

Energi Maritim Terbarukan: Pilar Strategis Poros Maritim Indonesia

Fieranda Firdaus Azhar^{1*}, Prassat Aji¹, I Made Deva¹, Jaka Septian Kustanto¹

¹Politeknik Pelayaran Surabaya

*Email: Firdausyudha99@gmail.com

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan visi poros maritim dunia menekankan inovasi, keamanan, dan keberlanjutan sektor maritim. Salah satu langkah strategisnya adalah pemanfaatan energi terbarukan laut untuk mendukung ketahanan energi nasional. Penelitian ini mengkaji potensi teknologi energi maritim seperti Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), bioenergi mikroalga, energi arus laut, angin lepas pantai, dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung (PLTS Terapung). Metode yang digunakan berupa telaah pustaka dan analisis kebijakan energi nasional, mencakup proyek PLTS Terapung Cirata (Jawa Barat), Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Bali, serta potensi OTEC di Karangasem, Bali. Hasil analisis menunjukkan pemanfaatan energi laut masih rendah meski potensinya besar (sekitar 60 GW). Energi ini berperan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, menyediakan listrik bagi pulau terpencil, serta mempercepat transisi menuju energi bersih. Konsumsi listrik nasional meningkat dari ~1.060 kWh/kapita (2018) menjadi 1.285 kWh/kapita (2023), sejalan dengan pertumbuhan pesat pembangkit surya global. Transformasi energi maritim menjadi langkah penting mewujudkan kedaulatan energi Indonesia yang berkelanjutan dan berdaya saing global.

Kata Kunci: Energi terbarukan, Kebijakan energi nasional, Transformasi Energi

Pendahuluan

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.508 pulau dan garis pantai sekitar 99.000 km. Posisi geografis ini menjadikan sektor kelautan sangat penting bagi perekonomian, konektivitas global, dan keamanan nasional. Konsep Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia dicetuskan untuk memaksimalkan potensi maritim tersebut dalam pembangunan nasional yang inklusif dan berkelanjutan. Realisasi visi ini menuntut ketersediaan energi yang handal di wilayah pesisir dan pulau-pulau terpencil, sekaligus memastikan keberlanjutan lingkungan laut. Namun, selama ini pemenuhan energi di wilayah maritim masih banyak bergantung pada bahan bakar fosil (seperti diesel) yang mahal, polutif, dan sulit didistribusikan ke pulau-pulau kecil. Penggunaan bahan bakar fosil juga berkontribusi pada emisi gas rumah kaca yang memicu perubahan iklim, meningkatkan suhu dan keasaman air laut, serta merusak ekosistem terumbu karang dan keanekaragaman hayati laut.

Sejalan dengan komitmen Indonesia dalam *Paris Agreement* dan Kebijakan Energi Nasional, pemerintah menargetkan 23% bauran energi nasional berasal dari energi baru terbarukan (EBT) pada tahun 2025. Potensi energi terbarukan Indonesia sangat besar, termasuk dari sumber-

sumber energi laut. Kementerian ESDM mencatat total potensi praktis energi laut sekitar 63 GW (terdiri atas 41 GW OTEC, 20 GW arus laut, dan 2 GW gelombang laut). Selain itu, terdapat potensi signifikan dari angin lepas pantai (offshore wind) dan PLTS terapung di laut yang belum terkuantifikasi dalam angka tersebut. Pemanfaatan potensi ini sejalan dengan agenda blue economy dan dapat mendukung ketahanan energi serta kemandirian pulau-pulau terluar – aspek penting bagi keamanan maritim dan posisi strategis Indonesia.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa integrasi energi terbarukan maritim dapat memberikan manfaat ganda, yakni mendorong inovasi teknologi di sektor kelautan yang memperkuat kemandirian industri nasional serta melindungi lingkungan melalui pengurangan emisi dan dampak negatif aktivitas manusia di laut. Namun, pemanfaatannya masih menghadapi sejumlah tantangan, mulai dari tingginya biaya investasi, keterbatasan infrastruktur, kendala teknis-operasional di lingkungan laut, hingga aspek regulasi dan pendanaan yang belum optimal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan utama: bagaimana pemanfaatan energi terbarukan di laut dapat mendukung keberlanjutan ekosistem sekaligus mewujudkan Indonesia sebagai poros maritim dunia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi sumber energi terbarukan di wilayah laut Indonesia beserta kontribusinya terhadap lingkungan laut, menganalisis dampak pemanfaatan energi terbarukan maritim dalam mendukung visi Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia, serta mengkaji kebijakan, hambatan implementasi, dan arah pengembangan teknologi energi terbarukan maritim di Indonesia. Hasil kajian ini diharapkan mampu memberikan wawasan ilmiah bagi para pemangku kepentingan dalam merumuskan strategi transformasi maritim yang berbasis inovasi teknologi energi berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif dengan metode studi pustaka (*literature review*). Sumber data mencakup artikel jurnal akademik, laporan kebijakan pemerintah, serta publikasi konferensi yang relevan dengan energi terbarukan maritim. Tahapan penelitian meliputi:

1. Pengumpulan Literatur: Mengumpulkan publikasi terkini (tahun 2015–2025) terkait potensi, implementasi, dan dampak energi terbarukan di sektor kelautan Indonesia. Sumber diutamakan dari jurnal bereputasi, seperti *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Energy Policy*, *Marine Policy*, serta jurnal nasional seperti *Jurnal Energi* dan *Jurnal Teknik Kelautan*. Selain itu, data sekunder dari Kementerian ESDM, Dewan Energi Nasional, dan lembaga penelitian (BPPT/BRIN) digunakan untuk melengkapi informasi teknis dan kebijakan.
2. Seleksi dan Evaluasi: Literatur diseleksi berdasarkan relevansi dengan subtema Energi Terbarukan dan Keberlanjutan Lingkungan Laut. Setiap sumber dievaluasi kredibilitasnya dan dikaji isi utamanya.
3. Analisis Kualitatif: Dilakukan analisis isi (content analysis) terhadap temuan di literatur untuk mengidentifikasi:

- a. potensi dan teknologi kunci (OTEC, arus laut, gelombang, angin lepas pantai, surya terapung, bioenergi laut),
 - b. kontribusi terhadap ekosistem laut dan target Poros Maritim,
 - c. tantangan teknis, ekonomi, lingkungan, dan regulasi, serta
 - d. rekomendasi kebijakan dan inovasi lanjutan.
4. Sintesis: Hasil analisis dari berbagai sumber disintesis secara terstruktur sesuai kerangka pembahasan (potensi, kontribusi lingkungan, kontribusi geopolitik, tantangan, kebijakan). Selama proses sintesis, dilakukan cross-check antar sumber untuk memastikan konsistensi data dan validitas informasi.
 5. Penulisan Ilmiah: Hasil sintesis disajikan dalam format artikel ilmiah sesuai gaya prosiding SINTEKMAR 2025. Penulisan menggunakan gaya bahasa ilmiah berbahasa Indonesia dan mengikuti kaidah tata tulis APA untuk sitasi.
- Metode di atas memungkinkan penulis mendapatkan gambaran komprehensif mengenai status terkini energi terbarukan maritim di Indonesia. Karena penelitian ini bersifat tinjauan konseptual, tidak ada pengumpulan data primer melalui eksperimen atau survei lapangan. Validasi temuan mengandalkan kesesuaian informasi lintas sumber dan konfirmasi data dengan dokumen resmi pemerintah.

Hasil dan Pembahasan

A. Potensi Energi Terbarukan Maritim Indonesia

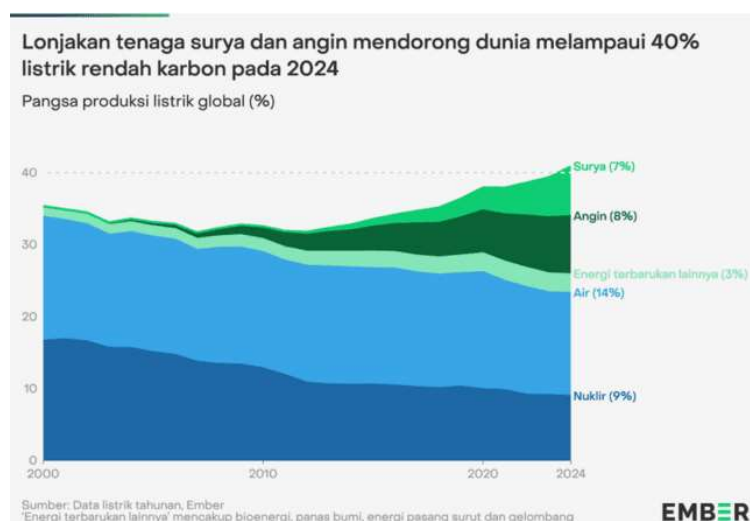
Indonesia dianugerahi berbagai sumber energi terbarukan di wilayah laut.



Gambar 1. Peta potensi penggunaan energi terbarukan di Indonesia

menunjukkan peta potensi energi laut Indonesia yang telah diidentifikasi oleh Kementerian ESDM, mencakup energi gelombang, arus laut, dan panas laut (OTEC), baik dari segi potensi teoritis, teknis, maupun praktis. Potensi teoritis energi panas laut (OTEC) tampak paling besar (hingga ribuan gigawatt), namun potensi praktis yang dapat dimanfaatkan jauh lebih kecil setelah mempertimbangkan keterbatasan teknis dan geografis.

Berdasarkan data tahun 2019, potensi praktis OTEC diperkirakan sekitar 41 GW, sedangkan arus laut ~20 GW dan gelombang ~2 GW . Potensi tersebut terkonsentrasi di area tertentu: misalnya, OTEC ideal di perairan tropis yang memiliki perbedaan suhu permukaan-dalam $>20^{\circ}\text{C}$ (terdapat di perairan Indonesia timur dan selatan), menunjukkan peta potensi energi laut Indonesia yang telah diidentifikasi oleh Kementerian ESDM, mencakup energi gelombang, arus laut, dan panas laut (OTEC), baik dari segi potensi teoritis, teknis, maupun praktis. Potensi teoritis energi panas laut (OTEC) tampak paling besar (hingga ribuan gigawatt), namun potensi praktis yang dapat dimanfaatkan jauh lebih kecil setelah mempertimbangkan keterbatasan teknis dan geografis. Berdasarkan data tahun 2019, potensi praktis OTEC diperkirakan sekitar 41 GW, sedangkan arus laut ~20 GW dan gelombang ~2 GW . Potensi tersebut terkonsentrasi di area tertentu: misalnya, OTEC ideal di perairan tropis yang memiliki perbedaan suhu permukaan-dalam $>20^{\circ}\text{C}$ (terdapat di perairan Indonesia timur dan selatan)



Gambar 2. Data statistika penggunaan energi terbarukan
(Sumber: EMBER)

Indonesia juga memiliki potensi bioenergi laut yang unik, terutama dari rumput laut dan mikroalga. Sekitar 555 spesies rumput laut dan ribuan spesies mikroalga tersebar di perairan Indonesia, beberapa di antaranya berpotensi tinggi menghasilkan biomassa dan minyak nabati. Dadan Kusdiana, Sekjen Kementerian ESDM, menyebut mikroalga dapat dikembangkan menjadi substitusi minyak sawit untuk biodiesel di masa depan . Potensi bioenergi ini belum dinyatakan dalam satuan GW listrik, namun diukur dari volume biomassa atau biofuel yang bisa dihasilkan. Penelitian memperkirakan produktivitas minyak dari mikroalga bisa 10–30 kali lipat lebih tinggi per hektar dibanding tanaman darat (seperti kelapa sawit), menjadikannya sumber biofuel yang menjanjikan secara teoretis (Merlo et al., 2021). Meskipun saat ini keekonomiannya belum tercapai, perkembangan teknologi kultur mikroalga terus berlangsung seiring meningkatnya kebutuhan energi bersih dan menurunnya biaya produksi biofuel.



Gambar 3. Jumlah spesies rumput laut dan mikroalga tersebar di Indonesia

Secara keseluruhan, potensi energi terbarukan maritim Indonesia sangat besar namun *untapped*. Menurut *Asian Development Bank* (ADB), Indonesia adalah salah satu negara dengan potensi energi laut terbesar di dunia (lebih dari 60 GW secara praktis, dan ratusan GW secara teoritis). Bahkan, studi lain menyebutkan potensi OTEC Indonesia dapat mencapai 240 GW secara teoritis dan mencukupi 22% kebutuhan listrik nasional tahun 2050 jika teknologi OTEC dapat berkembang pesat dan biaya turun signifikan. Data-data ini menggarisbawahi bahwa laut Indonesia bukan hanya sumber pangan dan keanekaragaman hayati, tetapi juga lumbung energi terbarukan yang dapat dikembangkan sebagai fondasi poros maritim dalam arti yang sesungguhnya – sebagai pusat aktivitas dan inovasi kelautan dunia.



Gambar 4. Data grafik dari potensi energi laut Indonesia

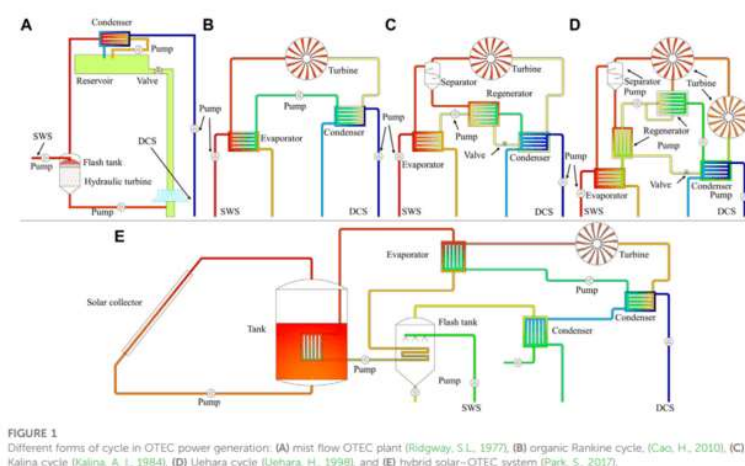
B. Kontribusi Energi Terbarukan terhadap Keberlanjutan Ekosistem Laut

Pemanfaatan energi terbarukan maritim memiliki dampak positif langsung maupun tidak langsung bagi lingkungan laut.

Pertama, semua teknologi ini bebas emisi pada saat operasi, artinya tidak menghasilkan pembakaran yang melepaskan CO₂, NO_x, SO_x, atau partikel polutan ke atmosfer. Dengan substitusi pembangkit fosil menjadi pembangkit energi terbarukan, diharapkan laju perubahan iklim global dapat ditekan. Hal ini penting bagi ekosistem laut karena pemanasan global berdampak serius: kenaikan suhu laut dan *ocean acidification* (penurunan pH air laut akibat tingginya CO₂) telah memicu pemutihan karang dan mengganggu rantai makanan laut. Mengurangi emisi gas rumah kaca melalui peningkatan porsi energi terbarukan adalah langkah krusial untuk melindungi terumbu karang, mangrove, dan habitat pesisir jangka panjang.

Kedua, beberapa teknologi energi laut justru dapat bersinergi dengan kegiatan konservasi atau rehabilitasi ekosistem. Contohnya, OTEC selain menghasilkan listrik, juga memiliki by-product berupa air dingin dan air tawar. Air dingin bersumber dari laut dalam yang kaya nutrisi bisa dimanfaatkan untuk budidaya perikanan (akuakultur) atau peningkatan produktivitas perairan oligo-tropik (miskin nutrisi). Proyek OTEC di Pulau Kumejima, Jepang misalnya, memanfaatkan air dingin buangan OTEC untuk budidaya lobster dan mikroalga (Ohki, 2020). Selain itu, OTEC dapat menghasilkan air tawar (desalinasi) dan mineral seperti litium dari air laut. Air tawar tersebut berguna bagi pulau-pulau kecil yang sering mengalami krisis air bersih.

Dengan demikian, OTEC berpotensi mendukung ketahanan air dan ekonomi lokal secara berkelanjutan di wilayah kepulauan. Meskipun demikian, perlu diperhatikan pula dampak lingkungan OTEC: pembuangan air laut dalam yang lebih dingin ke permukaan bisa menyebabkan perubahan lokal suhu dan arus mikro yang mempengaruhi plankton dan ekosistem setempat. Kajian lingkungan mendalam diperlukan agar operasi OTEC tidak mengganggu keseimbangan termal perairan sekitar.



Gambar 5. Proses Kerja dari OTEC

Untuk energi angin lepas pantai, dampak lingkungannya relatif minim dan dapat diatasi dengan perencanaan matang. Turbin angin lepas pantai tidak menimbulkan emisi atau limbah; tantangan utamanya pada aspek visual, kebisingan, serta potensi tabrakan burung laut. Namun, lokasi turbin dapat dipilih di jalur migrasi burung yang minim. Fondasi turbin lepas pantai bahkan dapat menjadi rumah buatan (artificial reef) bagi biota laut; struktur tiang yang terendam seringkali dihinggapi karang dan menarik ikan-ikan, meningkatkan keanekaragaman hayati lokal (Cullen et al., 2020). Beberapa negara Eropa melaporkan adanya no-fishing zone di sekitar ladang angin lepas pantai, yang justru menjadi kawasan perlindungan ikan secara tidak langsung. Bagi Indonesia, pemanfaatan angin lepas pantai di pesisir selatan Jawa atau Selat Sunda perlu memperhatikan jalur pelayaran dan daerah penangkapan ikan, namun sejauh ini kajian lingkungan menunjukkan risiko yang dapat ditangani dengan mitigasi seperti pemasangan bird diverters dan pengaturan jarak antar turbin.

Energi arus dan gelombang laut tergolong ramah lingkungan karena tidak menghasilkan residu dan minim mengubah ekosistem. Tantangan utamanya adalah risiko interaksi dengan biota besar, namun teknologi modern telah dilengkapi desain aman seperti baling-baling berputar lambat dan sonar penghalau. Studi di Skotlandia, Kanada, dan proyek di Nusa Penida menunjukkan dampak negatif sangat kecil jika penempatan perangkat memperhatikan ekosistem setempat. Sementara itu, PLTS terapung menawarkan energi bersih tanpa emisi, meski berpotensi menimbulkan efek bayangan terhadap fotosintesis fitoplankton. Dampak ini umumnya terbatas, bahkan dapat membantu mengendalikan bloom alga berbahaya. Secara keseluruhan, energi terbarukan maritim berkontribusi menjaga kualitas laut, mendukung konservasi, serta sejalan dengan prinsip ekonomi biru yang menekankan keseimbangan antara pembangunan dan kesehatan ekosistem..

C. Energi Terbarukan Maritim dan Visi Poros Maritim Dunia

Visi Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia mencakup lima pilar utama: pembangunan budaya maritim, pengelolaan sumber daya laut, prioritas infrastruktur dan konektivitas maritim, diplomasi maritim, serta pertahanan keamanan maritim. Pengembangan energi terbarukan di laut berkontribusi pada beberapa pilar tersebut secara simultan.

1. Energi terbarukan laut menjadi bagian penting dalam pengelolaan sumber daya dan ekonomi maritim dengan memanfaatkan panas, arus, ombak, dan angin laut untuk menghasilkan listrik. Pemanfaatan ini mendiversifikasi ekonomi maritim, tidak hanya bergantung pada perikanan dan transportasi, tetapi juga sektor energi, sekaligus memperkuat posisi Indonesia sebagai negara maritim yang mampu mengelola laut secara komprehensif. Wilayah timur Indonesia seperti NTT, Maluku, dan Sulawesi berpotensi menjadi pusat energi baru yang mendorong pemerataan pembangunan dan elektrifikasi hingga pulau terluar. Dengan tersedianya listrik dari PLT Arus atau PLTS terapung, aktivitas ekonomi lokal seperti perikanan, pengolahan hasil laut, dan pariwisata bahari dapat berkembang, sejalan dengan visi poros maritim yang menjadikan laut sebagai sumber kesejahteraan rakyat.

2. Pilar Infrastruktur dan Konektivitas Maritim: Ketersediaan infrastruktur energi di wilayah kepulauan akan meningkatkan konektivitas dan keamanan. Sebagai contoh, instalasi turbin arus laut di Selat Pantar atau Larantuka tidak hanya menghasilkan listrik lokal, tetapi juga dapat dipadukan dengan jaringan komunikasi bawah laut dan alat navigasi. Pulau kecil yang memiliki pembangkit energi mandiri akan lebih mudah terhubung (melalui komunikasi radio/internet yang menyala 24 jam) dan kapal-kapal juga dapat memanfaatkan listrik setempat saat bersandar (cold ironing di pelabuhan). Menteri ESDM periode 2014– 2016, Sudirman Said, pernah menegaskan bahwa pembangunan infrastruktur energi di pulau-pulau terdepan adalah bagian integral mewujudkan Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia . Dalam hal ini, energi terbarukan maritim seperti PLTB lepas pantai atau PLTA arus pasang surut dapat berfungsi ganda: selain memasok listrik, juga menjadi landmark infrastruktur maritim yang memperkuat klaim kehadiran negara di wilayah perairan jauh. Misalnya, tiang turbin angin atau platform OTEC berpotensi difungsikan sebagai stasiun pemantauan cuaca dan keamanan laut secara otomatis.
3. Jika Indonesia berhasil mengembangkan energi laut skala besar, prestise internasional dan diplomasi maritim akan meningkat. Indonesia berpeluang menjadi champion isu climate change dan blue economy di forum global. Contohnya, pilot project OTEC 5 MW di Bali Utara bersama Jepang dapat menempatkan Indonesia sebagai pionir OTEC komersial, sejajar dengan Jepang, Korea, dan Hawaii-AS. Inovasi biofuel mikroalga juga bisa menyumbang dekarbonisasi pelayaran internasional sesuai target IMO. Keberhasilan ini tidak hanya memperkuat diplomasi maritim dan posisi Indonesia sebagai poros maritim regional, tetapi juga membuka peluang kerja sama internasional dan investasi melalui penguatan riset teknologi energi laut..
4. Kemandirian energi di pulau terdepan memiliki implikasi penting bagi pertahanan maritim. Pangkalan TNI AL atau pos perbatasan yang menggunakan energi terbarukan (surya, angin, hibrida) akan lebih tangguh karena tidak tergantung pasokan BBM rutin. Ketersediaan listrik juga memungkinkan radar, komunikasi, dan drone beroperasi terus-menerus untuk menjaga perbatasan. Program Energi Bersih untuk Pulau Terluar sudah berjalan, seperti PLTS di Natuna dan Miangas, dan dapat diperluas dengan turbin angin atau OTEC skala kecil. Energi terbarukan maritim bukan sekadar isu lingkungan, melainkan fondasi strategis ketahanan, kedaulatan, dan transformasi Indonesia sebagai poros maritim dunia.

D. Kebijakan, Tantangan Implementasi, dan Arah Pengembangan

Meskipun prospeknya menjanjikan, implementasi energi terbarukan di sektor maritim menghadapi beragam tantangan. Beberapa tantangan utama yang teridentifikasi antara lain :

1. Biaya Investasi dan Ekonomi: Teknologi energi laut umumnya masih dalam tahap awal pengembangan sehingga biaya per unit energinya relatif tinggi. Menurut Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASLI), investasi awal membangun proyek percontohan PLT energi laut di Indonesia mencapai US\$3.000–5.000 per kW – setara atau lebih mahal dari pembangkit panas bumi . Contohnya, estimasi biaya untuk pilot OTEC 5 MW di Bali berkisar puluhan

juta dolar. Biaya tinggi ini disebabkan oleh skala proyek yang kecil (belum economy of scale), komponen banyak yang harus diimpor, serta risiko teknologi baru. Konsekuensi dari mahalnya investasi adalah minimnya keterlibatan swasta tanpa dukungan insentif. Skema pendanaan kreatif diperlukan, misalnya melalui public-private partnership, hibah R&D internasional, atau pembiayaan karbon (carbon credit) mengingat proyek ini menurunkan emisi. Di sisi lain, analisis keekonomian jangka panjang menunjukkan potensi penurunan biaya drastis bila produksi massal tercapai. Studi learning curve OTEC menunjukkan apabila kapasitas terpasang OTEC tumbuh 28% per tahun (mirip pertumbuhan global PLTB/PLTS), maka pada 2050 OTEC bisa kompetitif dengan pembangkit fosil dan menghasilkan NPV hingga US\$23 miliar bagi Indonesia. Hal ini menjadi dasar optimisme pengembangan energi laut, asalkan dukungan kebijakan memungkinkan akselerasi skala proyek.

2. **Teknologi dan Infrastruktur:** Tantangan teknis meliputi keterbatasan teknologi yang siap pakai dan infrastruktur pendukung. Banyak teknologi energi laut (OTEC, wave converter, tidal turbine) masih dalam tahap prototipe atau demonstrasi di dunia. Indonesia perlu menyesuaikan desain teknologi dengan kondisi lokal (misal: air laut hangat, korosif, ombak tinggi saat monsun). Infrastruktur pendukung seperti kapal pemasang turbin, crane lepas pantai, hingga jaringan transmisi bawah laut juga belum memadai di semua lokasi. Keterlibatan BUMN dan lembaga riset sangat penting untuk technological transfer. Upaya sudah mulai terlihat: BPPT (kini BRIN) telah melakukan uji coba turbin arus 10 kW di Jembatan Suramadu dan 100 kW di Selat Lombok, dan bekerja sama dengan institusi luar negeri. Jepang, misalnya, aktif menjalin kerja sama dengan Indonesia: Saga University membantu studi kelayakan OTEC Bali, sementara perusahaan IHI dan Toshiba tertarik pada proyek arus laut di NTT. Pemerintah perlu memfasilitasi pilot project berkelanjutan agar kapasitas SDM lokal meningkat. Selain itu, standarisasi teknologi dan regulasi teknis (soal keselamatan, izin pemasangan peralatan di laut) harus segera disusun untuk memberi kepastian bagi inovator dan investor.
3. **Lingkungan dan Sosial:** Meskipun energi terbarukan relatif ramah lingkungan, tiap proyek wajib melalui Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) khususnya yang berlokasi di laut sensitif. Penentuan lokasi harus memperhatikan ekosistem kritis (terumbu, lamun, migrasi biota) agar tidak menimbulkan konflik dengan konservasi. Tantangan sosial juga muncul karena sebagian masyarakat pesisir mungkin khawatir terhadap infrastruktur baru di laut (misal nelayan khawatir area tangkap berkurang). Oleh karena itu, keterlibatan masyarakat lokal sejak tahap perencanaan sangat diperlukan. Program sosialisasi dan edukasi energi bersih – seperti acara “Oceanovation” oleh Kementerian ESDM – perlu diperbanyak untuk meningkatkan penerimaan publik. Dari sisi lingkungan makro, tantangan perubahan iklim justru jadi alasan kuat mempercepat energi terbarukan; namun ironisnya perubahan iklim juga bisa memengaruhi pola potensi energi (contoh: pola angin dan gelombang bisa berubah). Maka, fleksibilitas desain sistem agar tahan terhadap variabilitas alam harus diperhitungkan.
4. **Regulasi energi terbarukan maritim di Indonesia masih terbatas.** Permen ESDM No. 50/2017 mengatur tarif listrik EBT, namun implementasinya belum optimal, sementara RUU EBT diharapkan menjadi payung hukum yang lebih kuat dengan insentif fiskal,

kemudahan izin, dan kewajiban renewable portfolio bagi PLN. RUEN sudah menyinggung energi laut, tetapi perlu peta jalan yang jelas, termasuk skema feed-in tariff dan PPA jangka panjang. Koordinasi lintas sektor juga harus diperkuat, misalnya melalui task force energi maritim. Ke depan, arah pengembangan meliputi: peningkatan investasi riset dan kolaborasi internasional, proyek percontohan bertahap hingga skala komersial, insentif fiskal dan dukungan daerah, serta ekosistem inovasi melibatkan startup dan swasta. Konsistensi kebijakan jangka panjang penting untuk merealisasikan potensi energi laut yang mampu memberi manfaat ekonomi, ekologis, dan memperkuat posisi Indonesia di kancah maritim global.

Simpulan

Indonesia memiliki potensi besar energi terbarukan maritim seperti OTEC, arus dan gelombang laut, angin lepas pantai, surya terapung, serta bioenergi mikroalga yang berperan penting dalam mengurangi emisi, menjaga ekosistem laut, mendukung ekonomi pesisir, serta memperkuat kedaulatan energi dan visi sebagai Poros Maritim Dunia. Meski potensinya mencapai puluhan gigawatt, pemanfaatannya masih rendah akibat kendala biaya investasi, keterbatasan teknologi dan infrastruktur, isu sosial-lingkungan, serta regulasi yang belum optimal. Untuk itu, diperlukan strategi berupa riset dan kolaborasi internasional, proyek percontohan, insentif kebijakan, serta pelibatan masyarakat sejak dini. Pemerintah telah menargetkan bauran energi baru terbarukan 23% pada 2025, namun implementasinya di sektor kelautan perlu dipercepat. Transformasi energi maritim menjadi langkah strategis menjawab kebutuhan energi yang meningkat, ancaman perubahan iklim, dan tuntutan pembangunan berkelanjutan, sehingga mampu mewujudkan keamanan energi nasional, perlindungan ekosistem laut, serta memperkokoh posisi Indonesia sebagai negara maritim berdaya saing global.

Daftar Pustaka

- Antara News. (2021, 31 Mei). *Teknologi energi panas laut berpotensi dikembangkan di Bali*. Jakarta: Kantor Berita Antara.
- Antara News. (2023, 5 Desember). *Kementerian ESDM dukung inovasi kembangkan potensi energi wilayah laut*. Jakarta: Antara.
- Kementerian ESDM. (2019). *Potensi Energi Laut Indonesia (Infografis)*. Jakarta: Kementerian ESDM & Antara.
- Langer, J., Quist, J., & Blok, K. (2022). Upscaling scenarios for ocean thermal energy conversion in Indonesia including technological learning. *Energy* (under review).
- Ma'arif, S., & Kulla, I. H. I. (2024). Potensi Energi Baru Terbarukan di Kawasan Maritim Indonesia: Tinjauan Teknologi dan Tantangan Implementasi. *Jurnal Serina Sains, Teknik dan Kedokteran*, 2(1), 71–86.

- Nugroho, N. A. P., Ulfa, D. K., Nanda, I. R., et al. (2025). The Future of Wind Power Plants in Indonesia: Potential, Challenges, and Policies. *Sustainability*, 17(3), 1312.
- Pambudi, N. A., & Saw, L. H. (2020). Indonesia offshore wind energy: Initial resource potential perspective. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588, 032049.
- Widarti, P. (2013, 18 Desember). *Pilot Project Pembangkit Energi Laut Butuh Investasi US\$5.000/kWh*. Bisnis.com.
- Briscoe, J., & He, Q. (2024). Piezoelectric energy harvester technologies: Synthesis, mechanisms, and multifunctional applications. *ACS Applied Materials & Interfaces*.
- Cullen, H. M., Spalding, M., & Adams, J. (2020). Marine renewable energy and biodiversity: Mapping environmental interactions. *Marine Policy*, 115, 103857.
- International Renewable Energy Agency [IRENA]. (2020). *Innovation Outlook: Ocean Energy Technologies*. Abu Dhabi: IRENA.
- Kementerian ESDM. (2017). Peraturan Presiden RI No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).
- Kementerian ESDM. (2017). Permen ESDM No. 50/2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (dan perubahan terkait).
- PLN (Perusahaan Listrik Negara). (2023). Presiden Jokowi Resmikan PLTS Terapung Cirata 192 MWp (Siaran Pers).
- Kementerian ESDM. (2023). Presiden RI Resmikan PLTS Terapung Terbesar di Asia Tenggara (Artikel Media Center).
- International Maritime Organization (IMO). (2023). 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships.
- Langer, J., et al. (2021). *Plant siting and economic potential of ocean thermal energy conversion (OTEC)*. University of Twente Research Information. (Rekomendasi feed-in tariff ~US\$0,18/kWh).
- Pranowo, W., dkk. (2024). *Preliminary Study of OTEC Installations in North Bali (5 MW, closed-cycle)*. SSRN.
- Anggraini, T. S., dkk. (2023). Development of Ocean Renewable Energy Model in Indonesia. *ISPRS Archives*.
- Orhan, K., Mayerle, R., Narayanan, R., & Pandoe, W. (2017). Investigation of the Energy Potential from Tidal Stream Currents in Indonesia. *Coastal Engineering Proceedings*. (Dirujuk dalam Brown et al., 2019).
- Santoso, M. A., dkk. (2023). Wave Energy Converters: Technology, Potential, and Current Research in Indonesia. Kyushu University Repository.