

Kajian Pemanfaatan Biofuel, Solar Energy, Wind Energy, Marine Energy, dan Geothermal Energy dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan

Bonaraja Purba-1^{a*}, Gresia Apriyani-2^a, Siti Sarah Tumangger-3^a,
Sri Ramadhani Siregar-4^a

^aProdi Pendidikan Ekonomi, Universitas Negeri Medan
Jalan Williem Iskandar, Pasar V, Medan Estate, Kota Medan, Sumatera Utara 20221

*Email : bonarajapurba@unimed.ac.id, gresiaapriyani@gmail.com,
sitisarah0975@gmail.com, sriramadhanisrg131006@gmail.com

Abstrak

Energi terbarukan merupakan solusi strategis untuk mengatasi krisis energi dan dampak lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang besar, meliputi biofuel, energi surya, energi angin, energi laut, dan energi panas bumi, yang berperan penting dalam mendukung ketahanan energi dan pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi, pemanfaatan, manfaat, serta tantangan pengembangan berbagai sumber energi terbarukan di Indonesia. Penelitian menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi pustaka melalui analisis berbagai buku, jurnal ilmiah, artikel akademik, dan data resmi yang berkaitan dengan energi terbarukan. Hasil kajian menunjukkan bahwa biofuel berpotensi mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, energi surya dapat dimanfaatkan melalui teknologi fotovoltaiik, energi angin memiliki prospek untuk pembangkit listrik di wilayah tertentu, energi laut berpotensi dikembangkan di kawasan kepulauan, sedangkan energi panas bumi mampu menyediakan pasokan listrik yang stabil. Pengembangan energi terbarukan memberikan manfaat dalam mengurangi emisi karbon, meningkatkan ketahanan energi, dan mendorong pembangunan ekonomi berkelanjutan. Namun, implementasinya masih menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan teknologi, tingginya biaya investasi, dan belum memadainya infrastruktur pendukung. Oleh karena itu, diperlukan sinergi antara pemerintah, dunia usaha, akademisi, dan masyarakat untuk mempercepat transisi menuju sistem energi yang berkelanjutan.

Kata Kunci : *Biofuel, Energi Terbarukan, Pembangunan Berkelanjutan*

1. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu faktor penting yang menentukan keberlangsungan pembangunan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat [1]. Hampir seluruh aktivitas manusia, mulai dari sektor industri, transportasi, pertanian, pendidikan, hingga rumah tangga sangat bergantung pada ketersediaan energi. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dunia,

peningkatan aktivitas ekonomi, serta perkembangan teknologi yang semakin pesat, kebutuhan energi terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Kondisi tersebut menyebabkan konsumsi energi global meningkat secara signifikan dan menimbulkan tantangan besar dalam penyediaan energi yang berkelanjutan.

Selama beberapa dekade terakhir, kebutuhan energi dunia masih didominasi

oleh penggunaan energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Energi fosil dipilih karena memiliki teknologi pemanfaatan yang relatif matang dan mampu menyediakan energi dalam jumlah besar. Namun demikian, penggunaan energi fosil secara terus-menerus menimbulkan berbagai permasalahan, antara lain menipisnya cadangan energi, meningkatnya ketergantungan terhadap impor energi, fluktuasi harga energi global, serta meningkatnya emisi gas rumah kaca yang menjadi penyebab utama perubahan iklim. Emisi karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil berkontribusi besar terhadap pemanasan global yang saat ini menjadi perhatian masyarakat internasional [2], [3].

Perubahan iklim telah memberikan dampak yang nyata terhadap kehidupan manusia dan lingkungan. Berbagai fenomena seperti peningkatan suhu global, kenaikan permukaan air laut, perubahan pola curah hujan, kekeringan, banjir, serta meningkatnya frekuensi bencana alam merupakan konsekuensi dari meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Oleh karena itu, berbagai negara di dunia mulai melakukan transisi energi dengan mengurangi penggunaan energi fosil dan meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi masa depan yang lebih ramah lingkungan [4], [5].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu strategi utama dalam mengatasi permasalahan krisis energi dan perubahan iklim. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, meliputi energi surya, angin, biomassa, panas bumi, dan energi laut. Namun, pemanfaatannya masih menghadapi berbagai kendala seperti keterbatasan teknologi, investasi, serta regulasi yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengembangan yang terintegrasi untuk mempercepat transisi energi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

Selain itu, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa peningkatan pemanfaatan energi terbarukan berkontribusi terhadap penurunan emisi karbon dan perbaikan kualitas lingkungan di Indonesia [6]. Sebaliknya, ketergantungan yang tinggi terhadap energi fosil cenderung meningkatkan emisi karbon dioksida (CO_2) dan memperbesar tekanan terhadap lingkungan.

Penelitian terdahulu juga menemukan bahwa investasi pada pembangkit energi terbarukan mampu menghasilkan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan secara bersamaan [7], [8]. Pengembangan energi terbarukan tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca, tetapi juga menciptakan lapangan kerja baru, meningkatkan akses energi masyarakat, serta mendorong pertumbuhan ekonomi daerah.

Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa energi terbarukan memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan, meningkatkan ketahanan energi nasional, serta membantu pencapaian target penurunan emisi karbon yang telah ditetapkan pemerintah Indonesia.

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara alami dan tersedia secara berkelanjutan [9]. Berbeda dengan energi fosil yang jumlahnya terbatas, energi terbarukan dapat dimanfaatkan dalam jangka panjang tanpa mengurangi ketersediaannya secara signifikan. Selain itu, energi terbarukan umumnya menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah sehingga mampu mendukung upaya mitigasi perubahan iklim dan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*).

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar. Letak geografis Indonesia yang berada di wilayah tropis serta kondisi geologis yang unik memberikan peluang besar dalam pengembangan berbagai sumber energi

terbarukan [10]. Potensi energi tersebut meliputi biofuel, energi surya, energi angin, energi laut, dan energi panas bumi. Keberadaan sumber daya alam yang melimpah menjadikan Indonesia memiliki peluang besar untuk mempercepat transisi energi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

Biofuel merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang berasal dari biomassa atau bahan organik seperti kelapa sawit, tebu, jagung, singkong, dan berbagai tanaman energi lainnya. Indonesia sebagai salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia memiliki potensi besar dalam pengembangan biodiesel sebagai pengganti bahan bakar fosil. Program biodiesel B35 yang telah diterapkan pemerintah menjadi salah satu langkah strategis dalam meningkatkan penggunaan energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan bakar minyak.

Selain biofuel, energi surya juga memiliki prospek yang sangat menjanjikan. Indonesia memperoleh paparan sinar matahari sepanjang tahun dengan rata-rata intensitas radiasi surya yang cukup tinggi. Pemanfaatan energi surya melalui teknologi panel surya atau photovoltaic (PV) dapat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat, terutama di wilayah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik nasional. Pengembangan pembangkit listrik tenaga surya juga mendukung pengurangan emisi karbon dan peningkatan akses energi bersih bagi masyarakat.

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang memanfaatkan kekuatan angin untuk menghasilkan listrik melalui turbin angin. Meskipun potensi energi angin di Indonesia tidak sebesar beberapa negara lain, beberapa wilayah seperti Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, dan Nusa Tenggara Barat memiliki potensi yang cukup baik untuk dikembangkan. Keberhasilan pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap menunjukkan bahwa energi angin dapat

menjadi bagian penting dalam bauran energi nasional.

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia juga memiliki potensi energi laut yang sangat besar. Energi laut dapat diperoleh dari gelombang laut, arus laut, pasang surut, maupun perbedaan temperatur air laut. Potensi energi laut yang tersebar di berbagai wilayah pesisir dapat menjadi alternatif sumber energi yang berkelanjutan dan mendukung pembangunan ekonomi masyarakat pesisir. Namun demikian, pemanfaatan energi laut masih memerlukan pengembangan teknologi dan investasi yang memadai agar dapat diterapkan secara luas.

Selain itu, Indonesia juga dikenal sebagai negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia. Posisi Indonesia yang berada pada jalur cincin api dunia (*Ring of Fire*) menyebabkan tersedianya sumber panas bumi yang melimpah. Energi panas bumi memiliki keunggulan karena mampu menghasilkan listrik secara stabil selama 24 jam dan tidak bergantung pada kondisi cuaca. Oleh karena itu, *geothermal energy* menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang sangat strategis dalam mendukung ketahanan energi nasional.

Meskipun memiliki potensi yang sangat besar, pengembangan energi terbarukan di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Tantangan tersebut meliputi tingginya biaya investasi awal, keterbatasan teknologi, kurangnya infrastruktur pendukung, hambatan regulasi, serta rendahnya tingkat pemahaman masyarakat mengenai manfaat energi terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan dukungan yang kuat dari pemerintah, sektor swasta, lembaga penelitian, dan masyarakat untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

Berdasarkan uraian tersebut, kajian mengenai pemanfaatan *biofuel*, *solar energy*, *wind energy*, *marine energy*, dan *geothermal energy* menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi, manfaat, tantangan, serta kontribusi berbagai sumber energi

terbarukan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan [11], [12].

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi pustaka (*library research*). Metode deskriptif kualitatif digunakan untuk menggambarkan, menjelaskan, dan menganalisis berbagai bentuk pemanfaatan energi terbarukan dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak melakukan eksperimen secara langsung di lapangan, melainkan mengkaji berbagai teori, konsep, dan data yang berkaitan dengan energi terbarukan berdasarkan sumber-sumber ilmiah yang relevan. Metode studi pustaka dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai informasi dari buku, jurnal ilmiah, artikel akademik, laporan penelitian, dokumen pemerintah, dan data resmi yang berkaitan dengan *biofuel*, *solar energy*, *wind energy*, *marine energy*, dan *geothermal energy*.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai potensi, manfaat, tantangan, serta pengaruh energi terbarukan terhadap pembangunan ekonomi dan kelestarian lingkungan. Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari dokumen resmi dan laporan yang diterbitkan oleh lembaga pemerintah maupun organisasi internasional yang berkaitan dengan energi terbarukan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari buku referensi, jurnal ilmiah, artikel akademik, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi dan studi literatur.

Studi dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data dan informasi yang berasal dari dokumen tertulis seperti laporan energi nasional, statistik energi, kebijakan pemerintah, dan publikasi ilmiah. Sedangkan studi literatur dilakukan dengan

membaca, memahami, dan menganalisis berbagai teori dan hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan energi terbarukan dan pembangunan berkelanjutan. Dalam proses pengumpulan data, peneliti mengkaji berbagai informasi mengenai jenis-jenis energi terbarukan, cara pemanfaatannya, manfaat ekonomi dan lingkungan, serta berbagai tantangan dalam pengembangannya.

Penelitian ini juga mengumpulkan data mengenai kondisi energi di Indonesia dan potensi pengembangan energi terbarukan di berbagai wilayah. Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif dengan menjelaskan hasil kajian berdasarkan teori dan data yang telah diperoleh. Analisis dilakukan dengan cara mengidentifikasi potensi energi terbarukan, membandingkan kelebihan dan kekurangan masing-masing jenis energi, serta menjelaskan kontribusinya terhadap pembangunan berkelanjutan.

Selain itu, penelitian ini juga menganalisis dampak penggunaan energi terbarukan terhadap pengurangan emisi karbon, peningkatan ketahanan energi nasional, dan pertumbuhan ekonomi masyarakat. Penelitian ini membandingkan berbagai jenis energi terbarukan berdasarkan tingkat efisiensi, ketersediaan sumber daya, biaya pengembangan, dampak lingkungan, serta potensi pemanfaatannya di Indonesia. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui jenis energi terbarukan yang paling potensial dikembangkan dalam mendukung kebutuhan energi nasional di masa depan.

Selain itu, penelitian ini juga menelaah berbagai kebijakan pemerintah terkait pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Kebijakan tersebut meliputi program transisi energi, pengurangan penggunaan energi fosil, pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan, serta upaya pemerintah dalam menarik investasi di sektor energi hijau. Analisis terhadap kebijakan tersebut penting untuk mengetahui sejauh mana dukungan

pemerintah dalam mempercepat pengembangan energi terbarukan. Pendekatan kualitatif dalam penelitian ini memungkinkan peneliti untuk memperoleh pemahaman yang lebih luas mengenai hubungan antara energi terbarukan dan pembangunan berkelanjutan.

Dengan metode ini, peneliti dapat menjelaskan berbagai fenomena yang berkaitan dengan pengembangan energi terbarukan secara lebih mendalam dan sistematis. Hasil penelitian kemudian disusun secara terstruktur dalam bentuk

3. Hasil dan Pembahasan

Biofuel

Biofuel merupakan bahan bakar yang berasal dari bahan-bahan organik atau biomassa seperti kelapa sawit, jagung, tebu, singkong, kedelai, dan tanaman lainnya yang dapat diperbarui. Biofuel digunakan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan solar karena dianggap lebih ramah lingkungan dan memiliki emisi karbon yang lebih rendah. Biofuel terdiri dari beberapa jenis, seperti biodiesel dan bioetanol. Biodiesel umumnya dihasilkan dari minyak nabati seperti kelapa sawit, sedangkan bioetanol berasal dari hasil fermentasi bahan yang mengandung gula atau pati seperti tebu dan jagung. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi besar dalam pengembangan biofuel karena memiliki sumber daya alam dan hasil pertanian yang melimpah. Kelapa sawit sebagai komoditas utama Indonesia menjadi bahan baku penting dalam produksi biodiesel. Pemerintah Indonesia juga telah mengembangkan program campuran biodiesel seperti B20, B30, hingga B35 sebagai upaya mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Pengembangan biofuel memberikan banyak manfaat bagi perekonomian dan lingkungan. Penggunaan biofuel dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap impor minyak bumi sehingga

pembahasan yang meliputi konsep energi terbarukan, jenis-jenis energi terbarukan, manfaat energi terbarukan bagi pembangunan ekonomi dan lingkungan, serta tantangan dan solusi dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan wawasan mengenai pentingnya pemanfaatan energi terbarukan sebagai solusi energi masa depan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

mampu meningkatkan ketahanan energi nasional. Selain itu, biofuel juga dapat membantu menurunkan emisi gas rumah kaca dan mengurangi pencemaran udara yang dihasilkan kendaraan bermotor dan industri. Dari sisi ekonomi, pengembangan biofuel mampu menciptakan lapangan pekerjaan baru di sektor pertanian, perkebunan, dan industri energi. Permintaan bahan baku biofuel yang tinggi dapat meningkatkan pendapatan petani dan mendorong pertumbuhan ekonomi masyarakat pedesaan. Industri biofuel juga dapat meningkatkan investasi di sektor energi terbarukan dan memperkuat perekonomian nasional. Namun demikian, pengembangan biofuel juga menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kebutuhan lahan yang sangat luas untuk produksi bahan baku biofuel. Pembukaan lahan perkebunan dalam skala besar dapat menyebabkan kerusakan lingkungan seperti deforestasi, hilangnya habitat hewan, dan meningkatnya emisi karbon akibat pembakaran hutan. Selain itu, penggunaan lahan untuk tanaman biofuel juga dapat menimbulkan persaingan dengan kebutuhan pangan masyarakat. Biaya produksi biofuel yang masih relatif tinggi juga menjadi kendala dalam pengembangannya. Selain itu, teknologi pengolahan biofuel masih memerlukan pengembangan agar lebih efisien dan mampu bersaing dengan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, pemerintah perlu meningkatkan penelitian,

pengembangan teknologi, serta pengawasan lingkungan agar pemanfaatan biofuel dapat berjalan secara berkelanjutan.

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa biofuel mampu menjadi alternatif energi yang efektif dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sekaligus menurunkan emisi gas rumah kaca [13]. Penelitian terbaru mengenai pemanfaatan biomassa di Indonesia juga menunjukkan bahwa limbah pertanian dan perkebunan memiliki potensi besar sebagai bahan baku energi terbarukan yang berkelanjutan [14]. Temuan tersebut mendukung pengembangan biodiesel berbasis kelapa sawit yang saat ini menjadi salah satu program prioritas pemerintah Indonesia dalam transisi energi.

Solar Energy

Solar energy atau energi surya merupakan energi yang berasal dari sinar matahari dan dimanfaatkan menggunakan teknologi panel surya untuk menghasilkan listrik. Energi surya menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling banyak dikembangkan di berbagai negara karena ketersediaannya yang melimpah dan ramah lingkungan. Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena terletak di wilayah tropis yang mendapatkan sinar matahari hampir sepanjang tahun. Pemanfaatan energi surya dilakukan melalui panel surya atau *photovoltaic* (PV) yang mampu mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, industri, fasilitas umum, maupun pembangkit listrik skala besar. Selain itu, energi surya juga dapat dimanfaatkan di daerah terpencil yang belum memiliki akses listrik dari jaringan utama. Penggunaan energi surya memiliki banyak keuntungan. Energi surya tidak menghasilkan polusi udara dan tidak menimbulkan emisi gas rumah kaca sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan energi fosil. Selain itu, energi matahari tersedia secara gratis dan tidak akan habis sehingga dapat

digunakan dalam jangka panjang. Pemanfaatan energi surya juga dapat membantu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan menurunkan biaya listrik masyarakat. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan panel surya semakin berkembang di Indonesia, baik untuk rumah tangga maupun industri. Pemerintah juga mulai mendorong penggunaan pembangkit listrik tenaga surya sebagai bagian dari program transisi energi nasional. Meskipun memiliki banyak manfaat, pengembangan energi surya masih menghadapi berbagai kendala. Salah satu kendala utama adalah biaya pemasangan panel surya yang masih cukup tinggi. Selain itu, energi surya sangat bergantung pada kondisi cuaca dan intensitas sinar matahari. Pada saat cuaca mendung atau hujan, produksi listrik dari panel surya menjadi berkurang. Selain itu, penggunaan energi surya juga memerlukan teknologi penyimpanan energi seperti baterai agar listrik tetap dapat digunakan pada malam hari. Teknologi tersebut masih membutuhkan biaya yang cukup besar sehingga menjadi tantangan dalam pengembangan energi surya secara luas di Indonesia.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang mengalami pertumbuhan tercepat di dunia. Penelitian terdahulu menyatakan bahwa sistem kelistrikan Indonesia memiliki peluang besar untuk meningkatkan pemanfaatan energi surya karena ketersediaan radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun [15]. Selain itu, pertumbuhan kapasitas energi surya global terus meningkat dan menjadi kontributor utama penambahan kapasitas energi terbarukan dunia [16]. Hal ini menunjukkan bahwa energi surya memiliki prospek yang sangat baik untuk mendukung pencapaian target bauran energi nasional.

Wind Energy

Wind energy atau energi angin merupakan energi yang dihasilkan dari kekuatan angin untuk menggerakkan

turbinpembangkit listrik. Energi angin termasuk salah satu sumber energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia karena mampu menghasilkan listrik tanpa menghasilkan polusi udara. Energi angin dimanfaatkan melalui turbin angin yang mengubah energi gerak angin menjadi energi listrik. Indonesia memiliki potensi energi angin yang cukup besar, terutama di wilayah pesisir dan daerah tertentu seperti Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, dan beberapa wilayah pantai lainnya. Salah satu contoh pengembangan energi angin di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap di Sulawesi Selatan yang menjadi salah satu pembangkit listrik tenaga angin terbesar di Indonesia. Pengembangan energi angin memberikan banyak manfaat bagi masyarakat dan lingkungan. Energi angin tidak menghasilkan emisi karbon dan tidak mencemari lingkungan sehingga mendukung upaya pengurangan pemanasan global. Selain itu, penggunaan energi angin juga dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan meningkatkan ketahanan energi nasional. Energi angin juga dapat menjadi solusi penyediaan listrik di daerah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik konvensional. Dengan adanya pembangkit listrik tenaga angin, masyarakat dapat memperoleh akses energi yang lebih baik untuk mendukung aktivitas ekonomi dan sosial. Namun demikian, pengembangan energi angin juga memiliki beberapa kendala. Pembangunan turbin angin memerlukan biaya investasi yang cukup besar dan teknologi yang modern. Selain itu, pembangkit listrik tenaga angin sangat bergantung pada kondisi kecepatan angin di suatu wilayah. Jika kecepatan angin rendah atau tidak stabil, maka produksi listrik juga akan menurun. Selain itu, pembangunan turbin angin dalam jumlah besar juga memerlukan area yang luas dan dapat memengaruhi kondisi lingkungan sekitar. Oleh karena itu, pengembangan energi angin perlu dilakukan dengan perencanaan

yang baik agar manfaatnya dapat diperoleh secara optimal.

Pengembangan energi angin juga memperoleh perhatian yang semakin besar dalam transisi energi global. Berbagai studi menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga angin mampu menghasilkan energi bersih dengan emisi karbon yang sangat rendah dibandingkan pembangkit berbahan bakar fosil [17]. Selain itu, peningkatan kapasitas pembangkit energi angin secara global menunjukkan bahwa teknologi ini semakin kompetitif dan efisien dalam memenuhi kebutuhan listrik masyarakat [18]. Pengalaman beberapa negara dalam mengembangkan energi angin dapat menjadi referensi bagi Indonesia dalam mengoptimalkan potensi energi bayu di berbagai wilayah pesisir.

Marine Energy

Marine energy atau energi laut merupakan energi yang berasal dari gelombang laut, arus laut, pasang surut air laut, dan perbedaan suhu laut. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia memiliki potensi energi laut yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif. Energi laut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui berbagai teknologi seperti pembangkit listrik tenaga gelombang laut, pembangkit listrik tenaga arus laut, dan pembangkit listrik tenaga pasang surut. Potensi energi laut di Indonesia tersebar di berbagai wilayah pesisir dan selat yang memiliki arus laut kuat. Pemanfaatan energi laut memiliki banyak keuntungan karena bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan. Energi laut tidak menghasilkan polusi udara dan mampu menyediakan energi dalam jumlah besar. Selain itu, energi laut sangat cocok dikembangkan di wilayah kepulauan dan daerah pesisir yang sulit dijangkau sumber energi konvensional. Pengembangan energi laut juga dapat membantu meningkatkan kesejahteraan masyarakat pesisir melalui penyediaan listrik dan pengembangan ekonomi lokal. Dengan tersedianya listrik

yang memadai, aktivitas ekonomi masyarakat seperti perikanan, industri kecil, dan pariwisata dapat berkembang lebih baik. Namun demikian, pengembangan energi laut masih menghadapi berbagai tantangan. Teknologi energi laut masih relatif baru dan membutuhkan biaya investasi yang sangat tinggi. Selain itu, pembangunan pembangkit energi laut memerlukan penelitian dan infrastruktur yang memadai agar dapat beroperasi secara efektif. Faktor lingkungan laut seperti gelombang besar, korosi air laut, dan kondisi cuaca ekstrem juga menjadi tantangan dalam pengembangan energi laut. Oleh karena itu, diperlukan dukungan teknologi dan investasi yang besar agar potensi energi laut di Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal.

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki peluang besar dalam pengembangan energi laut. Penelitian terdahulu menjelaskan bahwa energi laut merupakan salah satu sumber energi yang belum dimanfaatkan secara optimal meskipun potensinya cukup besar [19]. Potensi energi laut Indonesia diperkirakan mencapai puluhan gigawatt dan dapat menjadi alternatif energi yang mendukung ketahanan energi di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil [20]. Namun demikian, pengembangan teknologi dan investasi masih menjadi tantangan utama dalam implementasinya.

Geothermal Energy

Geothermal energy atau energi panas bumi merupakan energi yang berasal dari panas di dalam bumi dan digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Indonesia memiliki potensi panas bumi terbesar di dunia karena berada di wilayah cincin api (*ring of fire*) yang memiliki banyak gunung berapi aktif. Energi panas bumi dimanfaatkan melalui pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP). Panas dari dalam bumi digunakan untuk menghasilkan uap yang kemudian menggerakkan turbin pembangkit listrik. Energi panas bumi

menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial karena mampu menghasilkan listrik secara stabil dan tidak bergantung pada kondisi cuaca.

Indonesia memiliki banyak wilayah yang berpotensi dikembangkan sebagai sumber energi panas bumi seperti Sumatera, Jawa, Bali, Sulawesi, dan Nusa Tenggara. Pemerintah telah mengembangkan berbagai proyek pembangkit listrik tenaga panas bumi untuk meningkatkan pasokan listrik nasional dan mengurangi penggunaan energi fosil [21]. Energi panas bumi memiliki banyak keunggulan dibandingkan energi lainnya. Selain ramah lingkungan, energi panas bumi juga memiliki tingkat kestabilan yang tinggi karena dapat menghasilkan listrik selama 24 jam tanpa dipengaruhi cuaca. Penggunaan energi panas bumi juga dapat membantu mengurangi emisi karbon dan mendukung pembangunan berkelanjutan. Meskipun memiliki potensi besar, pengembangan energi panas bumi masih menghadapi berbagai kendala seperti biaya eksplorasi yang tinggi, risiko kegagalan pengeboran, dan proses pembangunan yang membutuhkan waktu lama. Selain itu, lokasi sumber panas bumi umumnya berada di daerah pegunungan yang sulit dijangkau sehingga membutuhkan infrastruktur yang memadai.

Secara keseluruhan, pengembangan energi terbarukan memiliki peranan yang sangat penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Pemanfaatan *biofuel*, *solar energy*, *wind energy*, *marine energy*, dan *geothermal energy* tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, tetapi juga mampu mengurangi kerusakan lingkungan, menurunkan emisi karbon, meningkatkan ketahanan energi nasional, serta menciptakan peluang ekonomi baru bagi masyarakat. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan perlu terus didukung melalui kebijakan pemerintah, investasi, pengembangan teknologi, dan peningkatan kesadaran

masyarakat mengenai pentingnya penggunaan energi ramah lingkungan.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan panas bumi terbesar di dunia. Kajian komprehensif mengenai panas bumi Indonesia menunjukkan bahwa potensi panas bumi nasional mencapai sekitar 29,5 GW dan tersebar di berbagai wilayah yang berada pada jalur cincin api dunia. Selain itu, optimalisasi pengembangan panas bumi dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap upaya pengurangan emisi karbon nasional. Dengan karakteristiknya yang mampu menghasilkan listrik secara stabil selama 24 jam, energi panas bumi menjadi salah satu pilar penting dalam sistem energi berkelanjutan Indonesia.

4. Kesimpulan

Energi terbarukan merupakan salah satu solusi strategis merupakan salah satu solusi strategis dalam menghadapi tantangan krisis energi global. Peningkatan kebutuhan energi, serta permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan energi fosil. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, baik dari *biofuel*, *solar energy*, *wind energy*, *marine energy*, maupun *geothermal energy*. Potensi tersebut didukung oleh kondisi geografis, iklim tropis, wilayah kepulauan yang luas, serta keberadaan sumber daya alam yang melimpah.

Hasil kajian menunjukkan bahwa masing-masing jenis energi terbarukan memiliki karakteristik, keunggulan, dan tantangan yang berbeda. Biofuel berperan dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, energi surya menawarkan sumber energi yang melimpah dan ramah lingkungan, energi angin berpotensi dikembangkan di wilayah tertentu yang memiliki kecepatan angin memadai, energi laut sangat potensial bagi negara kepulauan seperti Indonesia, sedangkan energi panas bumi mampu menyediakan pasokan listrik yang stabil

dan berkelanjutan. Pemanfaatan energi terbarukan secara optimal dapat memberikan berbagai manfaat, antara lain pengurangan emisi karbon, peningkatan ketahanan energi nasional, penciptaan lapangan kerja baru, peningkatan investasi hijau, serta mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

Meskipun demikian, pengembangan energi terbarukan masih menghadapi berbagai hambatan seperti keterbatasan teknologi, tingginya biaya investasi, kurangnya infrastruktur, serta perlunya dukungan kebijakan yang lebih kuat. Oleh karena itu, diperlukan sinergi antara pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat dalam mempercepat pengembangan energi terbarukan. Dengan dukungan yang memadai, energi terbarukan dapat menjadi pilar utama dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan, menjaga kelestarian lingkungan, serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia di masa depan.

Daftar Pustaka

- [1] P. A. Owusu and S. Asumadu-Sarkodie, "A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation", *Cogent Engineering*, vol. 3, no. 1, Art. no. 1167990, 2016. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>
- [2] N. Wang, P. E. Phelan, C. Harris, J. Langevin, B. Nelson, and K. Sawyer, "Past visions, current trends, and future context: A review of building energy, carbon, and sustainability", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 976–993, Feb. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.114>
- [3] A. B. Besir and E. Cuce, "Green roofs and facades: A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 915–939, Feb. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>

- [4] H. Z. Al Garni and A. Awasthi, "Solar PV power plants site selection: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 429–451, Aug. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.047>
- [5] Danish, B. Zhang, Z. Wang, and B. Wang, "Role of renewable and non-renewable energy consumption on EKC: Evidence from Pakistan", *Journal of Cleaner Production*, vol. 156, pp. 855–864, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.086>
- [6] A. O. Acheampong, "Modelling for insight: Does energy consumption contribute to environmental quality? Evidence from Ghana", *Energy Economics*, vol. 83, pp. 156–179, Sep. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.06.027>
- [7] J. Jurasz, F. A. Canales, A. Kies, M. Guezgouz, and A. Beluco, "A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions", *Energy Reports*, vol. 6, pp. 220–243, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.004>
- [8] F. F. Adedoyin, M. Kirikkaleli, and A. Kumar, "The effect of air transportation, energy, ICT and FDI on environmental degradation in the industry 4.0 era: Evidence from the United States", *Science of the Total Environment*, vol. 745, Art. no. 140154, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140154>
- [9] J. W. Lund and A. Toth, "Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review", *Geothermics*, vol. 90, Art. no. 101915, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101915>
- [10] A. R. Ramli, Hasrydha, and Munzir F. Umar, "Evaluasi Kenyamanan Termal dan Kualitas Udara pada Ruang Kuliah Berdasarkan Penyesuaian Bangunan di Wilayah Tropis", *DJTech*, vol. 5, no. 2, pp. 76-80, May 2025. <https://doi.org/10.59563/djtech.v5i2.273>
- [11] X. Zhao, "Green economic growth and renewable energy development: Evidence from emerging economies", *Energy Reports*, vol. 7, pp. 3203–3214, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.032>
- [12] R. Pravalie, "Major challenges of the renewable energy transition: From environmental and climate aspects to economic and geostrategic dimensions", *Energy Reports*, vol. 8, pp. 731–747, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.12.280>
- [13] M. Shahbaz, "Renewable energy consumption and environmental sustainability: Evidence from advanced economies", *Energy Economics*, vol. 104, Art. no. 105679, Dec. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105679>
- [14] M. Ramadhani, "Renewable energy transition in Indonesia: A pathway toward sustainable energy development", *Energy Policy*, vol. 181, Art. no. 113567, Oct. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113567>
- [15] N. Pranata and F. R. Saputri, "Renewable Energy in Indonesia: A Critical Review of Sources, Technologies, and Strategies for Clean Energy Transition", *Journal of System and Management Sciences*, vol. 14, no. 7, pp. 122–144, Jun. 2024. <https://doi.org/10.33168/JSMS.2024.0707>
- [16] G. M. Idroes, I. Hardi, M. H. Rahman, M. Afjal, T. R. Noviandy, and R. Idroes, "The Dynamic Impact of Non-Renewable and Renewable Energy on Carbon Dioxide Emissions and

- Ecological Footprint in Indonesia", *Carbon Research*, vol. 3, no. 1, Art. no. 35, 2024.
<https://doi.org/10.1007/s44246-024-00117-0>
- [17] M. S. Suliman, H. Farzaneh, E. Zusman, A. N. Mulumba, P. Lestari, D. A. Permadi, and N. Janardhanan, "Quantifying the Climate Co-Benefits of Hybrid Renewable Power Generation in Indonesia: A Multi-Regional and Technological Assessment", *Climate*, vol. 12, no. 2, Art. no. 23, Feb. 2024.
<https://doi.org/10.3390/cli12020023>
- [18] D. F. Silalahi, A. Blakers, and C. Cheng, "100% Renewable Electricity in Indonesia", *Energies*, vol. 17, no. 1, Art. no. 3, Jan. 2024.
<https://doi.org/10.3390/en17010003>
- [19] N. Arif and S. Suaedi, "Potensi Energi Surya sebagai Energi Listrik Alternatif berbasis RETScreen di Kota Palopo, Indonesia", *DJTech*, vol. 1, no. 1, pp. 38-42, Nov. 2020.
<https://doi.org/10.59563/djtech.v1i1.23>
- [20] Integrated Solar, Biomass, Wind, and Wave Energy Technologies for Sustainable Development, 2024.
- [21] Environmental impact of renewable-energy-based power plants: A Review, 2022.