

POTENSI PANAS LAUT SEBAGAI ENERGI BARU TERBARUKAN DI PERAIRAN KEPULAUAN NUSA TENGGARA TIMUR DENGAN METODE OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION (OTEC)

Ahmad Arif Zulfan Fadlillah¹, Kadek Valerina Kitana Sanjaya¹, Muhammad Zaky Arkananta¹, Yahya Darmawan^{1#}

¹Program Studi Sarjana Terapan Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG), Indonesia;

Email : zulfanepic@gmail.com (A.A.Z.F), valerinasanjaya@gmail.com (K.V.K.S), zakyarkanant@gmail.com (M.Z.A), yahya.darmawan@bmgk.go.id (Y.D);

Abstrak : Energi terbarukan merupakan solusi terbaik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik demi keberlangsungan hidup manusia. Mengingat peningkatan yang terus menerus dalam kebutuhan energi listrik dan energi fosil juga semakin menipis, diperlukan inovasi baru dalam menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Salah satu metode yang digunakan adalah Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), yang menggunakan perbedaan temperatur antara laut dalam dan permukaan dengan selisih minimal 20 °C untuk menghasilkan energi listrik melalui mesin kalor. Kepulauan Nusa Tenggara Timur (NTT) merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki kekurangan pasokan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan OTEC di perairan Kepulauan NTT. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data suhu air laut dalam dan permukaan di perairan sekitar Kepulauan Nusa Tenggara Timur, yang diperoleh dari World Ocean Atlas 2013. Data tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak analisis data dan Ocean Data View (ODV). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perairan kepulauan Nusa Tenggara Timur memiliki potensi yang tinggi dengan tingkat efisiensi carnot > 7 % dengan potensi listrik yang dapat dihasilkan dari OTEC di wilayah kepulauan NTT adalah sekitar 2.527,4 GWh per tahun.

Kata Kunci : Kepulauan Nusa Tenggara Timur; Energi Terbarukan; OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion); Efisiensi Carnot

Abstract : Renewable energy is the best solution to meet the need for electrical energy for the sustainability of human life. Given the continuous increase in the need for electrical energy and the depletion of fossil fuels, new innovations are needed to produce renewable energy that is environmentally friendly. One of the methods used is

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2024, Vol. 5, No. 1, pp 70 – 84

Received : 14 Februari 2024

Accepted : 27 Februari 2024

Published : 18 Maret 2024



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), which uses the temperature difference between the deep sea and the surface with a minimum difference of 20°C to generate electrical energy through heat engines. East Nusa Tenggara (NTT) is one of the provinces in Indonesia that has a shortage of electricity supply. This research aims to evaluate the potential utilization of OTEC in the waters of the NTT Islands. The data used in this study are deep and surface seawater temperature data in the waters around the East Nusa Tenggara Islands, obtained from the World Ocean Atlas 2013. The data were then processed using data analysis software and Ocean Data View (ODV). The results showed that the waters of the East Nusa Tenggara islands have high potential with a carnot efficiency level of > 7% with the potential electricity that can be generated from OTEC in the NTT islands region is around 2,527.4 GWh per year.

Keywords : : Nusa Tenggara Islands; Renewable Energi; OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion); Carnot Efficiency

1. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu Negara kepulauan dengan potensi kelautan paling tinggi di dunia. Dibalik kekayaan tersebut, Indonesia juga memiliki variasi iklim dan potensi bencana terkait posisi geografis Indonesia yang kompleks (Darmawan et al. 2021). Pemanfaatan potensi kelautan diperlukan dalam menunjang pemenuhan kebutuhan Nasional salah satunya bidang energy. Nusa Tenggara Timur merupakan provinsi yang cukup jauh dengan ibu kota negara dan terpisah oleh lautan, memiliki masalah dengan pemenuhan kebutuhan akan energi listrik. Masih banyak sektor yang membutuhkan energi listrik mengingat daerah ini cukup banyak daerah Rural sehingga belum menyentuh listrik sama sekali. Jikalau ada listrik masih sangat sederhana dan hanya dimiliki di wilayah kabupaten utama. Masalah ini telah menjadi tantangan serius bagi pembangunan dan kesejahteraan masyarakat di daerah tersebut. Kelangkaan listrik di Nusa Tenggara Timur disebabkan oleh sejumlah faktor kompleks, termasuk infrastruktur yang terbatas, geografi yang sulit, serta keterbatasan sumber daya dan teknologi. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kelangkaan listrik di Nusa Tenggara Timur adalah infrastruktur yang belum sepenuhnya dikembangkan. Pulau-pulau kecil dan terpencil sulit dijangkau oleh jaringan listrik nasional, sehingga distribusi energi menjadi sulit dilakukan. Selain itu, faktor geografis seperti medan yang sulit dan cuaca buruk juga menjadi hambatan dalam membangun dan memelihara infrastruktur listrik.

Keterbatasan sumber daya dan teknologi juga berperan dalam masalah ini. Sumber daya energi yang di suplai pemerintah juga sangat kurang, dan itu membutuhkan biaya yang sangat besar. solusi yang bisa ditawarkan yaitu dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan hidro. Potensi energi terbarukan di Nusa Tenggara Timur sangat besar dan dapat menjadi solusi jangka panjang untuk mengatasi kelangkaan listrik. Pembangunan pemanfaatan energi terbarukan sangat menjanjikan, dengan banyak menghemat biaya dan energi yang diperoleh juga cukup besar dan berkelanjutan. Selain itu, investasi dalam teknologi kelistrikan modern ini dapat mengatasi ketersediaan listrik di NTT dan pendistribusiannya di pulau-pulau kecil. Karena untuk ke wilayah pesisir yang cukup jauh dari pusat kota dan aksesibilitas yang buruk ke wilayah tersebut menyulitkan PLN untuk mendistribusikan listrik di wilayah pesisir tersebut. Dari permasalahan tersebut, maka diusulkan

sebuah inisiatif yang disebut “Desain Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang sebagai Solusi Mengatasi Kekurangan Listrik di Wilayah Pesisir”. Konsep produk berfokus pada energi terbarukan dan pembangkit listrik ramah lingkungan untuk pemerataan distribusi listrik di wilayah pesisir. (Amheka 2018)

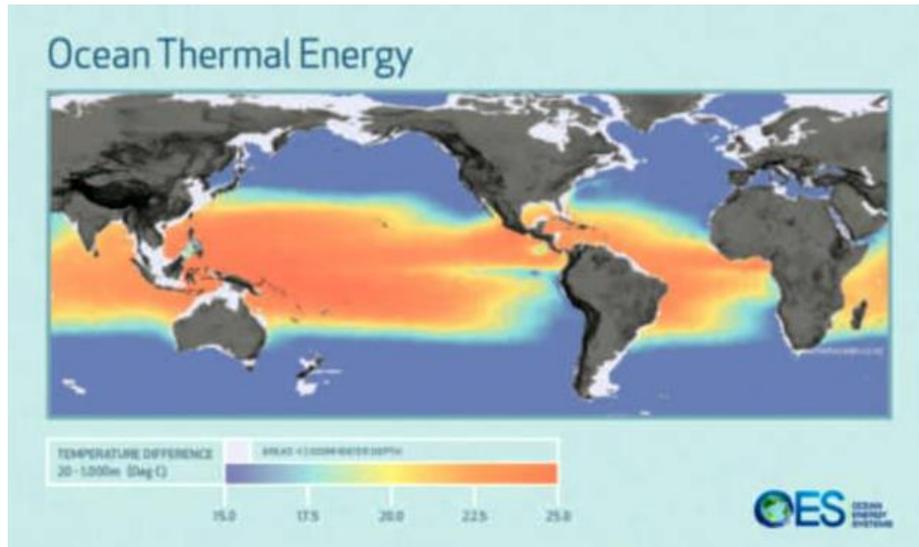
Pada Penelitian ini, terdapat potensi sangat menjanjikan di salah satu energi terbarukan, yaitu energi panas laut atau *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC). OTEC ini merupakan sebuah metode yang memanfaatkan perbedaan suhu yang sangat besar antara air permukaan yang hangat dan air laut dalam yang dingin untuk menghasilkan listrik. Sesuai dengan jenis pemanfaatannya energi ini juga dapat menjadi harapan dalam upaya kami untuk beralih dari bahan bakar fosil dan memerangi ancaman perubahan iklim yang terus membayangi karena terbilang aman dan juga ramah lingkungan (Arief and Fitri 2018). tentu ini menjadi salah satu keuntungan dari pemanfaatan OTEC. Dengan Perbedaan Gradien suhu dapat memutar Turbin untuk menghasilkan energi listrik. OTEC dapat digunakan jika memenuhi syarat seperti perbedaan suhu air laut pada permukaan dan pada kedalaman tertentu mencapai minimal 20°C (Myers et al, 1985) Untuk Nusa Tenggara Timur sendiri menurut data ODV (*Ocean Data View*) – WOA (*World Ocean Atlas*) memiliki rata-rata suhu permukaan laut sekitar 28°C dan pada kedalaman 600 meter suhu sekitar 7°C. Hal ini telah memenuhi syarat untuk memanfaatkan OTEC karena perbedaan suhu didapatkan sebesar $\geq 21^\circ\text{C}$.

Penelitian ingin mengidentifikasi potensi pemanfaatan energi termal laut sebagai sumber energi terbarukan di Perairan Kepulauan Nusa Tenggara Timur, yakni di Pulau Sumba, Pulau Timur, dan Pulau Flores, dengan menerapkan Metode *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC). Penelitian ini mencakup penyebaran sejumlah titik pengamatan di sekitar wilayah perairan kepulauan NTT yang saat ini belum memiliki pemahaman yang pasti mengenai lokasi yang paling optimal untuk pembangunan instalasi OTEC. Penelitian ini melaksanakan perhitungan efisiensi Carnot dari sistem OTEC untuk seluruh titik pengamatan di perairan kepulauan NTT, dengan tujuan mengidentifikasi titik yang memiliki potensi paling tinggi dalam hal efisiensi Carnot sebagai pembangkit listrik tenaga OTEC. Hasil temuan dari penelitian ini memiliki potensi untuk menjadi acuan bagi keputusan pembangunan pemerintah pusat dan daerah dalam mengembangkan sumber energi terbarukan OTEC guna memenuhi kebutuhan listrik di wilayah kepulauan NTT.

Penelitian diharapkan dapat menjawab masalah terkait pemenuhan energy listrik di masa mendatang dengan memanfaatkan potensi OTEC di perairan di sekitar kepulauan Nusa Tenggara Timur, terutama Pulau Sumba, Pulau Timur, dan Pulau Flores. Penelitian ini mencakup suhu rata-rata tahunan perairan, lokasi yang paling berpotensi untuk OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*), efisiensi Carnot pada pulau-pulau di wilayah tersebut, serta analisis variasi bulanan OTEC. Dengan demikian, Manfaat penelitian ini melibatkan pemanfaatan hasil penelitian sebagai dasar untuk merencanakan penggunaan potensi energi termal laut, memahami pola suhu di perairan tersebut, dan mendukung pengembangan infrastruktur OTEC. Dengan optimalisasi penggunaan energi termal laut, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik dalam jangka panjang. Selain itu, penelitian ini juga memberikan kontribusi dalam menghitung efisiensi konversi energi termal laut dalam konteks praktisnya.

2. Metode Penelitian

Secara teori, konversi energi panas laut (OTEC) adalah proses konversi energi panas laut untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan perbedaan suhu antara permukaan air hangat di permukaan laut di daerah tropis, dan air subtropis yang jauh lebih dingin di kedalaman laut (Rose 1985). OTEC memerlukan perbedaan suhu sekitar 20°C, OTEC membutuhkan perbedaan suhu sekitar 20°C, perbedaan suhu sebesar ini tersedia antara permukaan air dan pada kedalaman sekitar 1000 m dan sekitar 20° di khatulistiwa (Myers 1986) dalam energi laut potensial, OTEC memiliki lautan terbesar potensi energi Berbagai teknologi Memanfaatkan energi ini akan berdampak pada struktur termal lautan (Gambar 1).

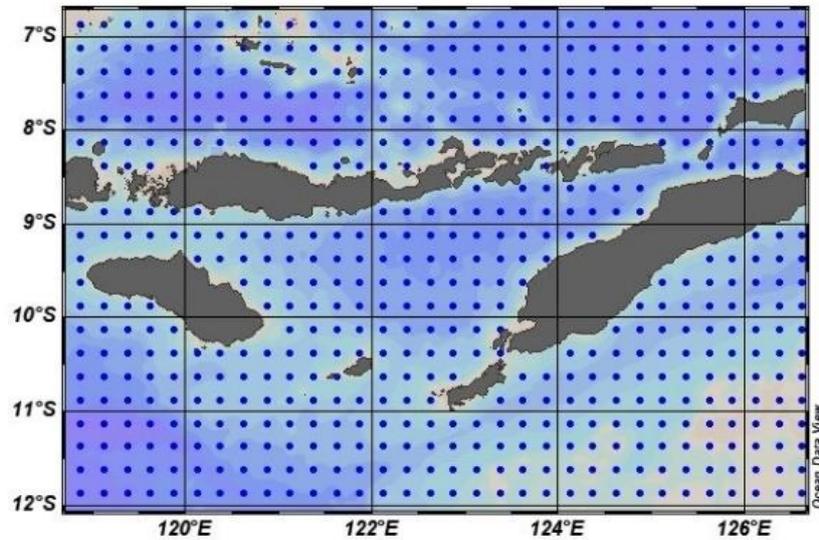


Gambar 1. Sumber daya daerah termal untuk OTEC (daerah kuning-merah) (IRENA,2014)

Sumber OTEC sangat umum. Setidaknya 98 negara dan wilayah telah diidentifikasi memiliki akses ke sumber panas OTEC dalam zona ekonomi eksklusif 200 nm mereka. Potensi ekonomi OTEC tidak hanya ditentukan oleh kualitas sumber OTEC tetapi juga tergantung pada kebutuhan negara yang berbeda. Banyak negara kepulauan bergantung pada diesel impor untuk pembangkit listrik, yang berdampak signifikan pada ekonomi dan output daya mereka. OTEC merupakan alternatif yang menarik, terutama jika dapat dikombinasikan dengan produksi air bersih. Pada saat yang sama, banyak negara kepulauan yang terisolasi dan memiliki akses logistik yang terbatas ke seluruh dunia. Mengirim komponen dan staf konstruksi dapat meningkatkan biaya dan menyebabkan keterlambatan konstruksi (IRENA, 2014).

2.1. Studi Area

Secara teori, konversi energi Lokasi yang dipilih sebagai fokus penelitian adalah perairan di Indonesia pada koordinat 121° BT - 127° BT dan 7° LS - 12° LS, tepatnya perairan di sekitar Kepulauan Nusa Tenggara Timur yang memiliki potensi OTEC yang perlu dieksplorasi. Menurut studi literatur yang dilakukan, potensi OTEC yang baik didapat apabila ΔT berkisar antara 20°C hingga 24°C, untuk efisiensi konversi energi (Gambar 2).



Gambar 2. Sebaran titik lokasi penelitian (Nusa Tenggara Timur)

2.2. Data

Data penelitian diperoleh dari situs *-World Ocean Atlas (WOA)* periode 2018. WOA adalah kumpulan data hasil analisis yang memaparkan temperatur, salinitas, kadar oksigen, persentase oksigen jenuh, kandungan zat terlarut lautan, dan komposisi musiman dan bulanan untuk lautan di seluruh dunia. Data yang dianalisis adalah data temperatur dari permukaan hingga pada kedalaman 1000 meter dari permukaan laut yang diunduh melalui <https://odv.awi.de/data/ocean/world-ocean-atlas-2018/>. Data yang diperoleh kemudian diproses melalui perangkat lunak ODV (*Ocean Data view*), ArcGIS 10.8 dan Microsoft Excel 2016 yang akan menyajikan data baik secara horizontal dan vertikal untuk mengetahui persebaran potensi temperatur pada luasan dan kedalaman tertentu (Darmawan et al. 2023).

2.3. Langkah penelitian

Adapun beberapa langkah utama dalam penelitian ini adalah (Gambar 3) :

1. Penentuan Lokasi Penelitian
2. Melakukan analisis suhu rata-rata tahunan di sekitaran perairan Kepulauan NTT.
3. Perhitungan Nilai Efisiensi Carnot untuk semua titik di sekeliling kepulauan NTT (Pulau Sumba, Pulau Timur dan Pulau Flores).
4. Ocean Thermal pada permukaan dan pada kedalaman tertentu harus dikonversikan untuk mendapat jumlah energi maksimum. Nilai energi yang akan didapat dari hasil konversi ini dapat dihitung melalui analisis nilai efisiensi carnot. Efisiensi carnot akan membantu menganalisis efektivitas transfer energi dari suhu hangat ke suhu dingin, seberapa banyak suhu yang akan tetap berada di dalam sistem dan nantinya terkonversi menjadi energi.

Pengolahan data temperatur lautan untuk mendapat nilai efisiensi carnot dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \left(1 - \frac{T_c}{T_w}\right) \times 100\% \quad (1)$$

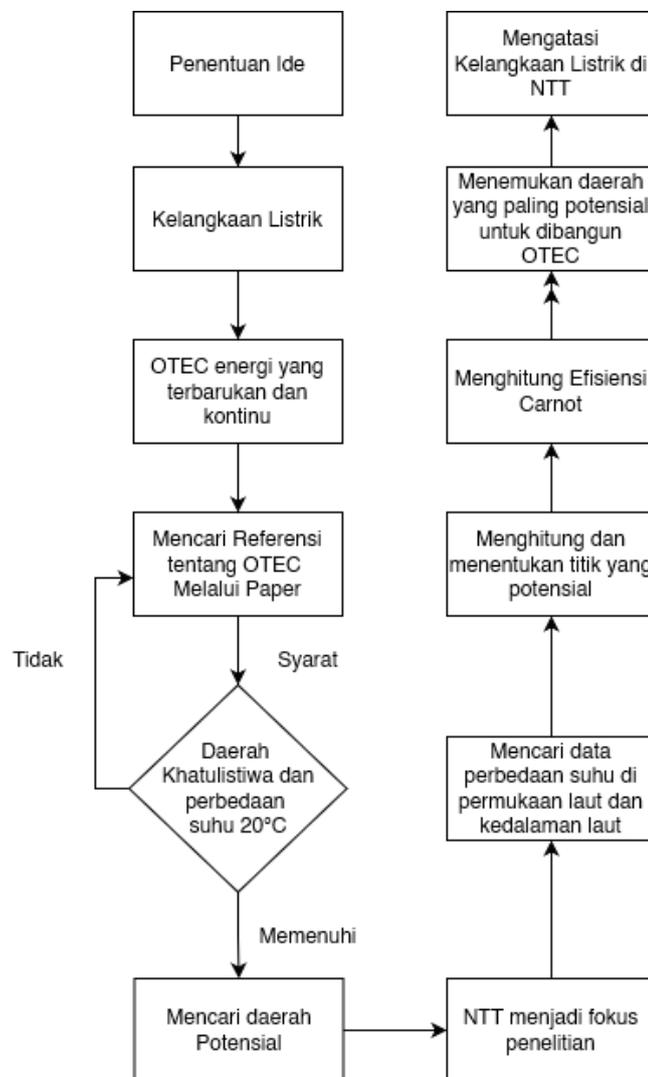
dengan:

η = efisiensi carnot

T_c = Temperatur absolut dari perairan dingin

T_w = Temperatur absolut dari perairan hangat

5. Pemilihan tiga titik paling berpotensi untuk OTEC berdasarkan nilai efisiensi carnot(%).
6. Melakukan perhitungan analisis variasi bulanan untuk titik di sekeliling kepulauan NTT (Pulau Sumba, Pulau Timur dan Pulau Flores).

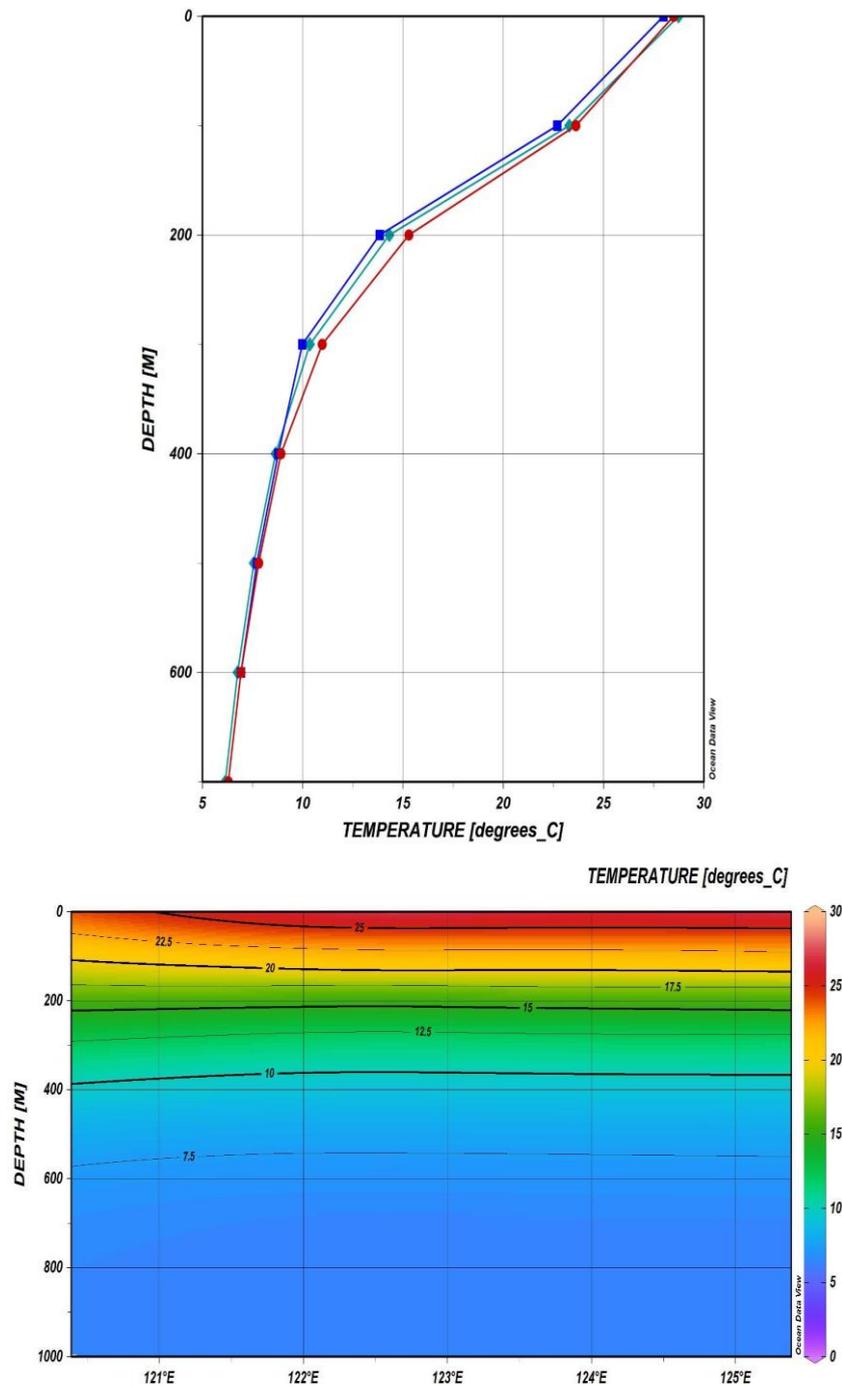


Gambar 3. Diagram Alur Penelitian OTEC di Nusa Tenggara Timur

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Suhu Rata-rata Tahunan Perairan Sekitar Nusa Tenggara Timur

Berdasarkan gambar di bawah, dapat diketahui nilai suhu permukaan di perairan Nusa Tenggara Timur yang cukup hangat sebesar $\geq 28^{\circ}\text{C}$. Suhu permukaan laut yang hangat di perairan Nusa Tenggara Timur disebabkan oleh letak perairan Nusa Tenggara Timur yang berdekatan dengan ekuator, sehingga perairan Nusa Tenggara Timur menerima penyinaran Matahari sepanjang tahun dengan intensitas yang tinggi pula (Gambar 4).



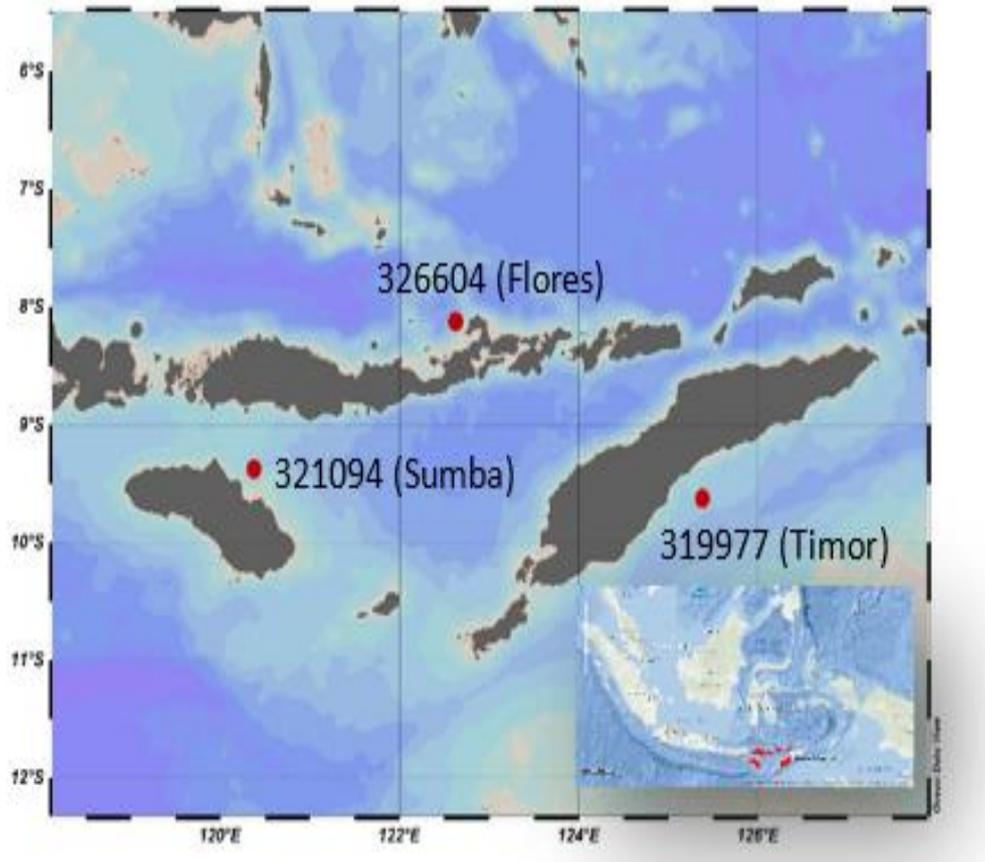
Gambar 4. Profil Suhu Rata-rata Tahunan Berdasarkan Kedalaman

Kedalaman laut dan penurunan suhu air laut memiliki korelasi yang signifikan, dimana semakin bertambah kedalaman laut, maka semakin menurun suhu air laut. Penurunan suhu ini akan menjadi stabil pada kedalaman tertentu (Purba et al. 2023, Putra et al. 2023). Perubahan suhu secara cepat pada lapisan perairan laut tertentu ini disebut dengan termoklin. Termoklin merupakan bagian dari lapisan perairan laut yang pada lapisan tersebut terjadi penurunan temperatur yang cepat terhadap kedalaman (Nontji, 1993). Lapisan termoklin standar memiliki gradien penurunan temperatur vertikal sebesar $\pm 0,05^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Suhu air laut pada kedalaman 600 meter di perairan Nusa Tenggara Timur berkisar pada suhu 7°C . Dari data suhu permukaan dan suhu pada kedalaman 600 meter, maka didapatkan perbedaan suhu air laut antara permukaan dengan pada kedalaman 600 meter adalah sekitar $\geq 21^{\circ}\text{C}$. Perbedaan suhu air laut pada permukaan dan pada kedalaman tertentu mencapai minimal 20°C merupakan salah satu syarat pemanfaatan OTEC. Dari sini dapat disimpulkan bahwa perairan Nusa Tenggara Timur sudah memenuhi syarat pemanfaatan OTEC karena didapatkan perbedaan suhu air laut sebesar $\geq 21^{\circ}\text{C}$.

3.2. Analisis Nilai Efisiensi Kepulauan NTT

Hasil perhitungan nilai efisiensi di 115 titik di wilayah perairan NTT menghasilkan nilai yang bervariasi (Gambar 2). Penghitungan nilai efisiensi dikelompokkan sesuai dengan pulau/kepulauan di NTT, dan dibagi menjadi tiga Pulau/Kepulauan, yakni. Pulau Sumba, Pulau Timor, dan Kepulauan Flores (Gambar 5). Nilai efisiensi terbesar di Pulau Sumba didapatkan pada titik 321094 yang mencapai angka 7,00%. Nilai efisiensi terbesar di Pulau Timor mencapai angka 7,16% pada titik 319977. Dan nilai efisiensi terbesar di kepulauan Flores terdapat pada titik 326604 mencapai angka 7,39%. Hal ini jika diasumsikan daya masuk atau input sebesar 100 KW, maka dengan efisiensi terbesar di Pulau Sumba dapat diestimasi hasil daya bersih yang didapatkan sebesar 7,00 KW. Dengan nilai efisiensi terbesar di Pulau Timor, estimasi daya bersih yang didapatkan sebesar 7,16 KW. Dan dari nilai efisiensi terbesar di Kepulauan Flores, estimasi daya bersih yang didapatkan sebesar 7,39 KW.

Kondisi perairan di Kepulauan Nusa Tenggara Timur yang termasuk ke dalam wilayah samudra Hindia ini tidak hanya memiliki suhu permukaan yang hangat, tetapi kedalaman yang dalam pula. Pada kedalaman dibawah 600 meter masih didapatkan perbedaan suhu lebih besar lagi yang menunjukkan adanya potensi OTEC yang lebih besar pula. Ketika suhu kedalaman yang didapatkan lebih rendah, maka perbedaan suhu air laut yang didapatkan akan semakin tinggi pula. Melalui perhitungan yang telah dilakukan, secara teoritis perbedaan suhu antara permukaan dengan kedalaman tertentu akan berbanding lurus dengan nilai efisiensi yang mewakili potensi listrik yang dihasilkan. Ketika perbedaan suhu air laut semakin besar, maka akan dihasilkan nilai efisiensi carnot yang semakin tinggi. Nilai efisiensi menentukan banyak sedikitnya energi yang dibuang oleh mesin saat proses konversi energi. Semakin besar nilai efisiensi maka semakin sedikit energi yang terbuang dari mesin, dan semakin banyak energi yang terkonversi menjadi energi listrik.



Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian (Nusa Tenggara Timur)

3.3. Analisis Bulanan Potensi OTEC

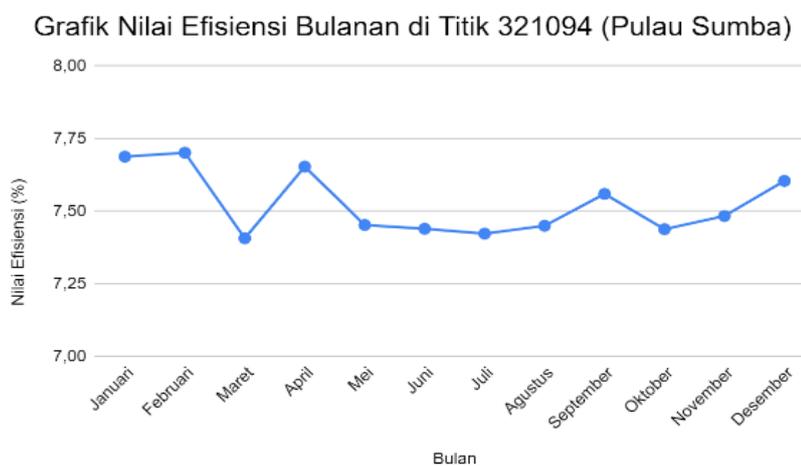
3.3.1. Analisis Variasi Bulanan di Pulau Sumba

Gambar 4 menunjukkan perbedaan suhu air laut antara suhu permukaan (T_w) dengan suhu pada kedalaman 600 meter (T_c) pada titik 321094 dari bulan Januari hingga bulan Desember (Tabel 1). Melalui perhitungan data pada titik 321094, didapatkan suhu rata-rata permukaan laut mencapai angka $28,0^{\circ}\text{C}$ dan suhu air laut rata-rata pada kedalaman 600 meter mencapai angka $6,92^{\circ}\text{C}$. Sehingga didapatkan rata-rata perbedaan suhu air laut di titik 321094 adalah sekitar $21,08^{\circ}\text{C}$, dengan nilai efisiensi rata-rata adalah 7,53%. Melalui gambar ini dapat dilihat bahwa nilai efisiensi tertinggi terjadi pada bulan Februari, dengan nilai yang mencapai angka 7,70%. Nilai terendah terjadi pada bulan Maret dengan nilai 7,41%. Dan secara kontinyu nilai efisiensi rendah terjadi pada kisaran bulan Mei hingga Agustus. Posisi titik 321094 yang berada pada belahan bumi bagian selatan (BBS) dimana pada bulan Februari matahari berada pada BBS, sehingga perairan pada titik 321094 dan sekelilingnya mendapat penyinaran matahari yang lebih lama dan intens yang berpengaruh secara signifikan pada peningkatan suhu permukaan air laut di area tersebut. Peningkatan suhu mempengaruhi nilai perbedaan suhu yang juga berpengaruh pada nilai efisiensi yang didapat. Sehingga, pada waktu dimana matahari menyinari titik 321094 lebih lama dari biasanya, energi listrik yang dikonversikan dari OTEC lebih banyak dari bulan lainnya.

Tabel 1. Suhu Air laut Bulanan Pada Permukaan 0 meter dan Kedalaman 600 meter di titik 321094

Bulan	Tw (°C)	Tc (°C)
Januari	29,0989	6,7281
Februari	27,8465	6,4008
Maret	29,122	7,5521
April	29,7191	6,974
Mei	27,736	7,066
Juni	26,6164	6,8156
Juli	26,8129	6,9105
Agustus	25,7837	6,5756
September	27,1661	6,6299
Oktober	28,3111	7,2535
November	28,6876	7,2193
Desember	29,1058	6,9729

Sebaliknya, pada saat matahari berada pada belahan bumi bagian utara (BBU) yang mencapai puncaknya pada bulan Juni, maka suhu permukaan air laut pada titik 321094 secara kontinyu menunjukkan nilai yang cukup rendah (Gambar 6). Hal ini berpengaruh kepada nilai efisiensi yang juga ikut menurun secara kontinyu hingga meningkat lagi pada bulan September. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh lamanya penyinaran matahari terhadap perbedaan suhu dan nilai efisiensi yang menentukan jumlah energi listrik yang akan terkonversi. Namun, suhu permukaan air laut pada bulan Maret menunjukkan adanya anomali, sehingga dapat diasumsikan bahwa adanya pengaruh lain selain gerak semu tahunan matahari yang mampu mempengaruhi nilai suhu permukaan air laut, terutama di daerah Nusa Tenggara Timur.



Gambar 6. Grafik Variasi Bulanan di Titik 321094

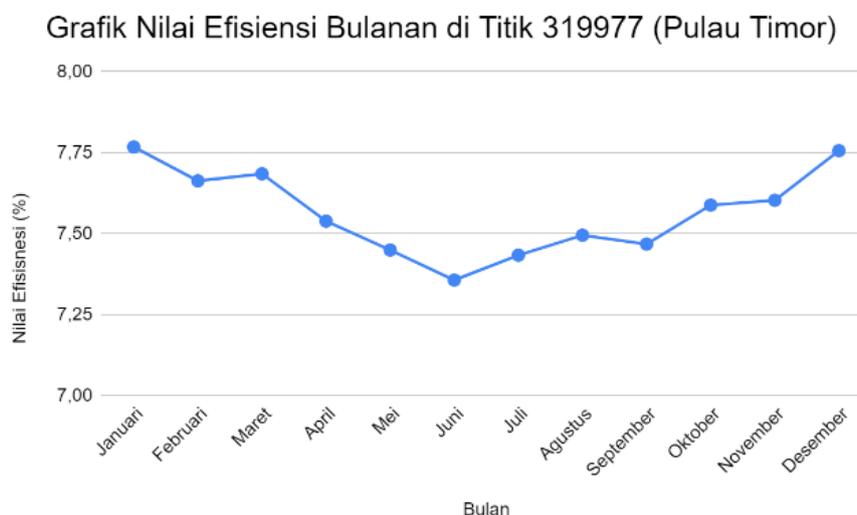
3.3.2. Analisis Variasi Bulanan di Pulau Timur

Berbeda dengan saat matahari berada di belahan bumi bagian utara (BBU), yang umumnya terjadi pada sekitaran bulan juni, suhu permukaan mencapai titik terendah yakni 26,25°C. Dan nilai efisiensi yang didapat merupakan nilai terkecil dibandingkan dengan pada bulan lainnya, yaitu hanya

mencapai angka 7,36%. Sehingga nilai energi listrik yang dihasilkan lebih kecil, tidak sebanding dengan energi listrik yang dihasilkan pada bulan-bulan lainnya. Tabel 2 menunjukkan nilai suhu air laut pada kedalaman 600 meter (T_c) dan suhu air laut permukaan (T_w) pada bulan Januari hingga Desember di titik 326604 yang nilai efisiensi tertinggi 7,72% dan terendah 7,53%. Dengan rata-rata suhu permukaan mencapai 28,75°C dan rata-rata suhu air laut pada kedalaman 600 meter mencapai 6,76°C. Sehingga didapatkan rata-rata perbedaan suhu antara permukaan air laut dengan suhu air laut pada kedalaman 600 meter adalah sekitar 21,99°C, dengan rata-rata nilai efisiensi 7,65% (Gambar 7).

Tabel 2. Suhu Air laut Bulanan Pada Permukaan 0 meter dan Kedalaman 600 meter di titik 319977

Bulan	T_w (°C)	T_c (°C)
Januari	29,9541	6,6862
Februari	29,4315	6,8775
Maret	29,2238	6,7653
April	29,5549	7,2745
Mei	28,0023	7,1422
Juni	27,6311	7,3042
Juli	26,2527	6,7377
Agustus	26,7856	6,7094
September	26,7129	6,7643
Oktober	28,2695	6,8178
November	29,8933	7,1648
Desember	30,4295	6,8269



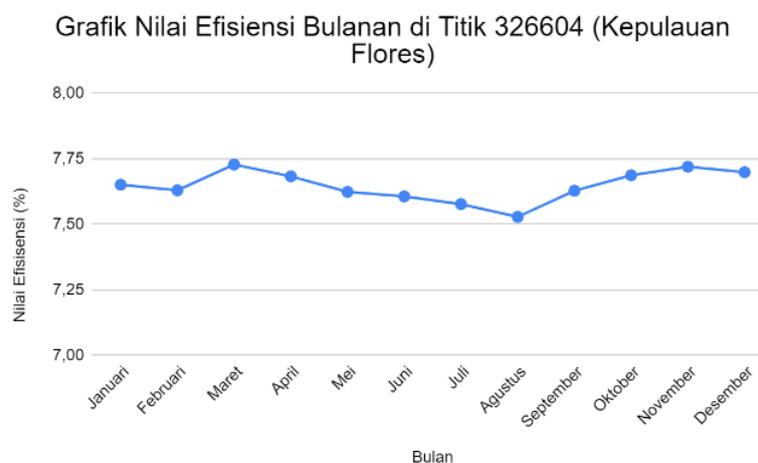
Gambar 7. Grafik Variasi Bulanan di Titik 319977

3.3.3. Analisis Variasi Bulanan di Pulau Flores

Melalui gambar 8, gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai efisiensi tertinggi di dapat pada bulan maret dan efisiensi terendah didapat pada bulan Agustus. Berbeda dengan pada Pulau Sumba dan Pulau Timor, posisi titik 326604 yang berada lebih dekat dengan ekuator menyebabkan sinar matahari lebih banyak diterima saat gerak semu matahari ada di antara Bumi Bagian Selatan dan Ekuator. Hal ini dibuktikan dengan nilai suhu permukaan air laut yang mencapai puncaknya yakni pada bulan November dengan nilai 29,91°C. Dari gambar ini didapatkan nilai efisiensi terbesar terjadi pada bulan Maret dan November karena perbedaan suhu pada kedua bulan itu cukup signifikan dibandingkan dengan bulan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa potensi energi listrik yang dihasilkan pada bulan Maret dan November akan mencapai kondisi maksimum untuk daerah kepulauan Flores (Tabel 3).

Tabel 3. Suhu Air laut Bulanan Pada Permukaan 0 meter dan Kedalaman 600 meter di titik 326604

Bulan	Tw (°C)	Tc (°C)
Januari	28,599	6,7189
Februari	28,289	6,7059
Maret	28,854	6,5566
April	29,3361	6,7982
Mei	29,0866	6,9128
Juni	28,7207	6,8757
Juli	28,0706	6,8026
Agustus	27,176	6,7174
September	28,0873	6,6629
Oktober	29,2353	6,7628
November	29,9134	6,8224
Desember	29,6445	6,8231



Gambar 8. Grafik Variasi Bulanan di Titik 326604

Sementara itu, saat matahari berada di antara bumi bagian selatan dan ekuator, yakni terjadi pada bulan Agustus, nilai efisiensi yang didapat adalah terkecil dibandingkan bulan-bulan lainnya. Hal ini terjadi dikarenakan sinar matahari yang menyinari daerah ini mulai berkurang sehingga terjadi penurunan suhu. Namun, tidak menutup kemungkinan bahwa adanya pengaruh lain dari kenaikan dan penurunan suhu permukaan air laut di perairan Kepulauan Flores sehingga mempengaruhi efisiensi pemanfaatan OTEC di daerah ini.

3.4. Analisis Listrik Potensial Menggunakan Pembangkit OTEC

Melalui data BPS provinsi NTT, didapatkan garis pantai di NTT adalah sepanjang 5700 km dengan sumber energi OTEC terbesar adalah 7,39%, sehingga panjang garis pantai yang dapat dimanfaatkan untuk OTEC adalah 421,23 km. Jika diasumsikan dipasang pembangkit OTEC 100MW sepanjang garis pantai NTT dengan jarak antar pembangkit OTEC yang dibangun adalah 10 km, maka perkiraan potensi listrik dari pembangkit OTEC yang dihasilkan mencapai 4212,3 MW listrik. Nilai kapasitas faktor OTEC adalah sebesar 0,8. Dengan demikian, perairan di sekitar NTT diperkirakan memiliki potensi listrik pembangkit OTEC sekitar 2.527,4 GWh/tahun. Seperti yang tertera pada tabel 4..

Tabel 4. Asumsi Kalkulasi Listrik Potensial OTEC

No.	Keterangan	Nilai
1	Sumber OTEC	5700 km
2	Prakiraan Potensi Listrik	4212,3 MW listrik
3	Efisiensi	7,39%
4	Kedalaman	600 meter
5	Listrik Potensial OTEC	2.527,4 GWh/tahun

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data, beberapa kesimpulan dapat diambil:

1. Perairan di sekitar kepulauan NTT memiliki potensial untuk menerapkan metode OTEC karena suhu perbedaan air laut yang melebihi 20°C, memenuhi persyaratan dasar untuk konversi energi termal laut menjadi listrik.
2. Hasil efisiensi OTEC bervariasi di berbagai titik pengamatan. Efisiensi tertinggi tercatat pada titik 326604, mencapai 7,39%, sementara efisiensi terendah terjadi di titik 314227 dengan nilai 5,62%.
3. Efisiensi OTEC menunjukkan variasi bulanan. Pada titik 319977, efisiensi tertinggi terjadi pada bulan Januari, sementara pada titik 321094, efisiensi tertinggi dicapai pada bulan Februari. Pada titik 326604, nilai efisiensi tertinggi tercatat pada bulan Maret dan November.
4. Posisi geografis titik pengamatan berpengaruh terhadap variasi efisiensi. Titik yang lebih dekat dengan ekuator cenderung memiliki puncak efisiensi pada bulan-bulan tertentu terkait posisi Matahari di belahan bumi.
5. Diperkirakan potensi listrik yang dapat dihasilkan dari OTEC di wilayah kepulauan NTT adalah sekitar 2.527,4 GWh per tahun. Namun, perlu dicatat bahwa hasil ini mungkin akan berubah

berdasarkan faktor-faktor teknis dan lingkungan yang lebih mendalam.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terimakasih jajaran struktural di Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) yang telah memberikan support dan dukungan selama penulis melaksanakan perlombaan ini.

Daftar Pustaka

- Amheka, A. (2018). Peranan Energi Alternatif Ramah Lingkungan Dengan Biogas Limbah Peternakan Sapi Di Wilayah Kupang NTT. *Jurnal Teknologi*, 1(1), 1-11.
- Arief, I. S., & Fitri, S. P. (2018). Kajian Teknis Tahapan Persiapan Pengembangan Energi Laut di Indonesia. *IPTEK Journal of Proceedings Series*(2).
- Myers, E. P. (1986). *The potential impact of ocean thermal energy conversion (OTEC) operation on fisheries* (Vol. 40): US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration
- Rose, R. E. (1985). Ocean thermal energy conversion power plants: My role in the NOAA-NMFS preliminary fishery impacts study.
- Sugiyono. 2012. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&B. Bandung: Alfabeta.
- IRENA. (2014). Ocean Thermal Energy Conversion Technology Brief. IRENA Innovation and Technology Centre.
- Darmawan, Y., Hsu, H.-H. and Yu, J.-Y. (2021) Characteristics of large-scale circulation affecting the inter-annual precipitation variability in northern sumatra island during boreal summer. *Atmosphere* 12(2), 136.
- Amheka, A. (2018) Peranan Energi Alternatif Ramah Lingkungan Dengan Biogas Limbah Peternakan Sapi Di Wilayah Kupang NTT. *Jurnal Teknologi* 1(1), 1-11.
- Arief, I.S. and Fitri, S.P. (2018) Kajian Teknis Tahapan Persiapan Pengembangan Energi Laut di Indonesia. *IPTEK Journal of Proceedings Series* (2).
- Rose, R.E. (1985) Ocean thermal energy conversion power plants: My role in the NOAA-NMFS preliminary fishery impacts study.
- Myers, E.P. (1986) The potential impact of ocean thermal energy conversion (OTEC) operation on fisheries, US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration
- Darmawan, Y., Munawar, M., Atmojo, D.A., Wahyujati, H. and Nainggolan, L. (2023) Accuracy assessment of spatial interpolations methods using ArcGIS, p. 7, <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/101...>.
- Purba, L.I., Humaidi, S. and Darmawan, Y. (2023) Analysis Of Spearman Rank Correlation & Linear Regression Of Atmospheric Stability And Cloud Tops Temperature Of Himawari-8 IR Satellite Images (Case Study Of Hail On May 22, 2022). *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram* 11(2).
- Putra, R.F.P., Nasution, T.I., Humaidi, S. and Darmawan, Y. (2023) Analysis of Interaction Between Atmosphere and Sea Using The Delft3D Hydrodynamics Model for Mapping Coastal Flood Zone at Belawan Port and Coastal. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram* 11(2), 450-462.
- Siswandi G. Marine renewable energy, the law of the sea and the marine environment: An Indonesian perspective. *Padjadjaran Journal of International Law*. 2017; 1 (1)
- Riyanto S. Kajian potensi suhu air laut perairan pulau tarakan dan bunyu sebagai sumber energi terbarukan. *Jurnal Sain dan Teknologi*. 2015; 10 (1): 78-90.

- Julianto, C. (2020, July). Studi Potensi Pemanfaatan OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) Menggunakan Siklus Terbuka untuk Mengatasi Krisis Listrik dan Air Bersih di Pulau Lembata, Nusa Tenggara Timur. In *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"* (p. 7).
- Hartanto, B., & Sartini, S. (2019). *kebijakan pemanfaatan energi dan sumberdaya energi mineral kelautan Indonesia. Jurnal Baruna Horizon*, 2(2), 90-106.
- Sakthivel, C., dkk., 2018, A Review of Ocean Thermal Energy Conversion, *Global Research and Development Journal for Engineering*, 275 - 281.
- Aprilia, E., Aini, A., Frakusya, A., & Safril, A. (2019). Potensi Panas Laut Sebagai Energi Baru Terbarukan Di Perairan Papua Barat Dengan Metode Ocean Thermal Energy Conversion (Otec). *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(2), 7-14.