

Strategi Mengintegrasikan Energi Terbarukan, Inovasi Teknologi, dan Konservasi Hutan Sebagai Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia

Nelly, Susanti*, Radhiana, Fitriliana, Nurfitri Syamsuddin, Marlina

Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

*Koresponden email: susantidjakfar@serambimekkah.ac.id

Diterima: 20 Juni 2024

Disetujui: 30 Juni 2024

Abstract

This literature review investigates the potential synergies between forest conservation, technological innovation, and renewable energy in order to promote sustainable development in Indonesia. Indonesia can cut fossil fuel use and carbon emissions with its solar, wind, hydro, and biomass energy potential. This study examines the economic and environmental effects of renewable energy adoption and how smart grids, energy storage, and drone and satellite-based monitoring can conserve forests. Lack of empirical data on the long-term implications of this integration is shown by study gaps. This article offers pragmatic policy suggestions and implementation tactics to maximise financial and environmental benefits. A Central Kalimantan REDD+ project reduced deforestation, protected wildlife, and boosted local economy. This study should help governments and industry establish sustainable policies and raise public understanding of the necessity of integrating renewable energy, technology, and forest protection. If all stakeholders agree, this integration can become a paradigm for sustainable development in Indonesia, ensuring a brighter, greener future.

Keywords: *synergy of renewable energy, technological innovation, forest conservation, sustainable development, deforestation*

Abstrak

Studi literatur ini mengeksplorasi sinergi antara energi terbarukan, inovasi teknologi, dan konservasi hutan untuk pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Dengan potensi besar dalam energi surya, angin, hidro, dan biomassa, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan emisi karbon. Studi ini menganalisis dampak ekonomi dan lingkungan dari penerapan energi terbarukan dan peran teknologi seperti smart grids, penyimpanan energi, serta pemantauan berbasis drone dan satelit dalam konservasi hutan. Identifikasi kesenjangan dalam penelitian sebelumnya menunjukkan kurangnya data empiris mengenai efek jangka panjang dari integrasi ini. Artikel ini memberikan kontribusi dengan menawarkan rekomendasi kebijakan konkret dan strategi implementasi yang praktis untuk memaksimalkan manfaat finansial dan lingkungan. Studi kasus proyek REDD+ di Kalimantan Tengah menunjukkan keberhasilan pengurangan deforestasi, perlindungan keanekaragaman hayati, dan peningkatan ekonomi lokal. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi panduan bagi pembuat kebijakan dan industri dalam mengembangkan strategi berkelanjutan, serta meningkatkan kesadaran dan dukungan masyarakat terhadap pentingnya integrasi energi terbarukan, teknologi, dan konservasi hutan. Dengan komitmen yang kuat dari semua pemangku kepentingan, integrasi ini dapat menjadi model pembangunan berkelanjutan di Indonesia, memastikan masa depan yang lebih sejahtera dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: *sinergi energi terbarukan, inovasi teknologi, konservasi hutan, pembangunan berkelanjutan, deforestasi*

1. Latar Belakang

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, termasuk potensi besar dalam energi terbarukan seperti energi surya, angin, hidro, dan biomassa [1], [2]. Namun, hingga saat ini, Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhannya [3]. Dari beberapa literatur menunjukkan bahwa ketergantungan ini tidak hanya meningkatkan emisi gas rumah kaca, tetapi juga membuat ekonomi negara rentan terhadap fluktuasi harga minyak global [4], [5]. Oleh karena itu, diversifikasi energi menjadi sangat penting untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan ketahanan energi nasional [6], [7].

Selain kebutuhan terhadap diversifikasi energi, pelestarian lingkungan juga menjadi isu krusial di Indonesia. Hutan Indonesia, yang merupakan salah satu yang terbesar di dunia, menghadapi ancaman deforestasi yang signifikan [8]. Beberapa literatur menggarisbawahi pentingnya hutan-hutan ini, tidak hanya untuk keanekaragaman hayati, tetapi juga sebagai penyimpan karbon yang vital dalam mitigasi perubahan iklim [9]. Inovasi teknologi menawarkan solusi potensial untuk mengatasi tantangan ini dengan meningkatkan efisiensi energi terbarukan, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan memperkenalkan praktik-praktik konservasi yang lebih efektif [10].

Integrasi energi terbarukan, inovasi teknologi, dan konservasi hutan merupakan pendekatan strategis yang dapat menghasilkan dampak signifikan dalam pembangunan berkelanjutan di Indonesia [11]. Penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin berpotensi mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi karbon, yang menjadi penyumbang utama perubahan iklim [12], [13]. Inovasi teknologi memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi dan menciptakan solusi ramah lingkungan, memungkinkan masyarakat untuk mengadopsi praktik yang lebih berkelanjutan [14], [15]. Konservasi hutan, dengan perannya sebagai penyerap karbon alami dan habitat bagi keanekaragaman hayati, menjadi elemen kunci dalam menjaga keseimbangan ekosistem [16]. Dampak positif dari pendekatan ini meliputi peningkatan kualitas udara dan air, pengurangan risiko bencana alam, serta pelestarian flora dan fauna [17]. Selain manfaat lingkungan, ada juga dampak ekonomi dan sosial yang signifikan, seperti penciptaan lapangan kerja hijau dan peningkatan kesejahteraan masyarakat [18]. Kebijakan yang mendukung sinergi antara energi terbarukan, teknologi inovatif, dan konservasi hutan diperlukan untuk memastikan keberlanjutan jangka panjang dan kesejahteraan bersama [19], [20].

Beberapa kesenjangan signifikan ditemukan dalam penelitian sebelumnya. Data empiris mengenai efek jangka panjang dari integrasi energi terbarukan, inovasi teknologi, dan konservasi hutan masih terbatas. Banyak studi yang lebih fokus pada aspek individual dari ketiga elemen ini, namun sedikit yang mengeksplorasi bagaimana mereka dapat bekerja secara sinergis. Memahami interaksi ini sangat penting untuk menilai dampak penuh dari pendekatan terintegrasi terhadap pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Mengisi kesenjangan ini akan memberikan wawasan yang lebih komprehensif dan mendalam tentang cara memaksimalkan manfaat lingkungan dan ekonomi secara simultan.

Studi ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan literatur dengan menyediakan analisis mendalam tentang bagaimana energi terbarukan, inovasi teknologi, dan konservasi hutan dapat bekerja bersama-sama untuk mencapai pembangunan berkelanjutan. Kontribusi utama dari studi ini adalah memberikan rekomendasi kebijakan yang konkret dan strategi implementasi yang praktis, yang diharapkan dapat memaksimalkan manfaat finansial dan lingkungan dari energi terbarukan. Hasil yang diharapkan termasuk panduan bagi pembuat kebijakan dan pelaku industri dalam mengembangkan strategi berkelanjutan yang lebih efektif, serta peningkatan kesadaran dan dukungan masyarakat terhadap pentingnya integrasi ini untuk masa depan Indonesia yang lebih sejahtera dan berkelanjutan.

2. Metode Kajian Literatur

Metode kajian literatur ini yaitu dengan pendekatan evaluasi bagaimana integrasi energi terbarukan, inovasi teknologi, dan konservasi hutan dapat mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Proses pengumpulan literatur dilakukan dengan mencari sumber-sumber relevan dari database akademik terkemuka seperti Google Scholar, Elsevier, MDPI dan lainnya. Literatur yang dikumpulkan mencakup artikel ilmiah, laporan industri, buku, dan studi kasus yang memberikan wawasan mendalam mengenai penerapan energi terbarukan, inovasi teknologi, dan praktik konservasi hutan. Selanjutnya, ditentukan kriteria inklusi dan eksklusi untuk memastikan hanya literatur paling relevan dan berkualitas yang dianalisis, meliputi literatur yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir, relevansi topik, dan kredibilitas sumber. Analisis literatur dilakukan untuk mengidentifikasi pola, tren, dan praktik terbaik dalam penerapan ketiga elemen tersebut, serta mengungkap kesenjangan dalam penelitian sebelumnya. Fokus analisis mencakup evaluasi dampak finansial dan lingkungan dari teknologi energi terbarukan, serta bagaimana inovasi teknologi dapat meningkatkan efektivitas konservasi hutan. Kajian ini juga bertujuan mengisi kesenjangan dalam literatur dengan menyediakan data empiris mengenai efek jangka panjang dari integrasi ini dan mengidentifikasi kebijakan yang paling efektif dalam mendorong adopsi energi terbarukan dan praktik konservasi yang berkelanjutan.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia memiliki potensi besar dalam energi terbarukan yang meliputi energi surya, angin, hidro, dan biomassa [21]. Letak geografis Indonesia di khatulistiwa memberikan keuntungan untuk pemanfaatan

energi surya sepanjang tahun, dengan intensitas sinar matahari yang konsisten [22]. Selain itu, dengan garis pantai yang panjang dan daerah pegunungan, energi angin juga memiliki prospek yang menjanjikan. Potensi hidro di Indonesia didukung oleh banyaknya sungai dan aliran air yang melintasi nusantara, menyediakan sumber daya air yang melimpah untuk pembangkit listrik tenaga air. Biomassa, yang dapat dimanfaatkan dari limbah pertanian dan kehutanan, menambah sumber daya energi terbarukan yang melimpah di Indonesia.

Namun, implementasi energi terbarukan di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan [23], [24]. Meskipun pemerintah telah mengeluarkan berbagai kebijakan untuk mendorong penggunaan energi terbarukan, seperti subsidi dan insentif fiskal, masih ada hambatan yang signifikan. Investasi dalam sektor energi terbarukan sering kali terbentur masalah birokrasi dan regulasi yang belum sepenuhnya mendukung. Biaya awal yang tinggi untuk pembangunan infrastruktur energi terbarukan menjadi kendala bagi banyak investor. Selain itu, kurangnya kesadaran masyarakat dan dukungan dari sektor swasta juga membatasi pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Meski demikian, dengan komitmen yang kuat dari pemerintah dan kerjasama dengan berbagai pemangku kepentingan, potensi energi terbarukan di Indonesia dapat dioptimalkan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan di masa depan.

Tabel berikut menunjukkan potensi energi terbarukan di Indonesia, mencakup sumber energi, daerah potensial, kapasitas produksi, dan kendala utama. Untuk energi surya, daerah seperti Jawa, Bali, dan NTT memiliki potensi tinggi dengan kapasitas produksi mencapai 1000 MW. Namun, tantangan utama adalah biaya awal instalasi yang masih tinggi, sehingga diperlukan dukungan finansial dan insentif dari pemerintah untuk mengurangi beban biaya tersebut.

Tabel 1. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia: Kapasitas Produksi dan Kendala Utama

No.	Sumber Energi	Daerah Potensial	Kapasitas Produksi (MW)	Kendala Utama
1.	Surya	Jawa, Bali, NTT	1.000	Biaya Awal
2.	Angin	Sulawesi, NTT	500	Regulasi
3.	Hidro	Sumatra, Kalimantan	2.000	Infrastruktur
4.	Biomassa		800	Kesadaran

Sumber: [25], [26]

Energi angin di Sulawesi dan NTT memiliki kapasitas produksi 500 MW, tetapi regulasi yang kompleks menjadi hambatan utama. Penyederhanaan dan perbaikan regulasi sangat diperlukan untuk mempercepat pengembangan energi angin di daerah tersebut. Sementara itu, potensi energi hidro di Sumatra dan Kalimantan mencapai 2000 MW, namun infrastruktur yang belum memadai menjadi kendala utama. Investasi dalam pembangunan infrastruktur, seperti bendungan dan jalur distribusi listrik yang handal, sangat penting untuk memanfaatkan potensi ini. Potensi biomassa di Sumatra dan Kalimantan juga signifikan dengan kapasitas produksi 800 MW, namun kesadaran masyarakat terkait pemanfaatan energi biomassa masih rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan edukasi dan sosialisasi untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman mengenai manfaat energi biomassa. Dengan mengatasi kendala-kendala ini, Indonesia dapat memaksimalkan potensi energi terbarukan dan mencapai pembangunan berkelanjutan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

3.2 Inovasi Teknologi

Inovasi teknologi memainkan peran krusial dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaan energi terbarukan. Teknologi seperti smart grids memungkinkan distribusi energi yang lebih efisien dan responsif, dengan kemampuan untuk menyeimbangkan pasokan dan permintaan secara real-time, sehingga mengurangi pemborosan energy [27]. Penyimpanan energi, termasuk baterai berkapasitas tinggi, memungkinkan energi yang dihasilkan dari sumber terbarukan seperti surya dan angin untuk disimpan dan digunakan saat permintaan tinggi atau ketika kondisi cuaca tidak mendukung produksi energy [28]. Internet of Things (IoT) memberikan kemampuan untuk memantau dan mengelola perangkat energi secara terintegrasi, meningkatkan efisiensi operasional, dan memungkinkan pemeliharaan prediktif untuk mencegah kerusakan [29].

Ilustrasi terhadap inovasi teknologi dari luar negeri yang dapat diadopsi di Indonesia termasuk pengembangan teknologi penyimpanan energi seperti Tesla Powerwall, yang telah mengubah cara rumah tangga dan bisnis menyimpan serta menggunakan energi. Teknologi ini memungkinkan penyimpanan energi surya di rumah tangga untuk digunakan pada malam hari atau saat pemadaman listrik, meningkatkan keandalan dan efisiensi energi. Di Denmark, teknologi smart grid canggih telah berhasil mengintegrasikan

berbagai sumber energi terbarukan ke dalam jaringan listrik nasional, menciptakan sistem energi yang lebih stabil dan berkelanjutan [30]. Sementara itu, inovasi lokal di Indonesia, seperti pembangkit listrik tenaga mikrohidro di desa-desa terpencil, menunjukkan bagaimana teknologi dapat disesuaikan dengan kebutuhan lokal. Proyek mikrohidro ini tidak hanya menyediakan listrik bagi komunitas terpencil tetapi juga menciptakan lapangan kerja dan mengurangi emisi karbon.

Tabel berikut menampilkan tiga teknologi penyimpanan energi utama: Baterai Lithium-Ion, Flow Battery, dan CAES (Compressed Air Energy Storage). Baterai Lithium-Ion memiliki kapasitas tinggi dengan efisiensi mencapai 90%, yang berarti sebagian besar energi yang disimpan dapat digunakan kembali dengan sedikit kerugian. Biaya per kWh untuk teknologi ini berkisar antara 300 hingga 500 USD, menjadikannya pilihan yang efisien namun agak mahal dibandingkan teknologi lainnya. Flow Battery memiliki kapasitas sedang dengan efisiensi sekitar 75%. Meskipun efisiensinya lebih rendah dibandingkan baterai lithium-ion, teknologi ini memiliki biaya yang lebih tinggi, yaitu antara 400 hingga 700 USD per kWh. Flow Battery sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan penyimpanan energi dalam jumlah besar tetapi dengan siklus penggunaan yang lebih jarang.

Tabel 2. Perbandingan Teknologi Penyimpanan Energi: Kapasitas, Efisiensi, dan Biaya

No.	Teknologi Penyimpanan Energi	Kapasitas	Efisiensi (%)	Biaya (USD/kWh)
1.	Baterai Lithium-Ion	Tinggi	90	300-500
2.	Flow Battery	Sedang	75	400-700
3.	CAES	Tinggi	70	200-300

Sumber: [31], [32]

CAES, atau penyimpanan energi udara terkompresi, juga memiliki kapasitas tinggi namun dengan efisiensi lebih rendah yaitu 70%. Teknologi ini relatif lebih ekonomis dengan biaya antara 200 hingga 300 USD per kWh. CAES cocok untuk aplikasi penyimpanan energi skala besar dan dapat digunakan untuk menyeimbangkan jaringan listrik dengan biaya yang lebih rendah. Secara keseluruhan, pilihan teknologi penyimpanan energi tergantung pada kebutuhan spesifik terkait kapasitas, efisiensi, dan biaya. Baterai Lithium-Ion menawarkan efisiensi tinggi dengan biaya menengah, Flow Battery memberikan solusi untuk penyimpanan besar dengan biaya tinggi, sementara CAES menyediakan opsi ekonomis dengan kapasitas tinggi dan efisiensi yang lebih rendah.

Jadi, inovasi teknologi memainkan peran penting dalam mengoptimalkan potensi energi biomassa di Indonesia. Dengan penerapan teknologi konversi yang lebih efisien seperti pirolisis, gasifikasi, dan fermentasi, pemanfaatan biomassa dapat ditingkatkan baik dari segi kapasitas produksi maupun efisiensi energi. Dukungan kebijakan dan investasi dalam teknologi ini akan mempercepat transisi menuju ekonomi hijau, memastikan bahwa energi terbarukan dapat memenuhi kebutuhan energi nasional secara berkelanjutan. Melalui sinergi antara inovasi teknologi, kebijakan yang tepat, dan kesadaran publik, energi biomassa dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya mencapai pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

3.3 Konservasi Hutan

Konservasi hutan memiliki peran vital dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia [33]. Hutan Indonesia adalah salah satu sumber daya alam paling berharga di dunia, berfungsi sebagai habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna, serta penyimpan karbon yang penting dalam mitigasi perubahan iklim. Keanekaragaman hayati yang tinggi di hutan-hutan Indonesia memberikan kontribusi besar bagi ilmu pengetahuan dan penemuan obat-obatan baru, sementara fungsi hutan sebagai penyerap karbon membantu mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer [34]. Oleh karena itu, upaya konservasi hutan tidak hanya penting untuk melindungi lingkungan tetapi juga untuk mendukung kesehatan global dan ekonomi berkelanjutan.

Agar dapat mencapai tujuan konservasi hutan, diperlukan strategi yang komprehensif dan terintegrasi. Kebijakan pemerintah yang mendukung, seperti peraturan tentang pembatasan deforestasi dan program reboisasi, sangat penting. Partisipasi masyarakat lokal juga menjadi kunci keberhasilan konservasi, melalui edukasi dan pelibatan langsung dalam kegiatan perlindungan hutan. Penggunaan teknologi modern, seperti pemantauan hutan menggunakan satelit dan drone, serta penerapan sistem informasi geografis (GIS), dapat meningkatkan efektivitas konservasi dengan memberikan data yang akurat dan real-time tentang kondisi hutan. Studi kasus dari proyek REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) di Kalimantan Tengah menunjukkan bahwa kombinasi kebijakan

yang kuat, partisipasi masyarakat, dan teknologi canggih dapat secara signifikan mengurangi laju deforestasi dan degradasi hutan.

Tabel berikut menguraikan tiga kebijakan pemerintah yang dirancang untuk mendukung konservasi hutan dan praktik pertanian berkelanjutan. Pertama, kebijakan Pembatasan Deforestasi berfokus pada pembatasan aktivitas penebangan di kawasan hutan lindung, yang diimplementasikan melalui Undang-Undang Kehutanan. Kebijakan ini bertujuan untuk melindungi ekosistem hutan dan mengurangi emisi karbon akibat deforestasi.

Tabel 3. Kebijakan Pemerintah untuk Konservasi Hutan dan Pertanian Berkelanjutan

No.	Kebijakan Pemerintah	Deskripsi	Implementasi
1.	Pembatasan Deforestasi	Pembatasan aktivitas penebangan di kawasan hutan lindung	Undang-Undang Kehutanan
2.	Program Reboisasi	Penanaman kembali pohon di area yang telah ditebang	Kerjasama dengan LSM dan masyarakat lokal
3.	Insentif Berkelanjutan	Insentif finansial untuk praktik pertanian berkelanjutan	Subsidi dan bantuan teknis

Sumber: [35], [36]

Selanjutnya, Program Reboisasi menginisiasi penanaman kembali pohon di area yang telah ditebang. Program ini melibatkan kerjasama dengan LSM dan masyarakat lokal untuk memulihkan fungsi ekologis hutan serta menyediakan lapangan kerja bagi penduduk setempat. Reboisasi membantu menjaga keseimbangan lingkungan dan mendukung keberlanjutan sumber daya alam.

Terakhir, Insentif Berkelanjutan memberikan dukungan finansial untuk praktik pertanian berkelanjutan melalui subsidi dan bantuan teknis. Insentif ini mendorong petani untuk mengadopsi metode pertanian yang ramah lingkungan, seperti penggunaan pupuk organik dan teknik irigasi efisien, yang tidak merusak lingkungan. Secara keseluruhan, kebijakan-kebijakan ini menunjukkan upaya terintegrasi pemerintah dalam melestarikan hutan dan mendorong praktik pertanian berkelanjutan, yang pada akhirnya berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan dan kesejahteraan masyarakat.

3.4 Integrasi Energi Terbarukan, Teknologi, dan Konservasi Hutan

Integrasi energi terbarukan, teknologi, dan konservasi hutan menciptakan sinergi yang kuat dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Energi terbarukan seperti energi surya, angin, dan biomassa dapat dikembangkan dengan cara yang minimal mengganggu lingkungan hutan [37]. Selain itu, teknologi modern seperti sistem pemantauan hutan berbasis satelit dan drone, serta penggunaan Internet of Things (IoT) untuk pengelolaan sumber daya, dapat meningkatkan efektivitas konservasi hutan [38]. Sebaliknya, hutan yang terjaga dengan baik berperan penting dalam mendukung energi terbarukan dengan menyediakan biomassa berkelanjutan dan menjaga siklus air yang diperlukan untuk energi hidro. Dengan demikian, kombinasi ini tidak hanya membantu mengurangi emisi karbon tetapi juga meningkatkan keanekaragaman hayati dan kesejahteraan masyarakat setempat.

Contoh penerapan integrasi ini dapat dilihat dalam proyek REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) di Kalimantan Tengah, Indonesia. Proyek ini menggabungkan upaya konservasi hutan dengan pengembangan energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga biomassa yang menggunakan sisa-sisa pertanian. Selain itu, teknologi drone dan satelit digunakan untuk memantau deforestasi dan degradasi hutan secara real-time, sehingga memungkinkan tindakan cepat dan efektif dalam menjaga kelestarian hutan. Studi kasus lain yang menarik adalah proyek smart grid di Denmark yang mengintegrasikan berbagai sumber energi terbarukan dengan sistem pemantauan canggih, memberikan pelajaran berharga bagi implementasi teknologi serupa di Indonesia.

Tabel berikut menguraikan strategi integrasi antara energi terbarukan, teknologi pemantauan, dan konservasi hutan dengan fokus pada sumber energi, dampak positif, dan contoh proyek praktis di Indonesia. Integrasi ini menunjukkan bagaimana berbagai pendekatan dapat bekerja bersama untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Energi terbarukan seperti surya, angin, dan biomassa memainkan peran penting dalam mengurangi emisi karbon. Misalnya, proyek biomassa di Kalimantan Tengah telah berhasil memanfaatkan limbah organik dari sektor pertanian untuk menghasilkan energi. Proyek ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tetapi juga membantu mengelola limbah secara efisien, memberikan manfaat ganda bagi lingkungan dan ekonomi lokal.

Teknologi pemantauan, termasuk penggunaan satelit, drone, dan Internet of Things (IoT), memungkinkan pengawasan hutan yang lebih efektif dan real-time. Contohnya, inisiatif REDD+ (Reducing

Emissions from Deforestation and Forest Degradation) di Kalimantan Tengah menggunakan teknologi ini untuk mendeteksi aktivitas deforestasi ilegal dan mengkoordinasikan respons cepat untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Dengan pemantauan yang canggih, proyek REDD+ dapat memastikan bahwa konservasi hutan berjalan efektif dan berkelanjutan, sekaligus menyediakan data penting untuk perencanaan dan kebijakan lingkungan.

Tabel 4. Integrasi Energi Terbarukan, Teknologi Pemantauan, dan Konservasi Hutan: Sumber Energi, Dampak Positif, dan Contoh Proyek

No.	Aspek Integrasi	Energi Terbarukan	Teknologi Pemantauan	Konservasi Hutan
1.	Sumber energi	Surya, Angin, Biomassa	Satelit, Drone, IoT	Pengelolaan Hutan Lestari
2.	Dampak Positif	Mengurangi Emisi Karbon	Memantau dan Mencegah Deforestasi	Menyediakan Biomassa Berkelanjutan
3.	Contoh Proyek	Proyek Biomassa di Kaliantan Tengah	REDD+ di Kalimantan Tengah	REDD+ di Kalimantan Tengah

Sumber: [39], [40]

Konservasi hutan sendiri berfokus pada pengelolaan hutan lestari yang bertujuan untuk mempertahankan keanekaragaman hayati dan menyediakan biomassa berkelanjutan. Di Kalimantan Tengah, upaya konservasi hutan dalam kerangka proyek REDD+ juga melibatkan masyarakat lokal dalam kegiatan reboisasi dan pengelolaan hutan. Partisipasi aktif komunitas tidak hanya meningkatkan keberhasilan konservasi tetapi juga mendukung penghidupan masyarakat setempat melalui program berbasis hutan.

Integrasi antara energi terbarukan, teknologi pemantauan, dan konservasi hutan ini membentuk pendekatan holistik yang memaksimalkan manfaat lingkungan dan sosial. Mengurangi emisi karbon melalui energi terbarukan, mencegah deforestasi dengan teknologi pemantauan canggih, dan memastikan kelestarian hutan melalui konservasi yang melibatkan masyarakat lokal, semuanya saling mendukung dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Pendekatan ini tidak hanya membantu dalam memitigasi perubahan iklim tetapi juga dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat yang bergantung pada hutan

3.5 Manfaat Ekonomi dan Lingkungan

Adopsi energi terbarukan dan inovasi teknologi membawa dampak ekonomi yang signifikan bagi Indonesia [41]. Penerapan energi terbarukan seperti surya, angin, dan biomassa menciptakan peluang besar untuk pertumbuhan ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja di berbagai sektor, mulai dari penelitian dan pengembangan, manufaktur, hingga instalasi dan pemeliharaan [42]. Sebagai contoh, pembangunan pembangkit listrik tenaga surya dan angin memerlukan tenaga kerja yang terampil untuk pemasangan dan perawatan, sementara produksi biomassa dari limbah pertanian dan kehutanan dapat meningkatkan pendapatan petani dan masyarakat pedesaan. Selain itu, investasi dalam teknologi energi terbarukan mendorong inovasi dan peningkatan efisiensi, yang pada gilirannya memperkuat daya saing industri nasional dan menarik investasi asing [43]. Sebagai contoh, proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga surya di Bali telah menciptakan ratusan lapangan kerja baru dan meningkatkan ekonomi lokal secara signifikan.

Dampak lingkungan dari adopsi energi terbarukan juga tidak kalah penting. Salah satu manfaat utama adalah pengurangan emisi karbon, yang membantu mengurangi dampak perubahan iklim dan meningkatkan kualitas udara. Penggunaan teknologi energi bersih mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca. Selain itu, pelestarian keanekaragaman hayati mendapat manfaat dari praktik energi terbarukan yang ramah lingkungan, seperti penggunaan lahan yang lebih efisien dan pengurangan polusi. Proyek konservasi hutan yang dikombinasikan dengan energi terbarukan, seperti REDD+ di Kalimantan Tengah, menunjukkan bagaimana pengurangan deforestasi dan degradasi hutan dapat berjalan seiring dengan pengembangan energi biomassa yang berkelanjutan. Proyek ini tidak hanya mengurangi emisi karbon tetapi juga melindungi habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna, sekaligus memberikan manfaat ekonomi bagi komunitas lokal.

Tabel berikut, menunjukkan data jumlah energi yang dihasilkan dari tiga sumber energi terbarukan yaitu Surya, Angin, dan Biomassa dalam rentang waktu dari tahun 2015 hingga 2019. Data ini mencakup nilai produksi energi dalam satuan yang tidak disebutkan (kemungkinan dalam megawatt atau gigawatt). Pada tahun 2015, total energi yang dihasilkan adalah 1000, yang terdiri dari 500 dari Surya, 300 dari Angin,

dan 200 dari Biomassa. Pada tahun 2016, total produksi energi meningkat menjadi 1350 dengan kontribusi 700 dari Surya, 400 dari Angin, dan 250 dari Biomassa. Kenaikan ini berlanjut pada tahun 2017, dengan total produksi mencapai 1800 yang mencakup 1000 dari Surya, 500 dari Angin, dan 300 dari Biomassa. Pada tahun 2018, total produksi energi meningkat lagi menjadi 2150, dengan kontribusi 1200 dari Surya, 600 dari Angin, dan 350 dari Biomassa. Akhirnya, pada tahun 2019, total produksi mencapai 2600, dengan 1500 dari Surya, 700 dari Angin, dan 400 dari Biomassa.

Tabel 5. Pertumbuhan Kapasitas Energi Terbarukan di Indonesia 2015-2019

Tahun	Surya	Angin	Biomassa	Total
2015	500	300	200	1.000
2016	700	400	250	1.350
2017	1.000	500	300	1.800
2018	1.200	600	350	2.150
2019	1.500	700	400	2.600

Sumber: [44], [45]

Analisis dari data ini menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dalam produksi energi dari semua sumber energi terbarukan yang ditampilkan dalam tabel. Peningkatan yang paling signifikan terlihat pada energi yang dihasilkan dari Surya, yang meningkat tiga kali lipat dari 500 pada tahun 2015 menjadi 1500 pada tahun 2019. Sumber energi Angin juga menunjukkan peningkatan dua kali lipat selama periode ini, sedangkan Biomassa mengalami peningkatan dua kali lipat dari 200 menjadi 400.

Tren ini menunjukkan adanya investasi yang signifikan dan peningkatan efisiensi dalam pemanfaatan energi terbarukan, yang berkontribusi pada peningkatan total produksi energi dari 1000 pada tahun 2015 menjadi 2600 pada tahun 2019. Hal ini menunjukkan upaya yang sukses dalam meningkatkan ketergantungan pada sumber energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Pentingnya kolaborasi antara energi terbarukan, teknologi canggih, dan konservasi hutan, Indonesia memiliki peluang besar untuk mencapai pembangunan berkelanjutan yang menyeluruh. Dengan potensi energi surya, angin, hidro, dan biomassa yang melimpah, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan secara signifikan mengurangi emisi karbon. Pemanfaatan energi terbarukan ini tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga dapat menjadi pendorong utama pertumbuhan ekonomi, menciptakan lapangan kerja baru, dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Inovasi teknologi memainkan peran krusial dalam memaksimalkan manfaat energi terbarukan dan upaya konservasi hutan. Teknologi seperti smart grids memungkinkan distribusi energi yang lebih efisien dan responsif, sementara sistem penyimpanan energi memastikan ketersediaan energi terbarukan kapan pun dibutuhkan. Penggunaan drone dan satelit untuk pemantauan hutan memberikan data real-time yang akurat, membantu mencegah deforestasi dan degradasi hutan secara cepat dan efektif. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga memperkuat kemampuan konservasi dengan memberikan alat yang lebih canggih dan efektif.

Studi kasus proyek REDD+ di Kalimantan Tengah menunjukkan bagaimana integrasi energi terbarukan, teknologi canggih, dan konservasi hutan dapat berjalan seiring dan menghasilkan hasil yang signifikan. Proyek ini berhasil mengurangi laju deforestasi, melindungi keanekaragaman hayati, dan memberikan manfaat ekonomi bagi komunitas lokal melalui penciptaan lapangan kerja dan peningkatan pendapatan. Contoh ini menggarisbawahi pentingnya kombinasi kebijakan pemerintah yang mendukung, partisipasi aktif masyarakat, dan penerapan teknologi canggih untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan.

Adopsi energi terbarukan dan inovasi teknologi tidak hanya menciptakan lapangan kerja dan mendorong pertumbuhan ekonomi tetapi juga memperbaiki kualitas lingkungan dengan mengurangi emisi karbon dan melestarikan keanekaragaman hayati. Dengan komitmen yang kuat dari semua pemangku kepentingan, integrasi ini dapat menjadi model untuk pembangunan berkelanjutan yang lebih luas di Indonesia, memastikan masa depan yang lebih sejahtera dan ramah lingkungan. Melalui langkah-langkah ini, Indonesia dapat mengukuhkan posisinya sebagai pemimpin dalam inisiatif pembangunan berkelanjutan di kawasan Asia dan dunia.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. Yana, M. Nizar, Irhamni, and D. Mulyati, "Biomass waste as a renewable energy in developing bio-based economies in Indonesia: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 160, p. 112268, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112268>.

- [2] N. Nelly *et al.*, “Potensi Ekonomi Energi Terbarukan Biomassa: Permasalahan dan Kendala Pengembangannya,” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, 2023.
- [3] J. Juwita *et al.*, “Peluang Ekspansi Energi Terbarukan Biomassa dengan Analisis SWOT,” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [4] K. Kasmaniar *et al.*, “Pengembangan energi terbarukan biomassa dari sumber pertanian, perkebunan dan hasil hutan: kajian pengembangan dan kendalanya,” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [5] R. Radhiana *et al.*, “Strategi Keberlanjutan Pembangunan Energi Terbarukan Jangka Panjang Indonesia: Kasus Biomassa Energi Terbarukan di Sektor Pertanian, Perkebunan dan Kehutanan Indonesia,” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [6] A. Islam, K. F. Al-Tabatabaie, A. K. Karmaker, M. B. Hossain, and K. Islam, “Assessing energy diversification policy and sustainability: Bangladesh standpoints,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 40, p. 100803, 2022.
- [7] M. M. Akrofi, “An analysis of energy diversification and transition trends in Africa,” *Int. J. Energy Water Resour.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–12, 2021.
- [8] H. Gunawan *et al.*, “A review of forest fragmentation in Indonesia under the DPSIR framework for biodiversity conservation strategies,” *Glob. Ecol. Conserv.*, p. e02918, 2024.
- [9] Y. Indrajaya *et al.*, *Tropical Forest Landscape Restoration in Indonesia: A Review*, vol. 11, no. 3, 2022. doi: 10.3390/land11030328.
- [10] K. Moustakas, M. Loizidou, M. Rehan, and A. S. Nizami, “A review of recent developments in renewable and sustainable energy systems: Key challenges and future perspective,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 119. Elsevier, p. 109418, 2020.
- [11] D. Rimantho, N. Y. Hidayah, V. A. Pratomo, A. Saputra, I. Akbar, and A. S. Sundari, “The strategy for developing wood pellets as sustainable renewable energy in Indonesia,” *Heliyon*, vol. 9, no. 3, p. e14217, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14217.
- [12] S. Yana *et al.*, “Dampak Ekspansi Biomassa sebagai Energi Terbarukan: Kasus Energi Terbarukan Indonesia,” *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 4, 2022.
- [13] S. Yana, A. Yulisma, and T. M. Zulfikar, “Manfaat sosial ekonomi energi terbarukan: Kasus negara-negara ASEAN,” *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 1, 2022.
- [14] R. Agrawal, S. Agrawal, A. Samadhiya, A. Kumar, S. Luthra, and V. Jain, “Adoption of green finance and green innovation for achieving circularity: An exploratory review and future directions,” *Geosci. Front.*, vol. 15, no. 4, p. 101669, 2024.
- [15] M. Chen, A. Sinha, K. Hu, and M. I. Shah, “Impact of technological innovation on energy efficiency in industry 4.0 era: Moderation of shadow economy in sustainable development,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 164, p. 120521, 2021.
- [16] M. Ezquerro, M. Pardos, and L. Diaz-Balteiro, “The inclusion of improved forest management in strategic forest planning and its impact on timber harvests, carbon and biodiversity conservation,” *Sci. Total Environ.*, p. 174813, 2024.
- [17] S. Algarni, V. Tirth, T. Alqahtani, S. Alshehery, and P. Kshirsagar, “Contribution of renewable energy sources to the environmental impacts and economic benefits for sustainable development,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 56, p. 103098, 2023.
- [18] F. Fitriliana *et al.*, “Peluang Investasi dan Pengembangan Energi Biomassa: Perspektif Pemanfaatan dan Daya Saing Pengembangannya,” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, 2023.
- [19] B. Baptiste, M. E. Rinaudo-Mannucci, and L. Rodriguez-Urrego, “Conceptual model for advancing socioecological and energy transitions through nature-based solutions in territories: Addressing global anthropogenic challenges,” *Environ. Challenges*, vol. 15, p. 100955, 2024.
- [20] P. J. Stephenson and A. Damerell, “Bioeconomy and circular economy approaches need to enhance the focus on biodiversity to achieve sustainability,” *Sustainability*, vol. 14, no. 17, p. 10643, 2022.
- [21] A. Amiruddin, A. Liebman, R. Dargaville, and R. Gawler, “Optimal energy storage configuration to support 100% renewable energy for Indonesia,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 81, p. 101509, 2024.
- [22] G. K. Dalapati *et al.*, “Maximizing solar energy production in ASEAN region: opportunity and challenges,” *Results Eng.*, p. 101525, 2023.
- [23] S. R. Sharvini, Z. Z. Noor, C. S. Chong, L. C. Stringer, and R. O. Yusuf, “Energy consumption trends and their linkages with renewable energy policies in East and Southeast Asian countries: Challenges and opportunities,” *Sustain. Environ. Res.*, vol. 28, no. 6, pp. 257–266, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.08.006>.
- [24] M. T. Sambodo *et al.*, “Breaking barriers to low-carbon development in Indonesia: deployment of renewable energy,” *Heliyon*, vol. 8, no. 4, 2022.

- [25] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, “Potensi Energi Terbarukan di Indonesia: Kapasitas Produksi dan Kendala Utama.” [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/miliki-potensi-ebt-3686-gw-sekjen-rida-modal-utama-jalankan-transisi-energi-indonesia>
- [26] Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), “Kapasitas Terpasang EBT Capai 12,7 GW, Ini Gerak Cepat Pemerintah Serap Potensi EBT.” [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/07/24/3536/kapasitas.terpasang.ebt.capai.127.gw.ini.gerak.cepat.pemerintah.serap.potensi.ebt>
- [27] M. Khalid, “Smart grids and renewable energy systems: Perspectives and grid integration challenges,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 51, p. 101299, 2024.
- [28] S. Sridhar and S. R. Salkuti, “Development and future scope of renewable energy and energy storage systems,” *Smart Cities*, vol. 5, no. 2, pp. 668–699, 2022.
- [29] T. Ahmad and D. Zhang, “Using the internet of things in smart energy systems and networks,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 68, p. 102783, 2021.
- [30] Q. Hassan *et al.*, “Enhancing smart grid integrated renewable distributed generation capacities: Implications for sustainable energy transformation,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 66, p. 103793, 2024.
- [31] B. Nykvist and M. Nilsson, “Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles,” *Nat. Clim. Chang.*, vol. 5, no. 4, pp. 329–332, 2015.
- [32] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, and J. Clarke, “Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation,” *Appl. Energy*, vol. 137, pp. 511–536, 2015.
- [33] D. Octavia *et al.*, “Mainstreaming smart agroforestry for social forestry implementation to support sustainable development goals in Indonesia: A review,” *Sustainability*, vol. 14, no. 15, p. 9313, 2022.
- [34] H. Gunawan *et al.*, “Integrating social forestry and biodiversity conservation in Indonesia,” *Forests*, vol. 13, no. 12, p. 2152, 2022.
- [35] C. Sabogal, C. Besacier, and D. McGuire, “Forest and landscape restoration: concepts, approaches and challenges for implementation,” *Unasylva*, vol. 66, no. 245, p. 3, 2015.
- [36] L. Haji, N. Valizadeh, and D. Hayati, “The role of local communities in sustainable land and forest management,” in *Spatial Modeling in Forest Resources Management: Rural Livelihood and Sustainable Development*, Springer, 2020, pp. 473–503.
- [37] A. Raihan, “The influences of renewable energy, globalization, technological innovations, and forests on emission reduction in Colombia,” *Innov. Green Dev.*, vol. 2, no. 4, p. 100071, 2023.
- [38] B. Haq *et al.*, “Tech-Driven Forest Conservation: Combating Deforestation With Internet of Things, Artificial Intelligence, and Remote Sensing,” *IEEE Internet Things J.*, 2024.
- [39] A. Suwarno, M. van Noordwijk, H.-P. Weikard, and D. Suyamto, “Indonesia’s forest conversion moratorium assessed with an agent-based model of Land-Use Change and Ecosystem Services (LUCES),” *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.*, vol. 23, pp. 211–229, 2018.
- [40] T. Wahyuni, “Program Initiatives Developed in REDD+ Implementation Efforts in East Kalimantan,” *J. Penelit. Sos. dan Ekon. Kehutan.*, vol. 16, no. 2, pp. 145–160, 2019.
- [41] A. Raihan, M. I. Pavel, D. A. Muhtasim, S. Farhana, O. Faruk, and A. Paul, “The role of renewable energy use, technological innovation, and forest cover toward green development: Evidence from Indonesia,” *Innov. Green Dev.*, vol. 2, no. 1, p. 100035, 2023.
- [42] M. Ram, A. Aghahosseini, and C. Breyer, “Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 151, p. 119682, 2020.
- [43] E. E. O. Opoku, A. O. Acheampong, K. E. Dogah, and I. Koomson, “Energy innovation investment and renewable energy in OECD countries,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 54, p. 101462, 2024.
- [44] A. Bajari and I. Gemiharto, “Strategi Komunikasi Penggunaan Energi Terbarukan Menghadapi Perubahan Iklim di Indonesia,” *Komun. Lingkung. dan Komun. Bencana di Indones.*, 2019.
- [45] I. Kholiq, “Analisis pemanfaatan sumber daya energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi BBM,” *J. Iptek*, vol. 19, no. 2, pp. 75–91, 2015.