



Analisis Karakteristik Suhu di Perairan Laut Sulawesi Utara dan Potensinya Sebagai Sumber Energi Panas Laut

(*Analysis of Temperature Characteristics in the Sea Waters of North Sulawesi and its Potential as a Source of Marine Thermal Energy*)

Zulfa Siti Zakia*, Mirda Prisma Wijayanto

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia, 53122

*Corresponding author: zulfa.zakia@mhs.unsoed.ac.id

Received 16-03-2025, Revised 23-03-2025, Accepted 30-03-2025, Published 30-03-2025

Keywords:
Temperature,
Sea Water,
North Sulawesi,
OTEC.

ABSTRACT. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) reports that the earth's average temperature has increased over the past few years due to an increase in carbon dioxide (CO₂) gas emissions resulting from the remaining combustion of fossil fuels. As an effort to reduce CO₂ emissions, it is necessary to develop alternative energy that has minimal emissions. As a maritime country, Indonesia has abundant alternative energy from the sea. One of the strategies to manage the large amount of sea energy is to develop an Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). The purpose of this research is to analyze the temperature characteristics of the sea waters of North Sulawesi and their potential as a source of ocean thermal energy. We perform this research by using computational simulation method. The data used in this research are sea surface temperature and temperature at a depth of 600 meters obtained from the World Ocean Atlas. The data was taken from station 22623, located in the sea waters of Manado City, North Sulawesi, with coordinates 124,5°E/1,5°S. Then, we employ Ocean Data View to perform data processing. Based on data processing of the sea surface temperature characteristics, we obtained that the highest OTEC efficiency value was achieved in April, namely 7,57%, when the sea surface temperature was 29,58°C. While the lowest efficiency value was achieved in February, namely 7,21%, when the sea surface temperature was 28,3°C. The higher the efficiency value, the more optimized the OTEC system will work. Therefore, we conclude that the OTEC system in the sea waters of North Sulawesi will work most optimally in April.

PENDAHULUAN

Pada tahun 2021, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) melaporkan bahwa suhu rata - rata bumi mengalami kenaikan selama beberapa tahun terakhir dan menyebabkan perubahan iklim global. Kenaikan suhu bumi diakibatkan oleh peningkatan emisi gas karbon dioksida (CO₂). Menurut *International Energy Agency* (IEA), emisi CO₂ pada tahun 2021 paling banyak berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Lebih lanjut, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa 90% energi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan penduduk Indonesia dalam kurun waktu 30 tahun terakhir bersumber dari bahan bakar fosil. Sebagai upaya untuk mengurangi emisi CO₂ diperlukan pengembangan energi terbarukan yang bersih dan minim emisi.

Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang bersumber dari laut. Perairan laut Indonesia diperkirakan berpotensi menyerap energi panas matahari sebesar 1.000 watt/m². Salah satu upaya untuk mengelola besarnya potensi energi tersebut adalah dengan membangun sistem konversi energi panas laut atau yang dikenal sebagai OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*). OTEC bekerja seperti mesin kalor yaitu dengan memanfaatkan perbedaan suhu permukaan laut dan suhu pada kedalaman tertentu untuk kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Kementerian ESDM mengatakan bahwa Indonesia memiliki potensi OTEC terbesar di dunia, dimana diprediksi dapat menghasilkan daya listrik sekitar 240 GW.

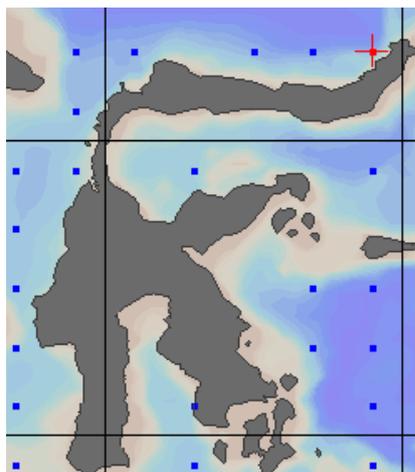
Melihat berbagai manfaat yang dihasilkan, penelitian mengenai potensi OTEC di Indonesia terus dilakukan diantaranya oleh [1-7]. Sistem OTEC tidak hanya menjadi solusi terkait masalah energi terbarukan, melainkan juga dapat menjadi solusi atas masalah masih rendahnya tingkat elektrifikasi di sebagian wilayah Indonesia Timur seperti Sulawesi Utara. Menurut kementerian ESDM, Sulawesi Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang masih berpotensi kekurangan listrik. Lebih lanjut, dikutip dari *Antarnews.com* pada tanggal 14 Juni 2022, di Sulawesi Utara masih membutuhkan energi listrik sebesar 500 MV [8]. Berdasarkan studi literatur, didapatkan bahwa analisis potensi OTEC di wilayah perairan laut Sulawesi Utara belum pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Oleh karena itu, sebagai kebaruan, dalam penelitian ini akan dianalisis potensi OTEC di perairan laut



Sulawesi Utara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji karakteristik suhu di perairan laut Sulawesi Utara dan potensinya sebagai sumber energi panas laut (OTEC). Sumber energi tersebut diharapkan dapat menjadi solusi untuk meningkatkan ketersediaan pasokan energi listrik di Sulawesi Utara. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu masyarakat dan pemerintah setempat dalam menyediakan sumber energi terbarukan di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka. Penelitian ini menggunakan data suhu air laut pada permukaan serta pada kedalaman 600 meter pada bulan Januari hingga Desember yang didapatkan dari WOA (*World Ocean Atlas*) untuk periode 1955-2018 [9]. Pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi ODV (*Ocean Data View*). Pengambilan data dilakukan pada stasiun 22623 yang terletak di Kota Manado, Sulawesi Utara dengan koordinat 124,5⁰E/1,5⁰S. Lokasi stasiun 22623 ditunjukkan oleh titik warna merah seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta perairan laut Sulawesi Utara. Sumber gambar: Pengolahan data dengan *Ocean Data View* (2025).

Tahapan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan pencatatan data suhu permukaan laut (kedalaman 0 meter), serta suhu pada kedalaman 600 meter yang dapat dilihat pada aplikasi ODV.
2. Merubah satuan data suhu (T) ke dalam satuan Kelvin.
3. Menghitung selisih suhu permukaan dengan suhu pada kedalaman 600 meter dengan rumus $\Delta T = T_p - T_h$, dimana:

ΔT = selisih suhu

T_p = suhu air laut di permukaan (kedalaman 0 meter) dalam satuan Kelvin

T_h = suhu air laut pada kedalaman tertentu

Perhitungan selisih suhu dilakukan untuk menentukan syarat OTEC dapat dibangkitkan. Dalam penelitian terdahulu oleh [10], dijelaskan bahwa OTEC dapat dibangkitkan apabila selisih suhu minimal antara permukaan dengan kedalaman tertentu adalah 20⁰C.

4. Menghitung efisiensi (η) OTEC dengan rumus:

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_p} \times 100\%$$

dimana, ΔT adalah selisih antara suhu permukaan dengan suhu pada kedalaman 600 meter dan T_p adalah suhu permukaan laut.

5. Membuat profil menegak dan melintang suhu terhadap kedalaman.
6. Melakukan analisis karakteristik suhu permukaan laut dan suhu pada kedalaman 600 meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

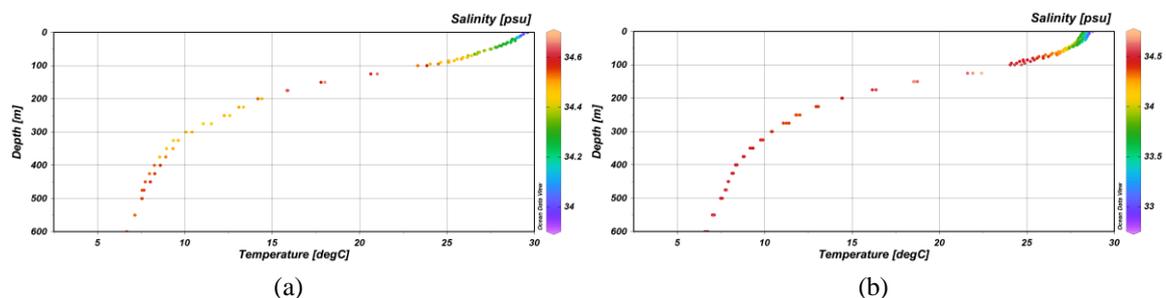
Penelitian diawali dengan pengambilan data suhu permukaan laut dan suhu pada kedalaman 600 m. Dengan menggunakan kedua data tersebut, dapat dihitung efisiensi OTEC yang mendeskripsikan perbandingan antara selisih suhu permukaan dan kedalaman tertentu dengan suhu permukaan laut. Semakin tinggi efisiensi menunjukkan bahwa sistem OTEC dapat bekerja dengan semakin baik. Data suhu permukaan laut, suhu pada kedalaman 600 meter, dan efisiensi rata-rata OTEC stasiun 22623 pada bulan Januari – Desember berdasarkan data WOA tahun 1955-2018 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data suhu di perairan Sulawesi Utara dan efisiensi OTEC

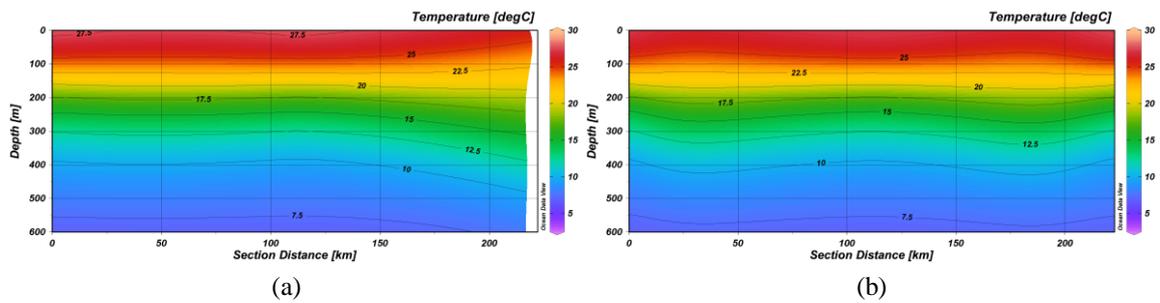
Bulan	T (K)		ΔT (K)	η (%)
	0 m	600 m		
Januari	301,43	279,71	21,72	7,21
Februari	301,3	279,58	21,72	7,21
Maret	301,38	279,52	21,86	7,25
April	302,58	279,67	22,91	7,57
Mei	302,64	279,8	22,84	7,55
Juni	302,64	279,9	22,74	7,51
Juli	302,11	279,67	22,44	7,43
Agustus	301,72	279,74	21,98	7,28
September	302,38	279,6	22,78	7,53
Oktober	302,11	279,77	22,34	7,39
November	301,97	279,59	22,38	7,41
Desember	301,82	279,67	22,15	7,34
Rata - rata	302,01	279,69	22,32	7,39

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai suhu permukaan laut di perairan Sulawesi Utara memiliki pola yang berbeda pada tiap bulannya. Pada bulan Januari hingga Juni, ketika musim barat dan musim peralihan I (pancaroba awal tahun), suhu permukaan laut memiliki rata – rata 302 K (29⁰C). Sedangkan pada bulan Juli hingga Desember, ketika musim timur dan musim peralihan II (pancaroba akhir tahun), suhu permukaan laut memiliki rata – rata 302,02 K (29,02⁰C). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu permukaan laut ketika musim barat dan musim peralihan II (pancaroba akhir tahun) lebih tinggi daripada ketika musim timur dan musim peralihan I (pancaroba awal tahun).

Nilai efisiensi tertinggi dicapai pada bulan April ketika suhu permukaan laut sebesar 302,58 K (29,58⁰C). Sedangkan, nilai efisiensi terendah dicapai pada bulan Februari ketika suhu permukaan laut sebesar 301,3 K (28,3⁰C). Berikut disajikan profil sebaran menegak dan melintang suhu terhadap kedalaman pada bulan April dan Februari.



Gambar 2. Profil menegak suhu dan kedalaman: (a) April, (b) Februari. Sumber gambar: Pengolahan data dengan *Ocean Data View* (2025).



Gambar 3. Profil melintang suhu dan kedalaman: (a) April, (b) Februari. Sumber gambar: Pengolahan data dengan *Ocean Data View* (2025).

Tingginya suhu permukaan laut pada musim timur dan musim peralihan II disebabkan oleh posisi matahari yang bergerak mendekati wilayah ekuator sehingga radiasi matahari yang diterima oleh perairan laut Sulawesi Utara akan lebih besar bila dibandingkan dengan musim barat dan musim peralihan I. Pada musim ini angin berhembus dari belahan dunia bagian barat dengan membawa arus dari belahan bumi selatan menuju perairan laut Sulawesi Utara. Arus ini membawa massa air laut panas akibat pemanasan terus-menerus dari radiasi matahari selama perjalanan menuju perairan laut Sulawesi Utara, sehingga suhu permukaan laut yang berada di perairan laut Sulawesi Utara relatif tinggi. Suhu permukaan laut yang rendah pada musim barat dan musim peralihan I disebabkan oleh posisi matahari pada musim ini yang berada pada Bumi Bagian Selatan (BBS), sehingga intensitas radiasi matahari yang diterima di perairan laut Sulawesi Utara cenderung lebih rendah dibandingkan dengan musim timur dan musim peralihan II.

Pembangkit listrik tenaga OTEC bekerja seperti mesin panas dengan memanfaatkan perbedaan suhu permukaan laut dan suhu pada kedalaman tertentu. Sebagai batasan masalah, dalam penelitian ini dipilih perbedaan suhu hingga kedalaman 600 meter untuk mendapatkan nilai perbedaan suhu optimal yang lebih dari 20°C sebagai syarat pembangkitan energi listrik oleh OTEC. Berdasarkan Tabel 1, didapatkan bahwa nilai rata-rata tahunan suhu permukaan laut dan suhu pada kedalaman 600 meter di perairan laut Sulawesi Utara masing-masing adalah 302,01 K (29,01°C) dan 279,69 K (6,69°C). Dengan demikian didapatkan nilai efisiensi rata-rata sebesar 7,39%. Secara fisis, semakin menuju laut dalam, suhu air laut akan semakin rendah. Pada kedalaman yang sama, semakin tinggi suhu permukaan laut, maka perbedaan suhu yang dihasilkan akan semakin tinggi. Jika perbedaan suhu semakin tinggi, maka nilai efisiensi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Dengan demikian, didapatkan bahwa OTEC di perairan laut Sulawesi Utara akan menghasilkan efisiensi terbesar pada bulan April yaitu sebesar 7,57% dan menghasilkan efisiensi terkecil pada bulan Februari yaitu sebesar 7,21%.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dianalisis karakteristik suhu di perairan laut Sulawesi Utara serta potensinya sebagai sumber energi berbasis *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC). Sistem pembangkit energi OTEC dapat bekerja jika perbedaan suhu permukaan laut dan suhu pada kedalaman tertentu lebih besar dari 20°C. Oleh karena itu, syarat kedalaman minimal agar sistem OTEC dapat bekerja adalah 600 meter. Berdasarkan pengolahan data karakteristik suhu permukaan laut Sulawesi Utara, didapatkan bahwa nilai efisiensi OTEC tertinggi dicapai pada bulan April yaitu 7,57% ketika suhu permukaan laut sebesar 29,58°C. Sedangkan nilai efisiensi terendah dicapai pada bulan Februari yaitu 7,21% ketika suhu permukaan laut sebesar 28,3°C. Semakin tinggi nilai efisiensi, maka sistem OTEC akan bekerja semakin optimal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem OTEC di perairan laut Sulawesi Utara akan bekerja paling optimal pada bulan April. Penelitian ini merupakan penelitian tahap awal untuk mengidentifikasi potensi energi panas laut sebagai sumber energi dengan metode OTEC. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, dapat dianalisis mekanisme pembangkitan energi listrik di perairan Sulawesi Utara dengan metode OTEC baik pada siklus tertutup ataupun siklus gabungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para reviewer yang telah memberikan saran dan masukan untuk meningkatkan kualitas naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. P. Wijayanto, dan Z. S. Zakia, “Potensi OTEC Sebagai Sumber Energi Bersih Masa Depan IKN Menuju Pembangunan Berkelanjutan,” *Indonesian Journal of Oceanography*, vol. 6, no. 3, pp. 275-284, 2024.
- [2] N.K.S. Andayani, D. Ilahude, A. Satriadi, dan Purwanto, “Studi Potensi OTEC Berdasarkan Distribusi Suhu, Salinitas dan Densitas di Perairan Timur – Utara Pulau Bali,” *Indonesian Journal of Oceanography*, vol. 2, no. 04, 2020.
- [3] Y.O. Andrawina, D.N. Sugianto, dan I. Alifdini, “Initial Study of Potency Thermal Energy Using OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) As A Renewable Energy for Halmahera Indonesia,” *IOP Conference Series*, 55, 012032, 2017.
- [4] E. Aprilia, A. Aini, Z.A. Frakusya, dan A. Safril, “Potensi Panas Laut Sebagai Energi Baru Terbarukan di Perairan Papua Barat dengan Metode Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC),” *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, vol. 6, no. 2, 2019.
- [5] F.K. Hammad, B. Rochaddi, Purwanto, dan H. Susmoro, “Identifikasi Potensi Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) di Selat Makassar Utara,” *Indonesian Journal of Oceanography*, vol.02, no.02, 2020.
- [6] C. Julianto, “Studi Potensi Pemanfaatan OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) Menggunakan Siklus Terbuka untuk Mengatasi Krisis Listrik dan Air Bersih di Pulau Lembata, Nusa Utara Timur.” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*, Yogyakarta, 2020.
- [7] J. Koto, dan R.B. Negara, “10 MW Plant Ocean Thermal Energy Conversion in Morotai Island, North Maluku, Indonesia,” *Journal of Subsea and Offshore*, vol.8, Desember 2016.
- [8] K.A. Polakitan, “Sulut masih butuh energi listrik 500 MW,” *Antarnews.com*, 14 Juni 2022, [Online]. Tersedia: <https://manado.antaranews.com/berita/204005/sulut-masih-butuh-energi-listrik-500-mw> [Diakses: 10 Maret 2025].
- [9] NOAA, “World Ocean Atlas,” National Centers for Environmental Information, 2018, [Online]. Tersedia: <https://odv.awi.de/data/ocean/world-ocean-atlas-2018/> [Diakses: 10 Maret 2025].
- [10] A.D. Morales, R.A.M. Sánchez, A.F. Osorio, dan L.J.O. Díaz, “Ocean thermal energy resources in Colombia,” *Renewable Energy*, 66, 759-769, 2014.