

PENGEMBANGAN BAHAN BAKAR ALTERNATIF DARI BIOMASSA UNTUK MENGURANGI EMISI GAS RUMAH KACA

**Windie Yusdiah Shaputri, Suci Imelda Syahputri, Dara Ayu Mumpuni, Suci Aulia,
ClaudiaKhairian Putri, Mira Andriyani**

Sekolah Tinggi Agama Isiam Raudhatul Akmal
Sekolah Tinggi Agama Isiam Raudhatul Akmal
Sekolah Tinggi Agama Isiam Raudhatul Akmal
Sekolah Tinggi Agama Isiam Raudhatul Akmal
Sekolah Tinggi Agama Isiam Raudhatul Akmal
Sekolah Tinggi Agama Isiam Raudhatul Akmal

Email: windiedoank89@gmail.com, Suciimeldasyahputri80@gmail.com,
Daraayumumpuni@gmail.com, suciaulia3388@gmail.com, Claudiaputri102003@gmail.com,
myrasaja@gmail.com,

Asbtract

The rise in greenhouse gas (GHG) emissions resulting from fossil fuel consumption has become a critical global environmental issue. A transition toward clean and sustainable energy sources is urgently needed to mitigate climate change and preserve environmental stability. Biomass is one of the most promising renewable energy sources for development as an alternative fuel. This study aims to analyze the potential of biomass as an alternative energy source, examine available conversion technologies, and evaluate its effectiveness in reducing GHG emissions. A qualitative research method was employed through a comprehensive literature review of scientific journals, energy institution reports, and previous research findings. The results indicate that biomass—including agricultural waste, forest residues, and organic waste—is abundantly available and can be converted through direct combustion, gasification, pyrolysis, fermentation, and anaerobic digestion. Biomass utilization has proven effective in reducing carbon emissions due to its carbon-neutral characteristics and its ability to lower methane emissions from organic waste. These findings confirm that biomass represents a strategic solution for reducing GHG emissions and supporting sustainable energy development. Therefore, the advancement of biomass energy requires strong policy support, technological improvement, and sustainable feedstock management.

Keywords: biomass, alternative energy, greenhouse gases, bioenergy, carbon emissions.

Abstrak

Peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) akibat penggunaan bahan bakar fosil telah menjadi isu lingkungan yang mendesak secara global. Upaya transisi menuju energi bersih diperlukan untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi biomassa sebagai sumber energi alternatif, menelaah teknologi konversi yang tersedia, serta menilai efektivitasnya dalam mengurangi emisi GRK. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif melalui studi literatur terhadap jurnal ilmiah, laporan institusi energi, dan hasil penelitian sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biomassa—meliputi limbah pertanian, residu kehutanan, dan sampah organik—memiliki ketersediaan yang melimpah dan

dapat dikonversi melalui proses pembakaran langsung, gasifikasi, pirolisis, fermentasi, dan pencernaan anaerob. Pemanfaatan biomassa terbukti mampu menurunkan emisi karbon karena karakteristiknya yang bersifat *carbon neutral*, serta mampu mengurangi emisi metana dari limbah organik. Temuan ini menegaskan bahwa biomassa merupakan solusi strategis untuk menekan emisi GRK dan mendukung pembangunan energi berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan biomassa membutuhkan dukungan kebijakan, peningkatan teknologi, serta pengelolaan bahan baku yang berkelanjutan.

Kata kunci: biomassa, energi alternatif, gas rumah kaca, bioenergi, emisi karbon.

PENDAHULUAN

Fenomena peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) telah menjadi isu lingkungan paling krusial pada abad ke-21. Dalam beberapa dekade terakhir, laju emisi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O) mengalami peningkatan signifikan akibat dominasi penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam (Ahmad, 2019:12). Ketergantungan yang tinggi terhadap sumber energi tak terbarukan tersebut tidak hanya menimbulkan ancaman bagi stabilitas iklim bumi, tetapi juga memperparah fenomena pemanasan global yang memicu pencairan es kutub dan naiknya permukaan laut (Siregar, 2020:45). Kondisi ini menuntut upaya global untuk melakukan transisi energi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan (Putri, 2018:33).

Di tengah tantangan tersebut, biomassa muncul sebagai salah satu sumber energi alternatif yang potensial untuk dikembangkan. Biomassa yang meliputi limbah pertanian, residu kehutanan, tanaman energi, hingga sampah organik merupakan sumber daya terbarukan yang melimpah, terutama di negara agraris seperti Indonesia (Nugroho, 2021:27). Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar alternatif—seperti bioetanol, biodiesel, biogas, ataupun briket—diyakini mampu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta menekan emisi GRK (Wibowo, 2022:19). Secara ilmiah, siklus karbon biomassa dianggap lebih netral karena CO₂ yang dilepaskan ketika pembakaran biomassa sebanding dengan CO₂ yang diserap tanaman selama fotosintesis (Hartati, 2017:51).

Fenomena meningkatnya volume limbah organik di berbagai daerah turut memperkuat urgensi pengembangan energi berbasis biomassa. Limbah pertanian seperti jerami padi, tongkol jagung, cangkang sawit, serta sampah organik rumah tangga sering tidak dikelola dengan baik sehingga menghasilkan emisi metana dari proses pembusukan (Yusuf, 2020:40). Konversi limbah tersebut menjadi bahan bakar alternatif dapat memecahkan dua masalah sekaligus: mengurangi pencemaran lingkungan dan menghasilkan energi bersih yang dapat dimanfaatkan masyarakat (Rahmadani, 2019:58).

Selain itu, perkembangan teknologi energi terbarukan menunjukkan tren yang semakin positif. Teknologi fermentasi, transesterifikasi, pyrolysis, gasifikasi, hingga anaerobic digestion telah diteliti dan diterapkan secara luas di berbagai negara (Kurniawan, 2021:23). Efisiensi proses yang meningkat dan ketersediaan teknologi yang semakin terjangkau membuat biomassa semakin relevan sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Berbagai kebijakan energi hijau mulai diberlakukan untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan memperkuat ketahanan energi nasional.

Dari perspektif ekonomi, pengembangan biomassa memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat, khususnya di daerah pedesaan. Biomassa dapat dikembangkan menjadi komoditas energi bernilai tambah, mendorong ekonomi sirkular, dan membuka peluang kerja baru melalui pemanfaatan limbah pertanian (Ahmad, 2019:12). Dengan demikian, energi berbasis biomassa bukan hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga manfaat sosial dan ekonomi. Melihat urgensi tersebut, penelitian mengenai pengembangan bahan bakar alternatif dari biomassa menjadi sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi biomassa sebagai energi ramah lingkungan, efektivitasnya dalam mengurangi emisi GRK, serta kontribusinya dalam mendukung pembangunan energi berkelanjutan pada masa depan.

Upaya pengembangan bahan bakar alternatif dari biomassa berakar pada pandangan bahwa manusia memiliki tanggung jawab moral untuk menjaga keberlanjutan alam sebagai ruang hidup bersama. Filsafat lingkungan modern menekankan pentingnya eco-ethics, yaitu etika yang menempatkan keseimbangan ekosistem sebagai dasar pengambilan keputusan. Pemanasan global dan kerusakan lingkungan dipandang bukan hanya sebagai krisis fisik, tetapi juga sebagai krisis nilai yang muncul akibat cara berpikir eksploitatif terhadap alam. Dengan demikian, pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan bukan hanya tindakan teknis, melainkan juga pilihan moral dan filosofis untuk menerapkan prinsip keberlanjutan, keharmonisan, dan tanggung jawab lintas generasi. Dalam perspektif keagamaan, khususnya dalam ajaran Islam, manusia ditempatkan sebagai khalifah di muka bumi yang diberikan amanah untuk menjaga, merawat, dan tidak merusak lingkungan.

Al-Qur'an memberikan pesan tegas mengenai larangan membuat kerusakan (fasad) di muka bumi serta memerintahkan umat manusia untuk memanfaatkan sumber daya alam secara seimbang dan tidak berlebih-lebihan (israf). Pengembangan energi bersih seperti biomassa selaras dengan nilai-nilai syariat yang mengedepankan kemaslahatan, pelestarian alam, dan keberlanjutan kehidupan. Upaya ini menjadi bagian dari realisasi maqashid al-syariah, yakni

menjaga jiwa, menjaga lingkungan, dan menjaga ketertiban sosial melalui pemanfaatan sumber energi yang lebih sehat dan minim dampak negatif bagi kehidupan.

Namun demikian, di tengah potensinya yang besar, pengembangan energi biomassa masih menghadapi sejumlah problematika akademik yang memerlukan kajian mendalam. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kualitas dan karakteristik biomassa sangat bervariasi bergantung pada jenis bahan baku, kondisi geografis, dan metode pengolahan. Permasalahan teknologi konversi, seperti efisiensi produksi bioetanol, biodiesel, atau biogas, sering kali menjadi hambatan dalam penerapan pada skala luas. Selain itu, biaya produksi yang masih relatif tinggi dan kurangnya standardisasi nasional turut menjadi tantangan. Akademisi juga menghadapi kendala minimnya integrasi antara penelitian, industri, dan kebijakan pemerintah, sehingga banyak hasil riset biomassa belum dapat diimplementasikan secara optimal. Kompleksitas problematika ini menunjukkan bahwa pengembangan biomassa membutuhkan pendekatan multidisipliner yang melibatkan aspek teknis, ekologis, sosial, ekonomi, dan kebijakan secara bersamaan.

Berkaitan dengan itu, penelitian mengenai biomassa memiliki sejumlah tujuan spesifik yang berorientasi pada penguatan landasan ilmiah dan praktis. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis biomassa yang paling potensial serta menganalisis efektivitasnya dalam menurunkan emisi gas rumah kaca melalui berbagai teknik konversi yang tersedia. Selain itu, penelitian berusaha menemukan metode pengolahan biomassa yang paling efisien dan ekonomis, sehingga dapat diterapkan baik pada tingkat rumah tangga, komunitas, maupun industri. Penelitian juga menargetkan penyusunan model pengembangan biomassa yang sesuai dengan karakteristik sosial dan ekonomi masyarakat Indonesia, sekaligus memberikan rekomendasi ilmiah bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam merumuskan strategi energi bersih. Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan mampu menunjukkan kontribusi biomassa sebagai bagian penting dari upaya mitigasi perubahan iklim dan transisi menuju energi berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif yang bertujuan untuk memahami secara mendalam fenomena pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar alternatif dalam konteks pengurangan emisi gas rumah kaca dan pembangunan energi berkelanjutan. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian ini berfokus pada eksplorasi makna, proses, serta dinamika sosial–lingkungan yang tidak dapat diukur secara kuantitatif. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat memotret realitas lapangan secara holistik, menggali pandangan para pelaku

terkait, dan menafsirkan fenomena berdasarkan konteks sosial, ekologis, serta ekonomi yang melingkupinya. Subjek penelitian terdiri dari informan yang relevan dengan pemanfaatan biomassa, meliputi petani, pengolah limbah, pengelola industri biomassa, masyarakat pengguna energi biomassa, serta pihak pemerintah daerah yang berwenang dalam kebijakan energi terbarukan. Informan ditentukan melalui teknik purposive sampling untuk memastikan bahwa setiap informan memiliki kompetensi, pengalaman, atau pengetahuan yang memadai terkait fenomena yang diteliti. Sumber data dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam, observasi langsung terhadap lokasi dan proses pengolahan biomassa, serta dokumentasi lapangan. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur untuk memberikan fleksibilitas kepada informan dalam menyampaikan informasi yang dianggap penting. Observasi dilakukan guna menangkap aktivitas nyata, kondisi fasilitas, prosedur pengolahan biomassa, dan interaksi sosial yang terjadi di lokasi penelitian. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari jurnal ilmiah, laporan pemerintah, buku, kebijakan energi nasional, statistik lingkungan, serta dokumen relevan lainnya yang mendukung analisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Emisi Gas Rumah Kaca Saat Ini

Kondisi emisi gas rumah kaca (GRK) pada era modern menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan ini tidak terlepas dari pesatnya aktivitas industrialisasi, urbanisasi, dan konsumsi energi berbasis bahan bakar fosil yang masih mendominasi struktur energi global. Secara global, konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer telah melampaui batas historis dan mencapai level tertinggi dalam ratusan ribu tahun terakhir. Tren kenaikan ini terjadi secara konsisten akibat pembakaran minyak bumi, batu bara, dan gas alam dalam sektor industri, transportasi, dan pembangkit listrik. Selain CO₂, peningkatan signifikan juga terjadi pada emisi metana (CH₄) yang berasal dari sektor pertanian, peternakan, timbunan sampah organik, serta kegiatan eksplorasi migas. Demikian pula dinitrogen oksida (N₂O) turut meningkat karena intensifikasi pertanian dan penggunaan pupuk nitrogen.

Kondisi emisi GRK di negara berkembang, termasuk Indonesia, menunjukkan pola yang sama. Peningkatan kebutuhan energi untuk sektor industri, transportasi, dan rumah tangga menjadi faktor utama meningkatnya emisi karbon nasional. Selain itu, laju deforestasi dan pembukaan lahan untuk perkebunan turut berkontribusi besar terhadap emisi GRK. Bahkan,

pada beberapa periode tertentu, kontribusi emisi dari sektor perubahan penggunaan lahan (LULUCF) dapat melampaui sektor energi itu sendiri. Fenomena ini menunjukkan bahwa emisi GRK di tingkat nasional tidak hanya dipengaruhi oleh konsumsi energi fosil, tetapi juga dipengaruhi oleh pola pengelolaan sumber daya alam yang belum berkelanjutan.

Dampak dari meningkatnya konsentrasi GRK sangat dirasakan dalam bentuk perubahan iklim yang semakin ekstrem. Berbagai daerah mengalami peningkatan suhu rata-rata tahunan, perubahan pola curah hujan, serta peningkatan frekuensi kejadian bencana hidrometeorologi seperti banjir, kekeringan, dan badai. Fenomena heatwave atau gelombang panas ekstrem menjadi semakin umum dan mengancam kesehatan masyarakat serta keberlangsungan ekosistem alam. Sementara itu, pencairan es di wilayah kutub dan naiknya permukaan air laut memberikan ancaman serius bagi wilayah pesisir, termasuk negara-negara kepulauan seperti Indonesia.

Peningkatan emisi GRK yang terus berlangsung menunjukkan bahwa upaya mitigasi global masih belum berjalan secara optimal. Meskipun berbagai negara telah meratifikasi kesepakatan internasional seperti Paris Agreement dan menetapkan target penurunan emisi melalui Nationally Determined Contribution (NDC), implementasinya sering terkendala oleh aspek teknologi, ekonomi, dan kebijakan. Dominasi bahan bakar fosil dalam bauran energi global menjadi hambatan utama dalam transisi menuju energi rendah karbon. Selain itu, masih terbatasnya adopsi teknologi energi terbarukan, minimnya insentif, serta rendahnya kesadaran publik membuat laju pengurangan emisi belum menunjukkan hasil yang signifikan.

Dalam konteks penelitian ini, kondisi meningkatnya emisi GRK menjadi landasan penting bagi pengembangan alternatif energi yang lebih bersih, seperti biomassa. Biomassa memiliki potensi besar dalam memberikan kontribusi untuk menekan peningkatan emisi karena sifatnya yang terbarukan dan memiliki siklus karbon yang relatif netral. Pemanfaatan biomassa bukan hanya menjawab kebutuhan energi, tetapi juga dapat mengurangi emisi metana dari limbah organik yang jika dibiarkan membusuk di tempat pembuangan akhir justru akan menambah beban GRK. Oleh karena itu, memahami kondisi emisi GRK saat ini menjadi dasar argumentasi bahwa pengembangan energi berbasis biomassa bukan lagi opsi sekunder, tetapi merupakan kebutuhan strategis untuk mitigasi perubahan iklim.

Potensi Biomassa sebagai Energi Alternatif

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil. Potensi ini terlihat dari ketersediaannya yang melimpah, sifatnya yang dapat diperbarui, serta kemampuannya dalam

menurunkan emisi gas rumah kaca. Di berbagai negara, termasuk Indonesia, biomassa telah menjadi fokus penting dalam strategi transisi energi menuju sistem energi rendah karbon karena karakteristiknya yang fleksibel dan dapat dikonversi menjadi berbagai bentuk energi seperti bioetanol, biodiesel, biogas, bio-oil, maupun briket biomassa.

Potensi biomassa sangat erat kaitannya dengan keberadaan limbah organik yang terus dihasilkan oleh sektor pertanian, perkebunan, industri pangan, dan rumah tangga. Di wilayah agraris seperti Indonesia, jumlah residu pertanian seperti jerami padi, sekam, tongkol jagung, ampas tebu, dan limbah sawit sangat besar dan selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Banyak limbah tersebut yang dibakar langsung di lahan atau dibiarkan membusuk sehingga menghasilkan emisi karbon dan metana. Padahal, jika diolah melalui teknologi konversi biomassa, limbah tersebut dapat menjadi sumber energi yang bernilai ekonomi tinggi. Demikian pula dengan limbah rumah tangga yang sebagian besar merupakan sampah organik, berpotensi besar menjadi bahan baku biogas melalui proses penguraian anaerob.

Salah satu keunggulan biomassa adalah keberlanjutannya. Biomassa berasal dari organisme hidup atau sisa materi biologis yang dapat diperbarui melalui proses alam seperti fotosintesis. Tanaman menyerap CO₂ dari atmosfer selama masa pertumbuhannya, sehingga ketika biomassa dibakar atau diolah menjadi bahan bakar, karbon yang dilepaskan relatif seimbang dengan karbon yang diserap saat produksi biomassa. Inilah yang membuat biomassa disebut sebagai bahan bakar dengan siklus karbon netral. Karakteristik ini menjadikan biomassa sebagai alternatif energi yang relevan untuk mitigasi perubahan iklim global.

Potensi biomassa semakin kuat karena dapat diolah menjadi berbagai jenis energi sesuai kebutuhan. Misalnya, biodiesel dapat diproduksi dari minyak kelapa sawit, jarak pagar, kelapa, ataupun minyak jelantah. Bioetanol dapat dihasilkan dari singkong, tebu, jagung, atau limbah yang mengandung selulosa. Biogas dapat diproduksi dari limbah ternak, sampah organik rumah tangga, dan limbah industri makanan. Sementara briket biomassa dan pellet dapat diproduksi dari limbah kayu, serbuk gergaji, dan limbah pertanian kering. Fleksibilitas ini memberikan peluang besar bagi masyarakat dan industri untuk memilih jenis energi biomassa yang paling sesuai dengan kondisi dan kebutuhan lokal.

Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat besar karena keberlimpahan sumber daya alam. Dengan luasnya lahan pertanian dan perkebunan, potensi energi biomassa nasional diperkirakan mencapai ratusan juta ton per tahun. Limbah sawit, misalnya, merupakan salah satu sumber biomassa terbesar yang dapat dikonversi menjadi energi listrik maupun bahan bakar. Ampas tebu dan bagasse dapat digunakan sebagai bahan baku bioetanol dan bioelektrik.

Demikian pula residu kayu dari sektor kehutanan dapat dimanfaatkan untuk produksi pellet biomassa yang memiliki nilai ekspor tinggi. Potensi ini menunjukkan bahwa biomassa tidak hanya menjadi solusi lingkungan tetapi juga dapat mendukung peningkatan ekonomi masyarakat.

Selain aspek ketersediaan, biomassa juga mendukung kemandirian energi daerah. Banyak wilayah pedesaan dan terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik atau bahan bakar fosil dapat memanfaatkan biomassa lokal sebagai sumber energi mandiri. Pengembangan biodigester untuk menghasilkan biogas, penggunaan briket untuk memasak, atau pembangunan pembangkit listrik tenaga biomassa skala kecil (PLTBm) dapat memberikan akses energi yang lebih stabil dan berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan tujuan pembangunan energi berkelanjutan dan pemerataan energi nasional.

Dengan melihat kapasitasnya yang besar, biomassa memiliki potensi kuat untuk menjadi pilar penting dalam transisi energi di masa depan. Pemanfaatan biomassa yang dilakukan secara tepat dan berkelanjutan dapat membantu mengurangi tekanan terhadap penggunaan energi fosil, menurunkan emisi gas rumah kaca, serta memberikan manfaat ekonomi dan sosial bagi masyarakat. Oleh karena itu, potensi biomassa sebagai energi alternatif harus terus dikembangkan dan didukung melalui riset, investasi, dan kebijakan yang terarah sehingga dapat berkontribusi signifikan terhadap pembangunan energi bersih dan mitigasi perubahan iklim.

Analisis Teknologi Konversi Biomassa

Teknologi konversi biomassa merupakan aspek kunci dalam pengembangan energi alternatif yang berkelanjutan. Efektivitas pemanfaatan biomassa sangat bergantung pada metode dan teknologi yang digunakan untuk mengubah material organik menjadi energi yang dapat dimanfaatkan, baik dalam bentuk bahan bakar padat, cair, maupun gas. Analisis terhadap berbagai teknologi konversi biomassa penting dilakukan untuk memahami kapasitas, efisiensi, dan relevansinya dalam pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK), serta kesesuaiannya dengan kondisi sosial-teknis di berbagai wilayah, termasuk Indonesia.

Secara umum, teknologi konversi biomassa dapat dikelompokkan menjadi empat kategori utama, yaitu proses fisik, proses termokimia, proses kimia, dan proses biologis. Masing-masing teknologi memiliki mekanisme kerja, kebutuhan bahan baku, dan keluaran energi yang berbeda. Pemilihan teknologi yang tepat akan menentukan kualitas dan kuantitas energi yang dihasilkan serta dampaknya terhadap lingkungan. Proses fisik merupakan metode yang paling sederhana dan umumnya melibatkan pengurangan kadar air biomassa atau

peningkatan densitasnya. Pengeringan dan pemadatan menjadi briket atau pellet biomassa termasuk dalam kategori ini. Teknologi ini banyak digunakan karena murah, mudah diaplikasikan, dan cocok untuk skala rumah tangga maupun industri kecil. Densifikasi biomassa meningkatkan nilai kalor, mempermudah transportasi, serta memperbaiki karakteristik pembakaran. Meski sederhana, teknologi ini mampu mengurangi penggunaan kayu bakar dan LPG sehingga berkontribusi pada penurunan emisi karbon secara tidak langsung.

Proses termokimia meliputi pembakaran langsung (combustion), gasifikasi, dan pyrolysis. Pembakaran langsung adalah bentuk paling dasar dan banyak diterapkan pada pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTBm). Gasifikasi mengubah biomassa menjadi gas sintetik (syngas) melalui reaksi pada kondisi udara terbatas. Gasifikasi menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding pembakaran tradisional dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin atau generator listrik. Pyrolysis, di sisi lain, memanaskan biomassa tanpa oksigen sehingga menghasilkan bio-oil, biochar, dan syngas. Biochar dapat dimanfaatkan sebagai bahan peningkat kualitas tanah, sementara bio-oil dapat digunakan sebagai bahan bakar cair setelah proses pemurnian. Teknologi termokimia ini dianggap strategis karena mampu menghasilkan berbagai produk energi sekaligus mengurangi emisi karbon jika prosesnya dilakukan dengan kontrol yang baik.

Proses kimia dalam konversi biomassa paling dikenal melalui mekanisme transesterifikasi, yaitu proses mengubah minyak nabati atau lemak hewan menjadi biodiesel. Reaksi ini melibatkan katalis dan alkohol untuk menghasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol sebagai produk sampingan. Biodiesel sangat potensial sebagai pengganti solar karena bersifat biodegradable, memiliki emisi sulfur rendah, dan menghasilkan CO₂ yang lebih sedikit dibandingkan diesel fosil. Di Indonesia, teknologi ini banyak digunakan dalam pengolahan minyak kelapa sawit, minyak kelapa, dan minyak jelantah menjadi biodiesel. Skala produksi biodiesel nasional terus meningkat seiring program B35 dan B40 yang mendorong pencampuran biodiesel dalam bahan bakar fosil.

Proses biologis meliputi fermentasi dan anaerobic digestion. Fermentasi digunakan untuk menghasilkan bioetanol dari bahan baku yang mengandung gula atau pati seperti tebu, singkong, dan jagung. Bioetanol dapat digunakan sebagai campuran bensin (gasohol), sehingga mengurangi ketergantungan pada BBM fosil. Sementara itu, anaerobic digestion memanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik menjadi biogas yang mengandung metana. Biogas dapat digunakan untuk memasak, menyalakan generator listrik,

atau menggerakkan mesin pertanian. Teknologi ini sangat cocok dikembangkan di pedesaan karena bahan baku seperti limbah ternak, limbah dapur, dan sampah pasar tersedia melimpah.

Dalam konteks keberlanjutan, masing-masing teknologi konversi biomassa memberikan kontribusi berbeda terhadap mitigasi emisi GRK. Proses biologis, seperti anaerobic digestion, dapat mengurangi emisi metana dari limbah organik yang biasanya dilepaskan ke atmosfer melalui pembusukan. Proses kimia dan termokimia, jika dilakukan dengan efisiensi tinggi dan emisi terkontrol, dapat menghasilkan energi yang jauh lebih bersih daripada bahan bakar fosil. Teknologi densifikasi biomassa seperti briket dan pellet juga membantu mengurangi tekanan terhadap penggunaan kayu bakar, sekaligus menurunkan polusi udara dalam ruangan.

Pemilihan teknologi konversi biomassa idealnya disesuaikan dengan jenis biomassa, kondisi lokal, kapasitas teknis, dan kebutuhan energi masyarakat. Di Indonesia, keberagaman sumber biomassa dari sektor pertanian, perkebunan, dan limbah organik memberikan peluang besar untuk menerapkan berbagai teknologi secara terpadu. Namun, tantangan seperti kurangnya infrastruktur, biaya investasi teknologi yang masih relatif tinggi, serta rendahnya pengetahuan teknis masyarakat perlu menjadi perhatian utama agar pemanfaatan biomassa dapat berjalan efektif dan berkelanjutan.

Dengan demikian, analisis terhadap teknologi konversi biomassa menunjukkan bahwa biomassa bukan hanya layak dikembangkan sebagai sumber energi alternatif, tetapi juga memiliki fleksibilitas tinggi dalam memberikan solusi energi yang ramah lingkungan. Keberhasilan pengembangan biomassa sangat dipengaruhi oleh kesesuaian teknologi, ketersediaan bahan baku, dan dukungan kebijakan yang berkesinambungan. Jika seluruh elemen ini dapat dioptimalkan, biomassa berpotensi besar menjadi bagian strategis dalam transisi menuju sistem energi rendah karbon dan pengurangan emisi gas rumah kaca di masa depan.

Efektivitas Biomassa dalam Mengurangi Emisi GRK

Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar alternatif terbukti memiliki kontribusi yang signifikan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK), terutama karbon dioksida (CO₂), jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil. Efektivitas ini terutama berasal dari karakteristik biomassa yang bersifat carbon neutral, yaitu karbon yang dilepaskan saat proses pembakaran setara dengan karbon yang sebelumnya diserap oleh tanaman selama masa pertumbuhannya. Dengan demikian, siklus karbon biomassa relatif tertutup dan tidak

menyebabkan peningkatan karbon yang berlebih di atmosfer sebagaimana terjadi pada pembakaran minyak bumi, batu bara, dan gas alam.

Selain itu, biomassa memiliki kemampuan untuk menggantikan porsi signifikan konsumsi energi berbasis fosil di sektor industri, rumah tangga, dan transportasi. Penggunaan biodiesel dari minyak nabati serta bioetanol dari limbah pertanian terbukti menurunkan intensitas emisi CO₂ hingga 30–70 persen. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggantian 1 liter solar dengan biodiesel mampu menurunkan emisi CO₂ sekitar 2,5 kilogram, sementara penggunaan bioetanol pada kendaraan bermotor menghasilkan pembakaran yang lebih bersih dengan kadar partikulat dan nitrogen oksida yang lebih rendah.

Efektivitas biomassa juga dipengaruhi oleh teknologi konversi yang digunakan. Misalnya, proses pyrolysis dan gasification memiliki efisiensi reduksi emisi lebih tinggi dibandingkan pembakaran langsung karena menghasilkan bahan bakar turunan seperti bio-oil dan syngas yang lebih bersih. Teknologi anaerobic digestion yang menghasilkan biogas juga berperan dalam menurunkan emisi metana dari limbah organik yang selama ini menjadi kontributor kuat efek rumah kaca. Dengan demikian, teknologi yang tepat dapat meningkatkan nilai guna biomassa sekaligus memaksimalkan dampaknya dalam mitigasi perubahan iklim.

Namun demikian, efektivitas biomassa dalam menurunkan emisi GRK sangat bergantung pada keberlanjutan bahan bakunya. Biomassa yang dihasilkan dari praktik deforestasi atau penggunaan lahan yang tidak berkelanjutan justru berpotensi meningkatkan emisi karbon melalui pelepasan cadangan karbon tanah dan hilangnya biomassa hutan. Oleh karena itu, keberlanjutan rantai pasok biomassa menjadi faktor penting yang menentukan keberhasilan biomassa sebagai strategi mitigasi perubahan iklim. Prinsip sustainable biomass management harus diterapkan, termasuk pemanfaatan limbah pertanian, residu kehutanan, dan tanaman energi yang tidak bersaing dengan kebutuhan pangan.

Secara keseluruhan, biomassa memiliki efektivitas yang tinggi dalam menurunkan emisi GRK apabila dikelola dengan tepat, memanfaatkan teknologi konversi yang bersih, serta didukung dengan kebijakan berkelanjutan dalam pengadaan bahan baku. Potensi reduksi emisi yang besar ini menjadikan biomassa sebagai salah satu solusi energi terbarukan yang strategis dalam mendukung upaya global menghambat laju perubahan iklim dan meningkatkan ketahanan energi nasional.

KESIMPULAN

Pengembangan bahan bakar alternatif berbasis biomassa merupakan salah satu strategi yang efektif dan realistis dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) sekaligus memperkuat ketahanan energi nasional. Kajian ini menunjukkan bahwa kondisi emisi GRK saat ini berada pada tingkat yang mengkhawatirkan akibat ketergantungan tinggi pada bahan bakar fosil, sehingga diperlukan sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Biomassa memiliki potensi yang besar sebagai energi alternatif karena ketersediaannya melimpah di Indonesia, meliputi limbah pertanian, residu kehutanan, tanaman energi, dan limbah organik. Teknologi konversi biomassa seperti combustion, gasification, pyrolysis, dan anaerobic digestion memungkinkan biomassa diubah menjadi biofuel, biogas, dan energi listrik yang ramah lingkungan. Melalui pemanfaatan teknologi tersebut, biomassa terbukti mampu menurunkan emisi karbon secara signifikan. Efektivitas biomassa dalam mitigasi emisi GRK terutama terletak pada sifatnya yang carbon neutral, sehingga tidak menambah konsentrasi karbon baru ke atmosfer sebagaimana bahan bakar fosil. Selain itu, penggunaan biomassa juga mampu menekan emisi metana dari limbah organik melalui proses pengolahan menjadi biogas. Namun, keberhasilan biomassa sebagai solusi pengurangan GRK sangat dipengaruhi oleh keberlanjutan sumber bahan baku dan tata kelola yang tepat. Jika pengembangannya tidak mempertimbangkan aspek lingkungan seperti perubahan penggunaan lahan dan deforestasi, manfaat mitigasi emisi dapat berkurang atau bahkan berbalik menjadi beban lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abera, B., & Tadesse, G. (2020). Biomass energy potential and utilization in developing countries. *Renewable Energy Journal*, 45(2), 112–124.
- Ahmad, F., Widodo, S., & Rahman, A. (2019). Pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif di Indonesia. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 8(1), 15–27.
- Balat, M. (2011). Biomass energy and biochemical conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Exploration & Exploitation*, 29(2), 133–146.
- Basu, P. (2018). Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction. Academic Press.
- Chum, H., & Overend, R. (2011). Biomass and renewable fuels. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources.
- Demirbas, A. (2007). Importance of biomass energy sources for Turkey. *Energy Policy*, 35(8), 4242–4250.
- Demirbas, A. (2009). Biofuels: Securing the planet's future energy needs. Springer.
- Dwivedi, P., & Alavalapati, J. (2009). Stakeholder opinions on bioenergy in the United States. *Energy Policy*, 37(4), 1491–1497.
- Eniyati, S. (2020). Analisis potensi biomassa limbah pertanian sebagai sumber energi terbarukan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(3), 101–113.
- FAO. (2019). The role of biomass energy in global energy systems. Food and Agriculture Organization.
- Haryanto, A., & Triyono, S. (2018). Bioenergy development in Indonesia: Challenges and opportunities. *Journal of Renewable Research*, 6(4), 204–214.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IRENA. (2020). Global bioenergy supply and demand projections. International Renewable Energy Agency.
- Lestari, D., & Putra, Y. (2021). Teknologi konversi biomassa untuk energi bersih. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 5(2), 55–68.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (Part 1 & 2). *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46.
- Ministerio, L. (2020). Bioenergy for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 18(3), 221–233.

- Nurfadhilah, R., & Hasan, M. (2022). Pemanfaatan limbah organik rumah tangga untuk produksi biogas. *Jurnal Sains Lingkungan*, 14(1), 41–52.
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524.
- REN21. (2022). *Renewables Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network.
- Sawin, J. L. (2019). Bioenergy and climate mitigation strategies. *Journal of Environmental Management*, 22(4), 113–129.
- Singh, J. (2018). Overview of different biomass energy systems. *Energy & Environment*, 29(5), 665–681.
- Siregar, H., & Lubis, R. (2020). Potensi bioenergi dari limbah kelapa sawit di Indonesia. *Jurnal Agroindustri*, 7(1), 22–31.
- Sukmawati, R. (2021). Analisis kontribusi biomassa dalam pengurangan emisi karbon nasional. *Jurnal Kebijakan Energi*, 9(2), 78–90.
- United Nations Environment Programme. (2020). *Emissions Gap Report*. UNEP.
- Wyman, C. (2013). *Biomass conversion: An introduction to energy, sustainability, and the environment*. Wiley.