

# Optimalisasi Energi Biomassa: Solusi Energi Terbarukan untuk Ekonomi Hijau dengan Tinjauan Finansial dan Lingkungan

Khairuna<sup>1</sup>, Ulfia<sup>2\*</sup>, Maryam<sup>3</sup>, Samsul Ikhbar<sup>4</sup>, Rahmi<sup>5</sup>, Cut Rusmina<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,5,6</sup>Program Studi Akuntansi, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

<sup>4</sup>Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

\*Koresponden email: ulfia@serambimekkah.ac.id

Diterima: 5 Juli 2024

Disetujui: 13 Juli 2024

## Abstract

The purpose of this article is to look into the optimisation of biomass energy as a strategic tool for establishing a green economy in Indonesia. Using a literature review technique, this study outlines a number of issues and solutions related with biomass energy production, as well as the possible financial and environmental benefits that can be realised. The problem analysis reveals that the key barriers to biomass energy growth are poor public awareness, limited infrastructure, and expensive beginning expenditures. To address these issues, the government must give appropriate financial and policy support, such as infrastructural assistance, subsidies, and tax breaks. This study is expected to result in a better understanding of the importance of biomass energy and the development of strategic steps to maximise its utilisation. Biomass energy can be a sustainable, environmentally friendly, and effective solution for overcoming the fundamental constraints and realising the present potential. The key recommendations of this article are the need for thorough education and campaigns to increase public knowledge and comprehension, as well as the importance of collaboration among government, industry, and society in the development of biomass energy. As a result, optimising biomass energy can help Indonesia shift to a more sustainable green economy.

**Keyword:** *biomass energy, renewable energy, tax incentives, infrastructure limitations*

## Abstrak

Artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi optimalisasi energi biomassa sebagai langkah strategis dalam mencapai ekonomi hijau di Indonesia. Melalui metode literatur review, penelitian ini mengidentifikasi berbagai tantangan dan solusi yang terkait dengan pengembangan energi biomassa, serta potensi manfaat finansial dan lingkungan yang dapat diperoleh. Analisis permasalahan menunjukkan bahwa kendala utama dalam pengembangan energi biomassa meliputi rendahnya kesadaran masyarakat, keterbatasan infrastruktur, dan biaya awal yang tinggi. Untuk mengatasi kendala tersebut, diperlukan dukungan finansial dan kebijakan yang tepat dari pemerintah, termasuk subsidi, insentif pajak, dan bantuan infrastruktur. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah peningkatan pemahaman tentang pentingnya energi biomassa dan implementasi langkah-langkah strategis untuk mengoptimalkan penggunaannya. Agar dapat mengatasi kendala utama dan memanfaatkan potensi yang ada, energi biomassa dapat menjadi solusi berkelanjutan yang efisien dan ramah lingkungan. Rekomendasi utama dari artikel ini adalah pentingnya kolaborasi antara pemerintah, industri, dan masyarakat dalam mengembangkan energi biomassa, serta perlunya edukasi dan kampanye yang komprehensif untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat. Dengan demikian, energi biomassa dapat dioptimalkan untuk mendukung transisi ke ekonomi hijau yang berkelanjutan di Indonesia.

**Kata Kunci:** *energi biomassa, energi terbarukan, insentif pajak, keterbatasan infrastruktur*

## 1. Pendahuluan

Energi biomassa adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang memanfaatkan bahan organik seperti limbah pertanian, sisa tanaman, dan sampah organik untuk menghasilkan energi [1], [2]. Di era modern ini, kebutuhan terhadap energi bersih dan terbarukan semakin mendesak seiring dengan meningkatnya kesadaran global akan perubahan iklim dan kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil [3], [4]. Biomassa tidak hanya menawarkan solusi energi yang berkelanjutan tetapi juga berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengelola limbah organik secara efisien [5], [6].

Menurut laporan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki potensi energi biomassa yang sangat besar, terutama dari sisa hasil pertanian dan kehutanan di wilayah Sumatra dan Kalimantan [7]. Potensi ini belum sepenuhnya dimanfaatkan, dengan kapasitas produksi yang

masih di bawah optimal. Beberapa teknologi konversi biomassa yang telah dikembangkan meliputi pirolisis, gasifikasi, dan fermentasi. Teknologi pirolisis, misalnya, dapat mengubah biomassa menjadi bio-oil, biochar, dan gas sintesis melalui pemanasan tanpa oksigen. Gasifikasi mengubah biomassa menjadi syngas yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik dan bahan bakar. Sementara itu, fermentasi memungkinkan konversi biomassa menjadi bioetanol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan.

Penelitian lain oleh Dewan Energi Nasional (DEN) menyoroti bahwa biomassa memiliki keunggulan dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya, terutama dalam hal pengelolaan limbah organik dan pengurangan emisi karbon [8]. Biomassa dapat menjadi bagian integral dari strategi energi hijau yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan kemandirian energi [9]. Beberapa studi literatur menunjukkan bahwa pemanfaatan biomassa dapat mengurangi emisi karbon hingga 85% dibandingkan dengan bahan bakar fosil [10]. Selain itu, biomassa juga dapat digunakan untuk memproduksi bioplastik dan bahan kimia hijau lainnya, memberikan nilai tambah ekonomis yang signifikan [11].

Di beberapa negara seperti Jerman dan Swedia, biomassa telah menjadi komponen utama dalam strategi energi mereka, dengan investasi besar-besaran dalam infrastruktur dan penelitian untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan teknologi ini [12], [13]. Di Jerman, program feed-in tariff telah sukses mendorong penggunaan biomassa untuk pembangkit listrik, sementara di Swedia, biomassa digunakan secara luas untuk pemanasan distrik, mengurangi emisi karbon dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Optimalisasi energi biomassa penting karena dapat memberikan solusi bagi beberapa masalah utama yang dihadapi Indonesia, termasuk kebutuhan energi yang terus meningkat, pengelolaan limbah, dan komitmen untuk mengurangi emisi karbon. Tujuan artikel ini adalah untuk mengkaji potensi energi biomassa di Indonesia, mengevaluasi strategi optimalisasi dari perspektif finansial dan lingkungan, dan mengidentifikasi langkah-langkah yang diperlukan untuk mengatasi tantangan dalam pengembangan energi biomassa.

Analisis gap dalam literatur saat ini menunjukkan bahwa meskipun potensi energi biomassa di Indonesia sangat besar, implementasi praktisnya masih terhambat oleh kendala teknis, regulasi, dan kesadaran publik yang rendah. Artikel ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dengan menawarkan analisis komprehensif mengenai manfaat finansial dan lingkungan dari energi biomassa, serta memberikan rekomendasi kebijakan untuk mendorong pengembangan lebih lanjut. Dengan demikian, artikel ini bertujuan untuk mendukung transisi menuju ekonomi hijau dan energi berkelanjutan di Indonesia.

## **2. Potensi Energi Biomassa**

Energi biomassa memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia [14]. Dengan ketersediaan sumber daya biomassa yang melimpah, termasuk limbah pertanian, kayu, dan sampah organik, Indonesia memiliki peluang besar untuk memanfaatkan energi ini guna mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon [15]. Potensi energi biomassa tidak hanya terbatas pada produksi listrik, tetapi juga mencakup produksi panas dan bahan bakar bio, seperti bioetanol dan biodiesel.

Dalam konteks geografis, banyak daerah di Indonesia yang memiliki potensi besar untuk pengembangan energi biomassa, terutama daerah pedesaan yang memiliki akses langsung ke sumber daya biomassa. Dengan memanfaatkan limbah pertanian dan sisa-sisa kayu dari industri kehutanan, energi biomassa dapat dihasilkan dengan biaya yang relatif rendah dan keberlanjutan yang tinggi. Potensi ini semakin diperkuat dengan dukungan kebijakan pemerintah yang memberikan insentif untuk pengembangan energi terbarukan [16]. Potensi ketersediaan biomassa di Indonesia yang terdiri dari tiga sumber utama: limbah pertanian, kayu, dan sampah organik. Limbah pertanian memiliki ketersediaan sekitar 150 juta ton, kayu mencapai 200 juta ton, dan sampah organik sebesar 100 juta ton. Data ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki sumber daya biomassa yang melimpah, yang dapat dimanfaatkan untuk produksi energi terbarukan.

Ketersediaan bahan baku yang melimpah, potensi energi biomassa di Indonesia sangat besar. Pemanfaatan biomassa dari limbah pertanian dan sampah organik tidak hanya membantu mengurangi volume limbah yang harus dikelola tetapi juga memberikan alternatif sumber energi yang berkelanjutan. Ini dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon secara signifikan. Selain itu, pengembangan energi biomassa dapat menciptakan peluang ekonomi baru, terutama di daerah pedesaan yang memiliki akses langsung ke sumber daya biomassa. Dengan dukungan kebijakan yang tepat, seperti insentif finansial dan pengembangan infrastruktur, potensi energi biomassa dapat dioptimalkan untuk mendukung transisi Indonesia menuju ekonomi hijau yang berkelanjutan.

Sebagai sebuah ilustrasi, pembangkit listrik tenaga biomassa di Jawa Tengah memanfaatkan limbah pertanian seperti sekam padi dan tongkol jagung untuk menghasilkan listrik. Proyek ini mampu menghasilkan 10 MW listrik yang dapat memenuhi kebutuhan ribuan rumah tangga. Keberhasilan proyek ini menunjukkan bagaimana potensi biomassa dapat dimanfaatkan secara efektif untuk menghasilkan energi terbarukan, sekaligus memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan ekonomi lokal.

### 3. Teknologi dan Proses Konversi Biomassa

Teknologi dan proses konversi biomassa memainkan peran penting dalam memanfaatkan energi terbarukan dari sumber daya biomassa [17], [18]. Salah satu teknologi yang paling sederhana dan banyak digunakan adalah pembakaran langsung, di mana biomassa dibakar untuk menghasilkan panas. Panas ini kemudian digunakan untuk memanaskan air dan menghasilkan uap yang menggerakkan turbin guna menghasilkan listrik. Meskipun efisiensi pembakaran langsung cenderung rendah dan emisinya tinggi jika tidak dikelola dengan baik, teknologi ini tetap menjadi pilihan utama karena kesederhanaan dan biaya yang relatif rendah.

Selain pembakaran langsung, teknologi konversi termokimia seperti gasifikasi dan pirolisis juga digunakan untuk mengubah biomassa menjadi energi. Gasifikasi melibatkan pemanasan biomassa dalam kondisi terbatas oksigen untuk menghasilkan gas sintetis (syngas) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik atau panas. Pirolisis, di sisi lain, melibatkan pemanasan biomassa tanpa oksigen untuk menghasilkan bio-oil, gas, dan arang. Teknologi ini menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dan fleksibilitas dalam produk yang dihasilkan dibandingkan dengan pembakaran langsung.

Proses konversi biokimia, seperti fermentasi dan anaerobic digestion, juga merupakan metode penting dalam pemanfaatan biomassa [19]. Fermentasi mengubah bahan baku biomassa yang kaya gula menjadi bioetanol melalui aksi mikroorganisme, sedangkan anaerobic digestion menguraikan bahan organik dalam kondisi anaerobik untuk menghasilkan biogas, yang sebagian besar terdiri dari metana dan dapat digunakan sebagai bahan bakar. Teknologi biokimia ini menawarkan keuntungan dalam hal pengelolaan limbah dan produksi energi terbarukan yang lebih bersih. Melalui berbagai teknologi dan proses konversi yang tersedia, pemanfaatan energi biomassa dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lokal. Pengembangan dan penerapan teknologi yang tepat dapat memungkinkan pemanfaatan sumber daya biomassa yang lebih efisien dan berkelanjutan, mendukung upaya untuk mencapai ekonomi hijau dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [9], [20].

Tabel berikut menggambarkan berbagai teknologi konversi biomassa beserta proses dan produk akhirnya. Teknologi pembakaran langsung adalah metode yang paling sederhana dan umum digunakan, di mana biomassa mentah dibakar untuk menghasilkan energi panas. Meskipun mudah diterapkan, pembakaran langsung memiliki efisiensi yang relatif rendah dan emisi yang tinggi jika tidak dilengkapi dengan sistem pengendalian emisi yang baik. Gasifikasi adalah teknologi yang lebih maju yang mengkonversi biomassa menjadi gas sintetis (syngas) melalui proses pemanasan dalam kondisi terbatas oksigen. Syngas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik atau panas. Gasifikasi menawarkan efisiensi konversi yang lebih tinggi dibandingkan pembakaran langsung dan fleksibilitas dalam aplikasi energi.

**Tabel 1.** Teknologi Konversi Biomassa

No.	Teknologi	Proses	Produk Akhir
1.	Pembakaran Langsung	Pembakaran biomassa mentah	Energi panas
2.	Gasifikasi	Konversi biomassa menjadi gas	Syngas (Sintesis gas)
3.	Pirolisis	Pemanasan biomassa tanpa oksigen	Biochar, bio-oil
4.	Fermentasi	Konversi biomassa menjadi bioetanol	Bioetanol

Sumber: [21]

Pirolisis, yang melibatkan pemanasan biomassa tanpa adanya oksigen, menghasilkan produk berupa biochar dan bio-oil. Biochar dapat digunakan sebagai bahan pembenah tanah yang meningkatkan kesuburan tanah dan menyimpan karbon dalam jangka panjang, sementara bio-oil dapat diolah lebih lanjut menjadi bahan bakar cair. Teknologi pirolisis memberikan nilai tambah dengan menghasilkan produk yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai sektor, selain energi.

Fermentasi adalah proses biokimia yang mengubah biomassa yang kaya gula menjadi bioetanol melalui aksi mikroorganisme. Bioetanol yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang lebih bersih dibandingkan bahan bakar fosil. Fermentasi tidak hanya membantu dalam pengelolaan limbah biomassa tetapi juga memberikan solusi energi terbarukan yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, berbagai teknologi konversi biomassa ini menawarkan pendekatan yang berbeda untuk memanfaatkan sumber daya biomassa. Setiap teknologi memiliki keunggulan dan aplikasi spesifiknya, memungkinkan fleksibilitas dalam pemilihan teknologi berdasarkan kebutuhan energi dan kondisi lokal. Dengan pengembangan dan penerapan teknologi yang tepat, energi biomassa dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung transisi ke ekonomi hijau yang berkelanjutan.

#### 4. Tinjauan Finansial

Energi biomassa menawarkan peluang investasi yang menarik dengan berbagai insentif dari pemerintah. Investasi dalam energi biomassa sering kali didukung oleh kebijakan dan program pemerintah yang bertujuan untuk mendorong penggunaan sumber energi terbarukan [22]. Insentif ini bisa berupa potongan pajak, subsidi langsung, atau bantuan finansial lainnya yang dapat mengurangi beban biaya awal dan operasional. Dalam analisis finansial, penting untuk mempertimbangkan biaya awal yang mencakup pembelian peralatan, konstruksi fasilitas, dan infrastruktur pendukung [23]. Biaya operasional meliputi pengadaan bahan baku biomassa, pemeliharaan peralatan, dan biaya tenaga kerja. Dengan memperhitungkan insentif pemerintah dan penghematan biaya operasional, potensi keuntungan dari investasi ini dapat meningkat signifikan.

Studi kasus Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa di Sumatra menunjukkan hasil yang positif [24]. Proyek ini berhasil menunjukkan Return on Investment (ROI) yang tinggi dengan periode pengembalian modal (payback period) yang relatif singkat. Dukungan dari pemerintah dalam bentuk insentif pajak dan subsidi telah memainkan peran penting dalam mencapai keberhasilan finansial proyek ini. Dengan ROI yang tinggi, proyek ini tidak hanya menarik bagi investor, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kapasitas energi terbarukan di Indonesia. Keberhasilan proyek ini dapat dijadikan contoh bagi proyek-proyek energi biomassa lainnya, menunjukkan bahwa dengan perencanaan dan dukungan yang tepat, energi biomassa dapat menjadi solusi yang menguntungkan secara finansial dan berkelanjutan secara lingkungan.

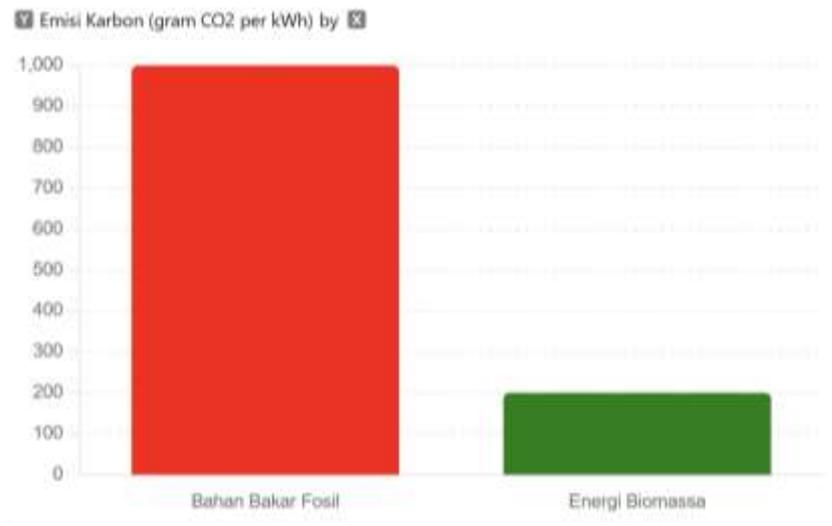
Proses pembangkit listrik tenaga biomassa melibatkan beberapa tahap yang dimulai dari pengumpulan bahan baku biomassa, seperti limbah pertanian dan kayu. Bahan baku ini kemudian diolah untuk mempersiapkannya agar sesuai untuk proses pembakaran. Setelah diolah, bahan baku biomassa dibakar untuk menghasilkan uap. Uap ini digunakan untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator. Generator kemudian menghasilkan listrik yang siap untuk didistribusikan ke jaringan listrik. Proses ini menggambarkan bagaimana energi yang tersimpan dalam biomassa dapat diubah menjadi energi listrik yang bermanfaat.

#### 5. Dampak Lingkungan

Energi biomassa memiliki dampak lingkungan yang positif terutama dalam hal pengurangan emisi karbon dan pengelolaan limbah organik [25]. Penggunaan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil. Proses pembakaran biomassa melepaskan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang setara dengan jumlah yang diserap oleh tanaman selama siklus hidupnya, sehingga netral secara karbon. Hal ini berbeda dengan bahan bakar fosil yang melepaskan karbon yang telah tersimpan selama jutaan tahun, meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer dan berkontribusi pada perubahan iklim.

Selain itu, biomassa membantu dalam pengelolaan limbah organik dengan mengubah limbah pertanian, kayu, dan sampah organik lainnya menjadi sumber energi yang berguna [20]. Dengan demikian, penggunaan biomassa tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tetapi juga mengurangi volume limbah yang harus ditangani oleh sistem pengelolaan sampah.

Grafik pengurangan emisi karbon dari energi biomassa menunjukkan perbedaan yang signifikan antara emisi karbon yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil dan energi biomassa. Bahan bakar fosil menghasilkan emisi karbon sekitar 1000 gram CO<sub>2</sub> per kWh, sementara energi biomassa hanya menghasilkan sekitar 200 gram CO<sub>2</sub> per kWh. Perbedaan ini menunjukkan bahwa energi biomassa dapat mengurangi emisi karbon hingga 80% dibandingkan dengan bahan bakar fosil.



**Gambar 1:** Perbandingan Emisi Karbon: Bahan Bakar Fosil vs. Energi Biomassa  
**Sumber:** [26]

Pengurangan emisi karbon ini memiliki dampak positif yang besar terhadap lingkungan, karena mengurangi jumlah CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke atmosfer, yang merupakan salah satu gas rumah kaca utama yang berkontribusi pada pemanasan global. Selain itu, penggunaan energi biomassa membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak terbarukan dan berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

Selain mengurangi emisi karbon, energi biomassa juga membantu dalam pengelolaan limbah organik. Limbah pertanian, kayu, dan sampah organik lainnya dapat diolah dan digunakan sebagai bahan baku untuk pembangkit listrik tenaga biomassa. Ini tidak hanya mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang, tetapi juga memberikan sumber energi yang berkelanjutan. Secara keseluruhan, penggunaan energi biomassa tidak hanya memberikan manfaat finansial melalui pengurangan biaya operasional dan insentif pemerintah, tetapi juga memberikan manfaat lingkungan yang signifikan melalui pengurangan emisi karbon dan pengelolaan limbah yang lebih efisien.

## 6. Tantangan dan Solusi

Tantangan dalam penerapan energi biomassa meliputi beberapa aspek seperti ketersediaan bahan baku, biaya investasi awal, dan teknologi yang dibutuhkan [27], [28]. Ketersediaan bahan baku biomassa bisa menjadi masalah jika pasokan tidak stabil atau jika ada persaingan penggunaan dengan sektor lain, seperti pertanian. Biaya investasi awal untuk mendirikan pembangkit listrik tenaga biomassa juga cukup tinggi, termasuk biaya pembelian peralatan, pembangunan infrastruktur, dan pengolahan bahan baku. Selain itu, teknologi yang digunakan dalam proses konversi biomassa menjadi energi memerlukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan.

Namun, berbagai solusi telah diidentifikasi untuk mengatasi tantangan ini. Untuk memastikan ketersediaan bahan baku, dapat dilakukan diversifikasi sumber biomassa, termasuk limbah pertanian, kayu, dan sampah organik. Pemerintah dan sektor swasta bisa bekerja sama untuk mengembangkan rantai pasokan yang stabil dan berkelanjutan. Dalam hal biaya investasi, insentif pemerintah seperti subsidi, potongan pajak, dan bantuan finansial dapat membantu meringankan beban biaya awal. Selain itu, pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dapat meningkatkan daya saing energi biomassa. Peningkatan efisiensi dapat dicapai melalui penelitian dan inovasi dalam teknologi pembakaran dan pengolahan biomassa.

Perbandingan antara energi biomassa dan bahan bakar fosil menunjukkan sejumlah perbedaan penting dalam hal biaya, emisi, dan keberlanjutan. Biaya investasi awal untuk energi biomassa memang relatif tinggi. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan akan infrastruktur khusus, peralatan pembakaran dan pengolahan bahan baku, serta teknologi canggih untuk mengoptimalkan efisiensi konversi energi. Di sisi lain, bahan bakar fosil cenderung memiliki biaya investasi awal yang lebih rendah karena infrastruktur dan teknologi yang dibutuhkan sudah matang dan tersedia secara luas. Namun, biaya operasional energi biomassa berada pada tingkat menengah dan cenderung lebih stabil, karena bahan baku biomassa dapat

diperoleh secara berkelanjutan dari limbah pertanian, kayu, dan sampah organik. Sebaliknya, biaya operasional bahan bakar fosil lebih tinggi dan rentan terhadap fluktuasi harga pasar bahan bakar.

**Tabel 2.** Perbandingan Biaya dan Manfaat Energi Biomassa terhadap Bahan Bakar Fosil

Kategori	Energi Biomassa	Bahan Bakar Fosil
Biaya Investasi Awal	Tinggi	Relatif Rendah
Biaya Operasional	Menengah	Tinggi
Emisi Karbon	Rendah	Tinggi
Ketersediaan Sumber	Terbarukan	Tidak Terbarukan
Insentif Pemerintah	Ya	Terbatas

Sumber: [29]

Dalam hal emisi karbon, energi biomassa unggul secara signifikan dengan emisi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Pembakaran biomassa hanya melepaskan karbon yang sebelumnya diserap oleh tanaman, sehingga dianggap netral karbon. Ini sangat kontras dengan bahan bakar fosil yang melepaskan karbon yang telah terperangkap selama jutaan tahun, sehingga meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer dan memperburuk perubahan iklim. Ketersediaan sumber energi juga menjadi faktor pembeda utama. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang dapat diperbarui terus menerus, sedangkan bahan bakar fosil bersifat tidak terbarukan dan akan habis seiring waktu. Selain itu, pemerintah cenderung memberikan lebih banyak insentif untuk proyek energi biomassa, seperti subsidi dan potongan pajak, guna mendorong penggunaan energi terbarukan dan mengurangi dampak lingkungan.

Meskipun terdapat tantangan dalam hal biaya investasi awal dan teknologi, solusi seperti diversifikasi sumber biomassa, insentif pemerintah, dan pengembangan teknologi efisien dapat mengatasi tantangan tersebut. Energi biomassa menawarkan solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil, memberikan manfaat jangka panjang bagi lingkungan dan ekonomi.

## 7. Kesimpulan dan Rekomendasi

Optimalisasi energi biomassa merupakan langkah strategis yang penting untuk mencapai ekonomi hijau di Indonesia. Energi biomassa memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon secara signifikan. Dengan dukungan finansial dan kebijakan yang tepat, pengembangan energi biomassa dapat didorong untuk memberikan manfaat finansial dan lingkungan yang signifikan. Kebijakan seperti subsidi, insentif pajak, dan bantuan infrastruktur dari pemerintah sangat membantu dalam mengurangi biaya awal dan meningkatkan investasi dalam teknologi ini. Selain itu, edukasi dan kampanye yang komprehensif tentang manfaat energi biomassa dapat meningkatkan kesadaran dan pemahaman masyarakat, sehingga mendorong adopsi teknologi ini lebih luas.

Analisis akhir menunjukkan bahwa dengan mengatasi kendala utama seperti kesadaran yang rendah, infrastruktur yang terbatas, dan biaya awal yang tinggi, serta memanfaatkan potensi yang ada, energi biomassa dapat menjadi solusi berkelanjutan yang efisien dan ramah lingkungan. Diversifikasi sumber biomassa, termasuk limbah pertanian, kayu, dan sampah organik, dapat memastikan ketersediaan bahan baku yang stabil. Pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan melalui penelitian dan inovasi juga dapat meningkatkan daya saing energi biomassa. Dengan demikian, energi biomassa tidak hanya dapat mendukung transisi ke ekonomi hijau tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap pengelolaan limbah dan penciptaan lapangan kerja di sektor energi terbarukan.

Melalui pendekatan yang tepat dan kolaborasi antara pemerintah, industri, dan masyarakat, energi biomassa dapat dioptimalkan untuk mendukung ekonomi hijau yang berkelanjutan di Indonesia. Implementasi strategi yang komprehensif, mulai dari edukasi hingga pengembangan teknologi dan kebijakan insentif, dapat memastikan bahwa energi biomassa dapat memberikan manfaat maksimal. Hal ini tentunya, dapat membawa Indonesia lebih dekat kepada visi ekonomi hijau yang berkelanjutan, di mana energi terbarukan memainkan peran kunci dalam menjaga keseimbangan lingkungan dan memenuhi kebutuhan energi nasional.

## 8. Daftar Pustaka

- [1] S. Yana *et al.*, "Dampak Ekspansi Biomassa sebagai Energi Terbarukan: Kasus Energi Terbarukan Indonesia," *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 4, 2022.
- [2] J. Juwita *et al.*, "Peluang Ekspansi Energi Terbarukan Biomassa dengan Analisis SWOT," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, 2023.

- [3] P. Mauliza *et al.*, “Kendala Pemenuhan Suplai dan Permintaan Energi Terbarukan Biomassa Indonesia,” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, 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] F. Fitriliana *et al.*, “Peluang Investasi dan Pengembangan Energi Biomassa: Perspektif Pemanfaatan dan Daya Saing Pengembangannya,” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, 2023.
- [6] N. Syamsuddin, S. Yana, N. Nelly, M. Maryam, F. Fitriliana, and A. Arsyad, “Permintaan Pasar untuk Produk dan Layanan Energi Terbarukan (Perspektif Daya Saing Energi Terbarukan Indonesia),” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [7] esdm.go.id, “Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia.” [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia>
- [8] Dewan Energi Nasional Republik Indonesia, “Bioenergi Bakal Jadi Primadona.” [Online]. Available: <https://den.go.id/berita/bioenergi-bakal-jadi-primadona>
- [9] Y. Liu and Y. Huang, “Assessing the interrelationship between fossil fuels resources and the biomass energy market for achieving a sustainable and green economy,” *Resour. Policy*, vol. 88, p. 104397, 2024.
- [10] Z. Liu, H. B. Saydaliev, J. Lan, S. Ali, and M. K. Anser, “Assessing the effectiveness of biomass energy in mitigating CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from Top-10 biomass energy consumer countries,” *Renew. Energy*, vol. 191, pp. 842–851, 2022.
- [11] S. O. Ramchuran, F. O’Brien, N. Dube, and V. Ramdas, “An overview of green processes and technologies, biobased chemicals and products for industrial applications,” *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, vol. 41, p. 100832, 2023.
- [12] P. Karka, F. Johnsson, and S. Papadokonstantakis, “Perspectives for greening European fossil-fuel infrastructures through use of biomass: the case of liquid biofuels based on lignocellulosic resources,” *Front. Energy Res.*, vol. 9, p. 636782, 2021.
- [13] M. Lehtveer and M. Fridahl, “Managing variable renewables with biomass in the European electricity system: Emission targets and investment preferences,” *Energy*, vol. 213, p. 118786, 2020.
- [14] 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>.
- [15] E. Mahidin, M. Zaki, M. Hamdani, R. M. Hisbullah, and H. Susanto, “Potential and utilization of biomass for heat energy in Indonesia: a review,” *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 2, no. 10, pp. 331–344, 2020.
- [16] E. Supriyanto, J. Sentanuhady, W. H. Hasan, A. D. Nugraha, and M. A. Muflikhun, “Policy and strategies of tariff incentives related to renewable energy: Comparison between Indonesia and other developing and developed countries,” *Sustainability*, vol. 14, no. 20, p. 13442, 2022.
- [17] M. G. Kibria, U. K. Paul, A. Hasan, M. S. Mohtasim, B. K. Das, and M. Mourshed, “Current prospects and challenges for biomass energy conversion in Bangladesh: Attaining sustainable development goals,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 183, p. 107139, 2024.
- [18] L. R. Amjith and B. Bavanish, “A review on biomass and wind as renewable energy for sustainable environment,” *Chemosphere*, vol. 293, p. 133579, 2022.
- [19] C. Nzeteu, F. Coelho, E. Davis, A. Trego, and V. O’Flaherty, “Current trends in biological valorization of waste-derived biomass: the critical role of VFAs to fuel a biorefinery,” *Fermentation*, vol. 8, no. 9, p. 445, 2022.
- [20] T. Kalak, “Potential use of industrial biomass waste as a sustainable energy source in the future,” *Energies*, vol. 16, no. 4, p. 1783, 2023.
- [21] S. Nikolina, “International renewable energy agency (IRENA).”
- [22] D. Liu *et al.*, “Exploring biomass power generation’s development under encouraged policies in China,” *J. Clean. Prod.*, vol. 258, p. 120786, 2020.
- [23] T. S. Novikova, “Investments in research infrastructure on the project level: Problems, methods and mechanisms,” *Eval. Program Plann.*, vol. 91, p. 102018, 2022.
- [24] N. N. Fauziyah, N. A. Sasongko, and S. Thamrin, “Analisis Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei,” *Ketahanan Energi*, vol. 6, no. 2, 2020.
- [25] M. A. Destek, S. A. Sarkodie, and E. F. Asamoah, “Does biomass energy drive environmental sustainability? An SDG perspective for top five biomass consuming countries,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 149, p. 106076, 2021.

- 
- [26] IEA – International Energy Agency - IEA, “Carbon Emissions Comparison: Fossil Fuels vs. Biomass Energy.” [Online]. Available: IEA – International Energy Agency - IEA
  - [27] L. J. R. Nunes, “Exploring the present and future of biomass recovery units: technological innovation, policy incentives and economic challenges,” *Biofuels*, vol. 15, no. 4, pp. 375–387, 2024.
  - [28] A. Tshikovhi and T. E. Motaung, “Technologies and Innovations for Biomass Energy Production,” *Sustainability*, vol. 15, no. 16, p. 12121, 2023.
  - [29] M. Yamanoshita, *IPCC special report on climate change and land*. JSTOR, 2019.