

Tinjauan Potensi Energi Panas Laut (OTEC) di Perairan Indonesia berdasarkan Karakteristik Oseanografi

Ima Nurmalia Permatasari*, dan Vani Apriani

Prodi Oseanografi, Fakultas Teknik dan Ilmu kelautan, Universitas Hang Tuah, Jl. Arif Rahman Hakim 150 Surabaya

*e-mail Korespondensi: ima.nurmalia@hangtuah.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 10 Maret 2026
Disetujui : 30 April 2026
Terbit Online : 30 Mei 2026

Kata Kunci:

OTEC, energi panas laut,
temperatur laut, termoklin,
gradien temperatur

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) di perairan Indonesia berdasarkan karakteristik oseanografi yang mendukung pemanfaatan energi panas laut. Kajian dilakukan melalui studi literatur komparatif terhadap tiga penelitian utama yang membahas potensi OTEC di Nusa Tenggara Timur, Selat Makassar, dan perairan Indonesia secara umum. Analisis difokuskan pada karakteristik temperatur permukaan dan laut dalam, perbedaan temperatur vertikal (ΔT), struktur termoklin, serta faktor oseanografi yang memengaruhi distribusi temperatur. Hasil kajian menunjukkan bahwa Nusa Tenggara Timur dan Selat Makassar memiliki karakteristik termal yang mendukung pengembangan OTEC, ditunjukkan oleh ΔT sekitar 20–24°C antara lapisan permukaan dan laut dalam. Kondisi tersebut berkaitan dengan keberadaan perairan permukaan yang relatif hangat dan massa air laut dalam yang lebih dingin. Struktur temperatur vertikal di kedua wilayah juga dipengaruhi oleh dinamika oseanografi regional, termasuk Indonesian Throughflow, monsun, upwelling, dan pencampuran vertikal, yang dapat memengaruhi kedalaman termoklin dan variabilitas ΔT . Perbedaan sumber data antarpelitian menunjukkan bahwa nilai ΔT perlu dievaluasi secara spasial dan temporal sebelum digunakan sebagai dasar penentuan lokasi OTEC. Dengan demikian, potensi OTEC di Indonesia tidak hanya ditentukan oleh besarnya ΔT , tetapi juga oleh kestabilan struktur termal, kedalaman termoklin, karakteristik massa air, dan dinamika oseanografi. Hasil kajian merekomendasikan penguatan observasi dan pemodelan oseanografi jangka panjang di wilayah potensial sebagai dasar penetapan lokasi prioritas pengembangan OTEC berbasis data.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di wilayah tropis sehingga memiliki karakteristik oseanografi yang sangat mendukung pemanfaatan energi panas laut atau *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) (Syamsuddin dkk., 2015). Perairan Indonesia, terutama kawasan timur, diketahui memiliki perbedaan temperatur yang cukup besar antara lapisan permukaan laut yang hangat dan lapisan laut dalam yang dingin. Gradien suhu ini menjadi komponen utama dalam sistem OTEC, di mana $\Delta T \geq 20^\circ\text{C}$ merupakan syarat minimum untuk menghasilkan energi secara efisien (Fadlillah dkk., 2024). Kondisi tersebut ditemukan secara konsisten di wilayah-wilayah yang memiliki kedalaman laut yang curam dekat garis pantai, seperti Nusa Tenggara Timur dan Selat Makassar, sehingga menjadikan Indonesia salah satu negara

dengan potensi OTEC terbesar di kawasan Asia Tenggara (Parsaulian dkk., 2025).

Meskipun memiliki potensi yang besar, pemanfaatan OTEC menghadapi sejumlah permasalahan teknis dan ilmiah. Tantangan utama adalah ketersediaan data suhu vertikal yang akurat dan konsisten, yang diperlukan untuk menilai kelayakan sebuah lokasi OTEC dalam jangka panjang (Herrera dkk., 2021). Selain itu, efisiensi sistem OTEC sangat dipengaruhi oleh parameter termodinamika seperti selisih suhu, jenis fluida kerja, dan desain sistem penukar panas (Wei-min dkk., 2022). Aspek teknis lain seperti korosi, biofouling, kebutuhan pipa laut dalam, serta biaya pembangunan instalasi OTEC juga menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan sebelum implementasi skala besar (Azpah dkk., 2022; Hammad dkk., 2020). Oleh karena itu, penelitian mengenai profil temperatur laut dan analisis

termodinamika sangat diperlukan dalam mendukung perencanaan teknologi energi panas laut di Indonesia.

Selain kajian potensi berbasis perbedaan temperatur laut, beberapa penelitian internasional juga menekankan pentingnya analisis sistem OTEC secara menyeluruh yang mencakup optimasi siklus termodinamika, pemilihan fluida kerja, serta desain penukar panas untuk meningkatkan efisiensi konversi energi panas laut. Studi terdahulu menunjukkan bahwa kinerja sistem OTEC sangat sensitif terhadap konfigurasi sistem Rankine dan karakteristik perpindahan panas antara air laut hangat dan dingin (Herrera dkk., 2021; Nickoloff dkk., 2025). Penelitian lain juga mengkaji pengaruh variasi desain penukar panas dan parameter operasional terhadap efisiensi sistem OTEC, serta menekankan perlunya pendekatan teknis-termodinamika yang terintegrasi dalam perencanaan instalasi OTEC skala besar (Abbas dkk., 2022; Chung, 2024). Dengan demikian, kajian potensi OTEC tidak hanya memerlukan analisis temperatur laut, tetapi juga pemahaman mendalam terhadap aspek teknis dan termodinamika sistem secara keseluruhan.

Sejumlah penelitian di Indonesia telah mengkaji potensi OTEC secara lebih rinci. Penelitian oleh (Fadllillah dkk., 2024) menunjukkan bahwa wilayah Nusa Tenggara Timur memiliki ΔT stabil yang memenuhi persyaratan operasional OTEC berdasarkan data suhu permukaan dan kedalaman laut dari pengukuran oseanografi. Penelitian lain oleh (Hammad dkk., 2020) di Selat Makassar menemukan bahwa wilayah tersebut memiliki gradien suhu rata-rata 22–24°C, dengan efisiensi teoritis yang sesuai untuk pengoperasian OTEC, menjadikan Selat Makassar salah satu kandidat terbaik untuk instalasi pembangkit energi panas laut. Kajian tersebut menegaskan pentingnya analisis spasial dan vertikal temperatur laut untuk menentukan kelayakan teknologi OTEC di wilayah pesisir Indonesia.

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian tersebut, kajian ini bertujuan untuk memberikan tinjauan komprehensif mengenai potensi energi

panas laut di Indonesia berdasarkan karakteristik oseanografi dan temuan penelitian terdahulu. Penulisan ini diharapkan memberikan manfaat dalam pengembangan energi terbarukan berbasis kelautan, menyediakan dasar ilmiah bagi perencanaan kebijakan energi nasional, serta membuka peluang penelitian lanjutan dalam pemanfaatan energi panas laut untuk menjawab kebutuhan energi masa depan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada kajian ini disusun berdasarkan telaah terhadap tiga penelitian utama dengan pendekatan komparatif deskriptif yang membahas potensi energi panas laut (OTEC) di Indonesia. Ringkasan metode masing-masing penelitian disajikan pada Tabel 1. Secara umum, ketiga penelitian menggunakan pendekatan analisis temperatur laut vertikal, penentuan nilai selisih suhu (ΔT), serta penerapan teori termodinamika untuk menghitung potensi energi OTEC. Perbedaan metode terletak pada sumber data dan teknik analisis, di mana penelitian di Nusa Tenggara Timur menggunakan basis data global, penelitian di Selat Makassar memanfaatkan data pengukuran langsung, sedangkan kajian nasional menggunakan pendekatan kajian pustaka teknis.

Beberapa tahapan yang dilakukan yaitu: (1) identifikasi dan penelusuran literatur, (2) seleksi penelitian berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, (3) ekstraksi data dan informasi metodologis, (4) tabulasi hasil penelitian, dan (5) analisis komparatif deskriptif. Alur tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran mengenai persamaan dan perbedaan pendekatan yang digunakan dalam mengkaji potensi OTEC di Indonesia.

Jenis Penelitian termasuk dalam narrative literature review dengan proses pencarian literatur secara terstruktur, dengan membandingkan metode, sumber data, parameter termodinamika, dan hasil utama dari penelitian terdahulu. Analisis difokuskan pada tiga penelitian utama, yaitu Fadllillah dkk. (2024), Hammad dkk. (2020), dan Azpah dkk. (2022).

Tabel 1. Metode masing-masing penelitian

No	Peneliti	Lokasi	Sumber Data	Metode Analisis	Hasil Utama
1	Fadllillah dkk. (2024)	Nusa Tenggara Timur	Data temperatur laut sekunder (<i>World Ocean Atlas</i>)	Analisis suhu vertikal, perhitungan ΔT dan efisiensi Carnot	Identifikasi wilayah potensial OTEC ($\Delta T \geq 20^\circ\text{C}$)

No	Peneliti	Lokasi	Sumber Data	Metode Analisis	Hasil Utama
2	Hammad dkk. (2020)	Selat Makassar	Data temperatur laut hasil pengamatan stasiun oseanografi	Analisis profil suhu vertikal dan estimasi daya OTEC	Estimasi potensi energi OTEC berbasis data lapangan
3	Azpah dkk. (2022)	Perairan Indonesia	Data sekunder dari publikasi ilmiah	Kajian pustaka teknis dan analisis deskriptif	Evaluasi kesiapan dan tantangan teknis OTEC nasional

Metode dalam analisis data dilakukan menggunakan analisis komparatif deskriptif. Analisis ini dilakukan untuk membandingkan setiap penelitian berdasarkan empat aspek utama, yaitu:

1. sumber dan karakteristik data, meliputi basis data global, data hasil pengukuran lapangan, maupun data yang diperoleh dari publikasi ilmiah;
2. metode analisis suhu, khususnya analisis profil suhu vertikal dan penentuan perbedaan suhu antara lapisan permukaan dan laut dalam;
3. pendekatan perhitungan potensi OTEC, meliputi penggunaan ΔT , efisiensi Carnot, maupun estimasi daya yang dapat dihasilkan; dan
4. hasil dan implikasi penelitian, terutama dalam menentukan wilayah potensial serta kesiapan pemanfaatan teknologi OTEC di Indonesia.

Hasil perbandingan kemudian digunakan untuk mengidentifikasi kelebihan, keterbatasan, serta perbedaan pendekatan yang digunakan oleh masing-masing penelitian. Dengan demikian, analisis tidak hanya membandingkan hasil akhir, tetapi juga mengevaluasi hubungan antara jenis data, metode analisis, parameter termodinamika, dan hasil estimasi potensi OTEC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kajian dari ketiga jurnal yang direview menunjukkan bahwa perairan Indonesia, khususnya wilayah timur, memiliki potensi energi panas laut yang sangat tinggi dan memenuhi persyaratan operasional sistem OTEC.

Karakteristik Oseanografi Perairan Nusa Tenggara Timur

Analisis dari penelitian (Fadlillah dkk., 2024) di perairan Nusa Tenggara Timur (NTT) menunjukkan bahwa nilai perbedaan suhu vertikal (ΔT) antara permukaan dan kedalaman mencapai $\geq$

20°C pada sebagian besar wilayah pengamatan. Profil temperatur laut pada penelitian tersebut memperlihatkan lapisan permukaan dengan temperatur 26–28°C, sementara pada kedalaman 800–1000 meter temperatur turun hingga 4–6°C. Berdasarkan nilai gradien suhu tersebut, efisiensi Carnot teoritis yang dihitung berada pada kisaran 6–7%, sehingga wilayah ini sangat layak untuk dikembangkan sebagai lokasi instalasi OTEC. Penelitian ini mengindikasikan bahwa wilayah NTT memiliki stabilitas termal yang baik sepanjang tahun, faktor yang sangat penting dalam menjaga konsistensi performa pembangkit OTEC.

Secara oseanografi, perubahan temperatur yang besar terhadap kedalaman menunjukkan adanya struktur vertikal temperatur yang kuat dan berkaitan dengan keberadaan lapisan termoklin. Lapisan ini merupakan zona perubahan temperatur yang relatif cepat terhadap kedalaman dan menjadi bagian penting dalam menentukan besarnya gradien temperatur vertikal. Karakteristik tersebut diperkuat oleh kajian Susanto dkk., (2007) yang menunjukkan bahwa kedalaman termoklin di kawasan Nusa Tenggara berkaitan dengan dinamika *Indonesian Throughflow* (ITF). Perubahan kedalaman termoklin dapat digunakan sebagai indikator perubahan struktur stratifikasi dan transport massa air di wilayah tersebut.

Selain struktur termoklin, karakteristik temperatur di sekitar Nusa Tenggara juga dipengaruhi oleh dinamika sirkulasi regional dan proses pencampuran. Kida dan Wijffels (2012) menunjukkan bahwa ITF membawa massa air hangat dari Samudra Pasifik, sementara angin monsun barat laut dapat memicu *upwelling* di sepanjang bagian utara Nusa Tenggara. Proses tersebut menyebabkan air bawah permukaan yang lebih dingin naik ke lapisan atas.

Secara oseanografi NTT merupakan wilayah yang potensial untuk dikaji lebih lanjut sebagai sumber energi panas laut karena memiliki kontras temperatur vertikal yang besar. Akan tetapi, karakteristik tersebut perlu dievaluasi secara spasial dan temporal untuk memastikan

bahwa gradien temperatur yang tinggi dapat dipertahankan pada berbagai kondisi musim. Pendekatan tersebut penting agar identifikasi potensi OTEC tidak hanya didasarkan pada nilai ΔT , tetapi juga mempertimbangkan dinamika oseanografi yang mengontrol distribusi dan kestabilan temperatur laut.

Karakteristik Oseanografi Selat Makassar

Penelitian kedua oleh (Hammad dkk., 2020) di Selat Makassar memberikan hasil yang sejalan. Penelitian ini menemukan bahwa gradien suhu vertikal di beberapa titik pengamatan mencapai 22–24°C, yang merupakan salah satu nilai ΔT tertinggi di Indonesia. Hal tersebut menghasilkan efisiensi Carnot teoritis yang serupa dengan wilayah NTT, yaitu berada dalam rentang 6–8%. Selain itu, penelitian ini menghitung potensi daya bersih yang dapat dihasilkan oleh instalasi OTEC skala menengah, dengan estimasi daya mencapai 13–14 MW pada titik-titik dengan ΔT tertinggi. Selat Makassar dinilai memiliki keuntungan geografis karena topografi dasar laut yang curam dan kedalaman yang cukup dekat dengan garis pantai, sehingga dapat mengurangi panjang pipa air laut dalam yang diperlukan dan menurunkan biaya instalasi.

Nilai ΔT menunjukkan adanya kontras temperatur vertikal yang kuat antara lapisan permukaan dan laut dalam. Selat Makassar berada di wilayah ekuatorial Indonesia yang memiliki temperatur permukaan relatif hangat. Selain itu, perairan Selat Makassar merupakan salah satu jalur utama *Indonesian Throughflow* (ITF) atau Arlindo yang menghubungkan massa air dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Karakteristik tersebut menyebabkan struktur temperatur dan massa air di Selat Makassar dipengaruhi oleh dinamika sirkulasi regional.

Putra dkk. (2020) menunjukkan bahwa Selat Makassar memiliki lapisan homogen dengan ketebalan sekitar 19,5–68,5 m dan lapisan termoklin dengan ketebalan sekitar 50–220 m. Temperatur pada lapisan homogen berkisar 25,35–29,94°C, sedangkan temperatur pada lapisan termoklin berada pada kisaran 12,09–29,22°C. Gradien temperatur rata-rata pada lapisan termoklin berkisar 0,07–0,14°C/m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Selat Makassar mempunyai struktur temperatur vertikal yang kuat dan bervariasi secara spasial.

Susanto dkk., (2012) menunjukkan bahwa aliran utama ITF di Selat Makassar memiliki karakteristik yang kuat pada lapisan termoklin, dengan kecepatan maksimum sekitar 0,8 m/s pada kedalaman sekitar 120 m selama musim tenggara.

Variasi tersebut menunjukkan bahwa sirkulasi massa air dapat berhubungan erat dengan struktur termoklin dan distribusi temperatur di Selat Makassar.

Prihatini dkk., (2016) menemukan adanya turbulensi vertikal yang relatif kuat pada lapisan termoklin Selat Makassar, terutama pada kedalaman sekitar 100–200 m di bagian utara. Proses turbulensi tersebut dapat berperan dalam pertukaran panas dan massa air secara vertikal sehingga memengaruhi bentuk dan ketebalan termoklin.

Karakteristik termal Selat Makassar merupakan hasil interaksi berbagai proses oseanografi. Temperatur permukaan yang relatif tinggi menyediakan sumber panas, sedangkan massa air yang lebih dingin pada lapisan bawah menyediakan sumber dingin. Sementara itu, arus ITF, angin monsun, pencampuran vertikal, dan gelombang internal memengaruhi distribusi temperatur dan struktur termoklin.

Karakteristik Oseanografi di Seluruh Perairan Indonesia

Sementara itu, penelitian oleh (Azpah dkk., 2022) memberikan gambaran umum kondisi teknis dan tantangan implementasi OTEC di seluruh perairan Indonesia. Kajian ini menunjukkan bahwa meskipun potensi termal laut Indonesia cukup besar, terdapat beberapa hambatan teknis seperti risiko korosi, biofouling, kebutuhan pipa laut dalam hingga lebih dari 1000 meter, serta biaya operasional yang tinggi. Namun, penelitian ini menegaskan bahwa wilayah Indonesia timur tetap menjadi lokasi paling menjanjikan untuk pengembangan OTEC karena profil suhu vertikalnya yang stabil, kedalaman laut yang memadai, dan ketersediaan data oseanografi yang lebih lengkap dibandingkan wilayah lain.

Posisi Indonesia di wilayah tropis menjadi faktor penting dalam ketersediaan sumber daya panas laut. Temperatur permukaan laut yang relatif tinggi pada wilayah tropis menyediakan lapisan air hangat, sedangkan keberadaan massa air dingin pada kedalaman tertentu menciptakan gradien temperatur vertikal.

Jika dibandingkan, ketiga jurnal menunjukkan konsistensi bahwa NTT dan Selat Makassar merupakan dua wilayah dengan potensi energi panas laut tertinggi di Indonesia. Secara umum, nilai ΔT yang ditemukan pada dua lokasi tersebut berada pada kisaran ideal untuk menjalankan sistem OTEC secara efisien. Perbedaan utama antara kedua lokasi adalah karakteristik topografi. Selat Makassar memiliki kedalaman

curam lebih dekat ke garis pantai dibandingkan sebagian wilayah NTT, sehingga lebih efisien untuk instalasi pipa laut dalam. Namun, dari sisi stabilitas suhu, wilayah NTT menunjukkan variasi suhu vertikal yang lebih konsisten sepanjang tahun berdasarkan analisis data oseanografi multi-tahun.

Temuan dari ketiga jurnal menunjukkan bahwa pengembangan OTEC di Indonesia secara teknis sangat memungkinkan, terutama dengan dukungan profil termal laut yang sesuai. Namun, implementasinya memerlukan kajian lanjut terkait desain teknis, analisis ekonomi, dan pemilihan lokasi prioritas. Hasil ini juga menegaskan bahwa potensi OTEC di Indonesia harus dipertimbangkan sebagai bagian dari strategi transisi energi nasional, mengingat stabilitas energi panas laut jauh lebih tinggi dibandingkan sumber energi terbarukan lain seperti angin dan matahari.

Indikator oseanografi yang paling penting dalam menentukan lokasi potensial OTEC adalah temperatur permukaan laut, temperatur laut dalam, ΔT , kedalaman termoklin, gradien temperatur vertikal, karakteristik massa air, dan variabilitas temporal. Kombinasi parameter tersebut memberikan gambaran yang lebih komprehensif dibandingkan hanya menggunakan satu nilai ΔT .

Secara keseluruhan, kajian ini menunjukkan bahwa NTT dan Selat Makassar merupakan wilayah yang memiliki karakteristik oseanografi yang mendukung pengembangan OTEC. Namun, penetapan lokasi prioritas masih memerlukan kajian oseanografi yang lebih rinci melalui integrasi data World Ocean Atlas, data model oseanografi seperti HYCOM, pengamatan CTD, dan data Argo. Pendekatan tersebut dapat digunakan untuk memperoleh gambaran tiga dimensi mengenai distribusi temperatur, kedalaman termoklin, struktur massa air, serta variabilitas sumber daya termal secara spasial dan temporal.

Dengan demikian, dari perspektif oseanografi, potensi OTEC Indonesia terutama ditentukan oleh interaksi antara pemanasan lapisan permukaan, pembentukan dan perubahan termoklin, keberadaan massa air laut dalam yang dingin, serta dinamika sirkulasi regional. Pemahaman terhadap proses-proses tersebut menjadi dasar penting sebelum suatu wilayah dinyatakan sebagai lokasi prioritas pengembangan OTEC.

Analisis Kelebihan dan Kekurangan dari Perspektif Oseanografi

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap ketiga penelitian, terdapat perbedaan kekuatan

metodologis dalam menggambarkan karakteristik oseanografi sumber daya termal laut. Fadllillah dkk. (2024) memiliki keunggulan dalam cakupan spasial karena menggunakan data World Ocean Atlas (WOA), sehingga mampu memberikan gambaran distribusi temperatur secara luas di perairan Nusa Tenggara Timur. Pendekatan tersebut efektif untuk identifikasi awal wilayah dengan gradien temperatur vertikal yang tinggi. Namun, penggunaan data sekunder dan klimatologis menyebabkan representasi terhadap kondisi oseanografi lokal dan variabilitas temporal menjadi terbatas. Selain itu, parameter yang dianalisis masih didominasi oleh temperatur dan ΔT , sedangkan faktor oseanografi seperti struktur termoklin, massa air, salinitas, arus, dan proses pencampuran belum dibahas secara mendalam.

Hammad dkk. (2020) memiliki keunggulan dari sisi kualitas data karena menggabungkan data HYCOM dengan data CTD sebagai verifikasi. Pendekatan tersebut memungkinkan karakteristik temperatur vertikal dianalisis dengan lebih baik sekaligus memberikan cakupan spasial melalui data model. Keunggulan ini menjadikan hasil penelitian lebih representatif dalam menggambarkan kondisi termal pada stasiun pengamatan di Selat Makassar. Meskipun demikian, analisis masih berorientasi pada identifikasi potensi OTEC berdasarkan ΔT sehingga proses oseanografi yang mengontrol variasi temperatur belum menjadi fokus utama. Padahal, Selat Makassar merupakan bagian penting dari sistem Indonesian Throughflow, sehingga dinamika massa air, arus, monsun, pencampuran vertikal, dan perubahan termoklin berpotensi memberikan pengaruh terhadap distribusi temperatur.

Sementara itu, Sanam, Azpah dkk. (2022) memiliki keunggulan dalam memberikan perspektif nasional mengenai potensi energi laut Indonesia. Kajian tersebut berguna untuk menempatkan hasil penelitian lokal di NTT dan Selat Makassar dalam konteks sumber daya energi laut Indonesia secara keseluruhan. Namun, dari perspektif oseanografi, penelitian tersebut memiliki keterbatasan karena tidak melakukan analisis mendalam terhadap struktur temperatur vertikal, kedalaman termoklin, ΔT , massa air, maupun variabilitas temporal pada lokasi tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini lebih tepat digunakan sebagai referensi pendukung dalam memberikan gambaran umum, bukan sebagai sumber utama untuk menjelaskan karakteristik oseanografi OTEC.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa ketiga penelitian memiliki fungsi yang saling melengkapi. Fadllillah dkk. (2024) kuat dalam identifikasi spasial menggunakan data klimatologis,

Hammad dkk. (2020) lebih kuat dalam representasi profil temperatur melalui kombinasi model dan observasi, sedangkan Sanam, Azpah dkk. (2022) memberikan konteks nasional. Namun, belum terdapat penelitian yang secara bersamaan mengintegrasikan temperatur permukaan laut, profil temperatur vertikal, kedalaman termoklin, karakteristik massa air, sirkulasi arus, dan variabilitas temporal dalam mengevaluasi potensi OTEC di wilayah Indonesia yang dikaji.

Dengan demikian, celah penelitian yang dapat diidentifikasi adalah perlunya pendekatan oseanografi yang lebih komprehensif untuk menjelaskan hubungan antara struktur temperatur vertikal dan dinamika laut dalam menentukan potensi sumber daya termal. Analisis tidak cukup hanya didasarkan pada nilai ΔT , tetapi perlu mempertimbangkan kedalaman dan ketebalan termoklin, gradien temperatur terhadap kedalaman, kestabilan massa air dingin, serta variasi kondisi termal secara musiman dan antartahun. Pendekatan tersebut akan menghasilkan pemahaman yang lebih kuat mengenai karakteristik oseanografi wilayah yang potensial untuk OTEC.

KESIMPULAN

Perairan Indonesia, khususnya Nusa Tenggara Timur dan Selat Makassar, memiliki karakteristik oseanografi yang mendukung pengembangan OTEC. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh temperatur permukaan yang relatif tinggi, temperatur laut dalam yang rendah, serta perbedaan temperatur vertikal (ΔT) yang mencapai sekitar 21°C di NTT dan rata-rata 23,57°C di beberapa lokasi Selat Makassar. Namun, potensi OTEC tidak hanya ditentukan oleh ΔT , tetapi juga oleh kedalaman termoklin, karakteristik massa air, sirkulasi laut, dan variabilitas temporal.

Implikasi kebijakannya adalah penetapan wilayah prioritas OTEC perlu berbasis pada data oseanografi yang terintegrasi dan berkelanjutan, bukan hanya data klimatologis atau nilai ΔT pada periode tertentu. Pemerintah dan lembaga terkait perlu memperkuat pengamatan CTD, Argo float, temperatur laut, arus, serta pemanfaatan data model dan satelit untuk memperoleh gambaran spasial dan temporal kondisi termal laut. Data tersebut diperlukan untuk memastikan kestabilan gradien temperatur dan memahami pengaruh dinamika oseanografi seperti monsun, Indonesian Throughflow, dan pencampuran vertikal.

Dengan demikian, NTT dan Selat Makassar dapat diprioritaskan sebagai wilayah untuk survei oseanografi lanjutan, tetapi belum dapat ditetapkan secara langsung sebagai lokasi pembangunan OTEC hanya berdasarkan nilai ΔT . Penetapan lokasi perlu

mempertimbangkan kombinasi ΔT , kedalaman termoklin, temperatur laut dalam, gradien temperatur vertikal, serta kestabilan kondisi termal. Pendekatan ini diharapkan dapat mendukung kebijakan pengembangan energi laut Indonesia yang berbasis data (evidence-based) dan sesuai dengan karakteristik oseanografi setiap wilayah.

SARAN

Berdasarkan hasil kajian, potensi energi panas laut di Indonesia memiliki kelebihan berupa stabilitas gradien suhu vertikal, kedalaman laut yang memadai dekat garis pantai, serta ketersediaan data oseanografi di wilayah timur yang cukup lengkap sehingga mendukung pengembangan sistem OTEC. Namun, penelitian yang ada masih memiliki kekurangan, terutama terkait keterbatasan data pengukuran temperatur laut secara kontinu, ketidakpastian efisiensi sistem jika diterapkan pada skala besar, serta keterbatasan kajian teknis mengenai biaya pemasangan dan pemeliharaan infrastruktur laut dalam. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya perlu difokuskan pada penelitian lapangan jangka panjang untuk memperoleh data suhu vertikal yang lebih representatif, kajian teknis-ekonomi yang rinci untuk menentukan kelayakan investasi, serta simulasi desain sistem OTEC yang sesuai dengan karakteristik oseanografi Indonesia. Selain itu, diperlukan kolaborasi antara lembaga penelitian, pemerintah, dan industri energi untuk mempercepat pemanfaatan energi panas laut sebagai bagian dari strategi ketahanan energi nasional.

REFERENSI

- Abbas, S.M., Alhassany, H.D.S., Vera, D. and Jurado, F. (2023) 'Review of enhancement for ocean thermal energy conversion system', *Journal of Ocean Engineering and Science*, 8(5), pp. 533–545.
<https://doi.org/10.1016/j.joes.2022.03.008>.
- Chung, Y.C. and Wu, C.I. (2024) 'Efficiency enhancement in ocean thermal energy conversion: A comparative study of heat exchanger designs for Bi2Te3-based thermoelectric generators', *Materials*, 17(3), p. 714.
<https://doi.org/10.3390/ma17030714>.
- Fadlillah, A.A.Z., Sanjaya, K.V.K., Arkananta, M.Z. and Darmawan, Y. (2024) 'Potensi panas laut sebagai energi baru terbarukan di

- perairan Kepulauan Nusa Tenggara Timur dengan metode Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)', *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 5(1), pp. 70–84. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.22080>.
- Hammad, F.K., Rochaddi, B., Purwanto, P. and Susmoro, H. (2020) 'Identifikasi potensi Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) di Selat Makassar', *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2), pp. 147–157. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.8058>.
- Herrera, J., Sierra, S. and Ibeas, A. (2021) 'Ocean thermal energy conversion and other uses of deep sea water: A review', *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), p. 356. <https://doi.org/10.3390/jmse9040356>.
- Kida, S. and Wijffels, S. (2012) 'The impact of the Indonesian Throughflow and tidal mixing on the summertime sea surface temperature in the western Indonesian Seas', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C9), C09007. <https://doi.org/10.1029/2012JC008162>.
- Nickoloff, A.G., Olim, S.T., Eby, M. and Weaver, A.J. (2025) 'An assessment of ocean thermal energy conversion resources and climate change mitigation potential', *Climatic Change*, 178, 103. <https://doi.org/10.1007/s10584-025-03933-4>.
- Parsaulian, K.S., Amir, A.A. and Gunawan, A.Z. (2025) 'Analisis potensi Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) di wilayah geografis Laut Barat Sumatera', *Metta: Jurnal Ilmu Multidisiplin*, 5(3), pp. 37–46. <https://doi.org/10.37329/metta.v5i3.4699>.
- Prihatini, D., Purba, M., Naulita, Y. and Purwandana, A. (2016) 'Vertical turbulent at thermocline layer in Makassar Strait', *International Journal of Marine Science*, 6(51), pp. 1–10. <https://doi.org/10.5376/ijms.2016.06.0051>.
- Putra, T.W.L., Kunarso, K. and Dwi K., A.R.T. (2020) 'Distribusi suhu, salinitas dan densitas di lapisan homogen dan termoklin perairan Selat Makassar', *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2), pp. 188–198. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.8078>.
- Sanam, S., Azpah, I.A., Suhaedi, M., Guna, R.A. and Supriyatna, D. (2022) 'Potensi energi laut di Indonesia sebagai sumber listrik baru terbarukan', *Inovtek Polbeng*, 12(2), pp. 172–178. <https://doi.org/10.35314/ip.v12i2.2862>.
- Susanto, R.D., Gordon, A.L. and Sprintall, J. (2007) 'Observations and proxies of the surface layer throughflow in Lombok Strait', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 112(C3), C03S92. <https://doi.org/10.1029/2006JC003790>.
- Susanto, R.D., Ffield, A., Gordon, A.L. and Adi, T.R. (2012) 'Variability of Indonesian throughflow within Makassar Strait, 2004–2009', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C9), C09013. <https://doi.org/10.1029/2012JC008096>.
- Syamsuddin, M.L., Attamimi, A., Nugraha, A.P., Gibran, S., Afifah, A.Q. and Oriana, N. (2015) 'OTEC potential in the Indonesian seas', *Energy Procedia*, 65, pp. 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.028>.
- Liu, W.M., Chen, F.Y., Ge, Y.Z., Peng, J.P., Liu, L., Yang, X., Song, J.Z. and Liu, K.L. (2022) 'Review of the ocean thermal energy conversion system efficiency research', *Coastal Engineering*, 41(4), pp. 441–450. <https://doi.org/10.12362/j.issn.1002-3682.20220711001>.