotaan (Nakhoda, Sulistiawati, and Soetedjo 2018). Teknologi ini belum mencakup wilayah pedesaan dan terpencil yang juga membutuhkan peningkatan efisiensi energi (Ewar, Nasar, and Ika 2023). *Teori Penyediaan Tenaga Surya* yang menekankan pentingnya memanfaatkan energi surya di negara tropis seperti Indonesia menunjukkan bahwa potensi tenaga surya sangat besar, tetapi pemanfaatannya masih di bawah 10% dari keseluruhan potensi energi surya (Modjo 2019). Hal ini disebabkan oleh minimnya infrastruktur dan regulasi yang mendukung pengembangan tenaga surya. *Teori Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca* yang diusung oleh *Paris Agreement* sejalan dengan upaya pemerintah Indonesia untuk mengurangi emisi. Namun, data menunjukkan bahwa pengurangan emisi di Indonesia masih lambat dibandingkan dengan negara-negara maju (Setyono, Mardiansjah, and Astuti 2019). Hal ini menunjukkan bahwa upaya untuk menurunkan emisi gas rumah kaca membutuhkan langkah-langkah yang lebih konkret dan terukur.

Penelitian terkait potensi dan implementasi energi terbarukan di Indonesia menunjukkan hasil yang menggembirakan, terutama dalam pengembangan energi surya dan biomassa, meskipun masih terdapat berbagai tantangan di sektor energi terbarukan lainnya. Pertama, tenaga surya di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar, terutama di wilayah-wilayah dengan paparan sinar matahari yang stabil sepanjang tahun, seperti Sulawesi dan Nusa Tenggara. Wilayah-wilayah ini menawarkan kondisi geografis yang ideal untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga surya. Penelitian menunjukkan bahwa potensi energi surya di Indonesia mencapai 207.898 MW, yang jika dimanfaatkan dengan baik, dapat mengurangi ketergantungan negara pada bahan bakar fosil dan membantu menurunkan emisi karbon secara signifikan. Meskipun demikian, implementasi energi surya masih tergolong rendah, di bawah 10% dari keseluruhan potensinya, karena hambatan terkait dengan biaya investasi awal yang tinggi serta keterbatasan infrastruktur.

Selain tenaga surya, tenaga angin juga menawarkan potensi besar, khususnya di daerah pesisir seperti Jawa Barat dan Sulawesi Selatan. Wilayah-wilayah ini dikenal memiliki kecepatan angin yang cukup tinggi untuk dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik. Namun, seperti halnya tenaga surya, pengembangan tenaga angin di Indonesia masih terhambat oleh biaya investasi yang mahal. Teknologi pembangkit listrik tenaga angin memerlukan infrastruktur yang kompleks dan mahal, yang membuat banyak proyek tidak dapat segera direalisasikan. Ini menjadi kendala utama dalam ekspansi energi terbarukan

berbasis angin di Indonesia. Penggunaan biomassa melalui teknologi co-firing di pembangkit listrik tenaga uap di Jawa telah diterapkan di beberapa lokasi. Co-firing adalah metode pencampuran biomassa dengan batu bara untuk mengurangi emisi karbon di pembangkit listrik tenaga uap. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi ini dapat mengurangi emisi karbon hingga 30%. Meski co-firing memberikan hasil positif dalam hal pengurangan emisi, penerapan teknologi ini masih terkendala oleh ketersediaan pasokan biomassa yang belum merata dan kebijakan yang belum sepenuhnya mendukung implementasi co-firing secara luas.

Di daerah pedesaan, pengembangan pembangkit listrik tenaga hidro skala kecil juga telah dilakukan. Tenaga hidro skala kecil dianggap sebagai solusi yang tepat untuk wilayah pedesaan yang memiliki akses terbatas ke jaringan listrik nasional. Namun, ekspansi dari pembangkit ini masih terhambat oleh tantangan pendanaan dan infrastruktur. Meskipun teknologi hidro memiliki potensi yang baik, terutama di daerah pegunungan dan yang memiliki aliran sungai kecil, keterbatasan akses terhadap modal dan teknologi menyebabkan pembangunan pembangkit ini berjalan lambat. Sementara itu, proyek desa mandiri energi yang menggunakan tenaga surya telah memberikan dampak positif di beberapa daerah. Desa-desa yang berpartisipasi dalam program ini berhasil mengurangi ketergantungan mereka pada jaringan listrik dari PLN dan menjadi lebih mandiri dalam penyediaan energi. Program ini membantu masyarakat di daerah terpencil yang sebelumnya tidak terjangkau oleh jaringan listrik nasional, dengan menggunakan energi terbarukan seperti tenaga surya untuk memenuhi kebutuhan energi mereka.

Di sisi lain, penggunaan tenaga laut seperti di Pangandaran menunjukkan bahwa potensi besar dari sumber energi ini masih belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian menunjukkan bahwa tenaga laut, yang meliputi tenaga gelombang dan arus laut, sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia, mengingat negara ini memiliki garis pantai yang panjang. Namun, implementasinya masih sangat minim karena teknologi untuk memanfaatkan tenaga laut relatif baru dan membutuhkan investasi yang besar. Dengan demikian, potensi tenaga laut di Indonesia masih menunggu untuk dieksplorasi lebih lanjut. Dalam hal efisiensi energi, program smart grid mulai menunjukkan hasil yang positif. Penerapan teknologi smart grid di beberapa kota besar di Indonesia seperti Jakarta telah menunjukkan peningkatan efisiensi konsumsi energi. Smart grid memungkinkan pengelolaan konsumsi listrik secara lebih cerdas, yang membantu mengurangi penggunaan energi secara keseluruhan. Namun, penerapan teknologi ini masih terbatas pada beberapa daerah perkotaan dan belum diterapkan secara merata di seluruh Indonesia, terutama di wilayah pedesaan yang masih membutuhkan infrastruktur listrik dasar.

Terakhir, penggunaan pembangkit listrik berbasis biomassa di pedesaan telah memberikan dampak positif bagi masyarakat lokal. Biomassa, yang berasal dari limbah pertanian dan kehutanan, telah membantu menyediakan energi yang terjangkau dan ramah lingkungan bagi masyarakat di pedesaan. Selain manfaat lingkungan, pembangkit listrik berbasis biomassa juga memberikan manfaat ekonomi dengan menciptakan lapangan kerja baru di sektor energi terbarukan.

## SIMPULAN

Kesimpulannya, potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar, terutama tenaga surya, angin, dan biomassa. Meskipun penelitian menunjukkan dampak positif dari implementasi energi terbarukan seperti proyek desa mandiri energi dan co-firing biomassa, pengembangannya masih menghadapi berbagai tantangan. Kendala utama mencakup biaya investasi yang tinggi, keterbatasan infrastruktur, serta kurangnya dukungan kebijakan yang komprehensif. Teknologi seperti smart grid juga menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam efisiensi energi, namun penerapannya masih terbatas. Dengan langkah yang tepat, energi terbarukan dapat memainkan peran penting dalam mengurangi emisi karbon dan mendukung pertumbuhan ekonomi berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Ikhsan. 2019. "Peran Penggunaan Energi Terbarukan Dan Efisiensi Energi Terhadap Emisi Karbon Dioksida Di Negara Negara Industri Baru."
- Afif, Faisal, and Awaludin Martin. 2022. "Tinjauan Potensi Dan Kebijakan Energi Surya Di Indonesia." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material* 6 (1): 43–52.
- Afriyanti, Yulia, Hadi Sasana, and Gentur Jalunggono. 2020. "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan Di Indonesia." *DINAMIC: Directory Journal of Economic* 2 (3): 865–84.
- Ahsan, Mohammad. 2021. "Tantangan Dan Peluang Pembangunan Proyek Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) Di Indonesia." *Sutet* 11 (2): 81–93.
- Akbar, Abil Wali, Nurul Hiron, and Nidar Nadrotan. 2019. "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Dengan Sumber Energi Terbarukan (Homer) Di Daerah Pesisir Pantai Pangandaran." *Journal of Energy and Electrical Engineering* 1 (1).
- Ananto, Rhezal Agung, and Asfari Hariz Santoso. 2021. "Analisis Performance Jangka Pendek Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Sistem Stand-Alone System." *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan* 8 (1): 22–27.
- Anwar, Muhkamat. 2022. "Green Economy Sebagai Strategi Dalam Menangani Masalah

- Ekonomi Dan Multilateral." *Jurnal Pajak Dan Keuangan Negara (PKN)* 4 (1S): 343–56.
- Arsita, Savira Ayu, Guntur Eko Saputro, and Susanto Susanto. 2021. "Perkembangan Kebijakan Energi Nasional Dan Energi Baru Terbarukan Indonesia." *Jurnal Syntax Transformation* 2 (12): 1779–88.
- Bachtiar, Antonov, and Wahyudi Hayattul. 2018. "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras." *Jurnal Teknik Elektro* 7 (1): 35–45.
- Bahri, Samsul. 2024. "Legislasi Keadilan Iklim: Respon Pemerintah Terhadap Fatwa MUI Tentang Hukum Pengendalian Perubahan Iklim." *Innovative: Journal Of Social Science Research* 4 (4): 15156–75.
- Connaway, Lynn Silipigni, and Marie L Radford. 2021. *Research Methods in Library and Information Science*. Bloomsbury Publishing USA.
- Dwisari, Verina, Sudarti Sudarti, and Yushardi Yushardi. 2023. "PEMANFAATAN ENERGI MATAHARI: MASA DEPAN ENERGI TERBARUKAN." *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika* 7 (2): 376–84.
- Ewar, Herliana Ariyanti, Adrianus Nasar, and Yasinta Embu Ika. 2023. "Pengembangan Alat Peraga Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Pltp) Sebagai Media Pembelajaran Fisika Pada Materi Sumber Energi Terbarukan." *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika* 7 (1): 128–39.
- Hakim, Rosyid Ridlo Al. 2020. "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energi Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia: Sebuah Ulasan." *ANDASIH Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 1 (1).
- Handayani, Lilis, Aldian Lukmanul Hakim, and Muhammad Yusuf Syahsiah Rahman Anwar. 2023. "Analisis Konten Berita Pencemaran Udara Di Jakarta Melalui Media Sosial Instagram Mengingatn Kesadaran Masyarakat Jakarta." In *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Ilmu Sosial (SNIIS)*, 2:1215–26.
- Ipung, M Syaiful Alim, and Suyono Thamrin. 2023. "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Alternatif Energi Masa Depan." *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara* 4 (3): 2427–35.
- Modjo, Suci. 2019. "PLN vs Energi Terbarukan: Peraturan Menteri ESDM Terkait Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap." *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia* 6 (1): 19–40.
- Nakhoda, Yusuf Ismail, Irrine Budi Sulistiawati, and Aryunto Soetedjo. 2018. "Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Menggunakan Komponen Bekas Dengan Pemanfaatan Potensi Energi Terbarukan Di Desa Gelang Kecamatan Sumberbaru Kabupaten Jember." *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks SOLIDITAS* 1 (2): 99–109.

- Nugroho, Arya Dewa, Imam Supriyadi, Suyono Thamrin, and Mohamad Sidik Boedoyo. 2023. "Integrasi Sumber Energi Terbarukan Dalam Pemanfaatan Sumber Daya Nikel Di Luwu Timur." *JOURNAL OF ELECTRICAL AND SYSTEM CONTROL ENGINEERING* 7 (1): 1–10.
- Palupi, Dhiyanti Nawang, Sri Sundari, M Ikhwan Syahtaria, and Leo Sianipar. 2024. "Analisis Dampak Lingkungan Dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Co-Firing Biomassa Dan Baru Bara Sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan." *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam* 5 (3): 1627–35.
- Qodriyatun, Sri Nurhayati. 2021. "Pembangkit Listrik Tenaga Sampah: Antara Permasalahan Lingkungan Dan Percepatan Pembangunan Energi Terbarukan." *Aspirasi: Jurnal Masalah-Masalah Sosial* 12 (1): 63–84.
- Setyono, Jawoto Sih, Fadjar Hari Mardiansjah, and Mega Febrina Kusumo Astuti. 2019. "Potensi Pengembangan Energi Baru Dan Energi Terbarukan Di Kota Semarang." *Jurnal Riptek* 13 (2): 177–86.
- Simarmata, Naomi Putri Elisabet, Yuli Estefani, Bayu Saputra Bahri, and Samuel Saputra Sibarani. 2023. "Penggunaan Energi Bersih Menggunakan Panel Surya Di India." *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan* 4 (3): 274–84.
- Sinaga, Denny Haryanto, Riz Rifai Oktavianus Sasue, and Harvei Desmon Hutahaean. 2021. "Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan." *Journal Zetroem* 3 (1): 11–17.
- Wahyuni, Elvira Sukma, Husein Mubarak, Firmansyah Nur Budiman, and Setyawan Wahyu Pratomo. 2020. "Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Komunitas: Menuju Desa Mandiri Energi." *Engagement: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 4 (2): 493–508.
- Wardhana, Ahmad Rahma, and Wening Hapsari Marifatullah. 2020. "Transisi Indonesia Menuju Energi Terbarukan." *Tashwirul Afkar* 38 (2).
- Widyanto, Salasi Wasis, Susilo Wisnugroho, and Muhammad Agus. 2018. "Pemanfaatan Tenaga Angin Sebagai Pelapis Energi Surya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Di Pulau Wangi-Wangi." *Prosiding Semnastek*.
- Witjaksana, Budi, Ari Purwanti, Tamrin Fathoni, and Dita Dismalasari Dewi. 2024. "Increasiation Economic Management Literacy For The Community Through The Independent Entrepreneurship Program." *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 5 (4): 6207–15.
- Zulutama, Apriansyah. n.d. "BAB 3 BAHAN BAKAR FOSIL." *ENERGI*, 31.