

PENERAPAN INTEGRAL DAN DIFRENSIAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OTEC (*Oceans Thermal Energy Conversion*)

Andi Hendrawan¹, Priyani Budiarti², Dedeh Suryani³, Aji Kusumastuti Hendrawan⁴

^{1,2,3}Akademi Maritim Nusantara Cilacap

⁴Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap

Email: andihendrawan007@gmail.com

Abstrak

Matematika banyak dibutuhkan dalam bidang teknik, salah satunya adalah di bidang kelistrikan dan khususnya Pembangkit listrik. Persamaan matematis dalam Konsep OTEC hampir sama dengan konsep pembangkit konvensional pada umumnya hanya terdapat perbedaan sistem aliran kerja pada ketel yang menggunakan amoniak. Penelitian ini adalah penelitian kepustakaan yang diwujudkan dalam penyelesaian diferensial integral yang merupakan penerapan dalam bidang teknik sehingga luarannya adalah solusi diferensial integral pembangkit listrik tenaga OTEC. Pada makalah kali ini yang dibahas adalah penerapan diferensial integral pada pembangkit OTEC. Hasil menunjukkan bahwa persamaan matematis pada boiler OTEC mempertimbangkan beberapa variabel antara lain panas air laut, perubahan aliran kerja yang outputnya adalah daya listrik.

Kata kunci: Diferensial, integral, OTEC

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2015, emisi CO₂ akibat pembangkitan energi dan produksi panas mencapai 13.540 juta ton. Upaya yang harus dilakukan untuk menurunkan angka ini, terutama untuk memenuhi tujuan Kesepakatan Paris untuk membatasi pemanasan global di bawah 2 C. Oleh karena itu, perlu dikembangkan energi terbarukan yang belum cukup terwakili dalam bauran energi saat ini. Kelemahan dari sebagian besar energi terbarukan yang diterapkan adalah intermitensinya, oleh karena itu, mereka tidak dapat digunakan untuk kebutuhan energi beban dasar tanpa terobosan sistem penyimpanan. Namun, untuk menghasilkan listrik, konversi energi panas laut (OTEC) menggunakan perbedaan antara suhu air laut permukaan dan suhu air laut dalam di daerah tropis. Karena daerah tersebut menyajikan perubahan suhu yang sangat rendah sepanjang tahun, pembangkit listrik yang stabil dapat dicapai. Apalagi OTEC memiliki potensi yang sangat besar, karena sumber dayanya diperkirakan maksimal 7 TW dari produksi energi bersih. Selain pembangkit listrik, dimungkinkan dengan sistem seperti itu untuk menghasilkan air tawar menggunakan air laut yang hangat (Fontaine et al., 2019). Keberadaan energi fosil yang terbatas (A

Hendrawan, 2021; Andi Hendrawan, 2020a, 2020b) menuntut adanya energi alternatif demi kesinambungan ketersediaan energi bagi umat manusia. Sebuah sistem pembangkit merupakan integrasi dari sistem konversi energi dari panas menjadi mekanik dan mekanik menjadi listrik. Ketel merupakan salah satu komponen pembangkit yang bertugas mengkonversikan panas menjadi mekanik sehingga bisa menggerakkan turbin. *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)* merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik yang berbahan bakar terbaru yang memanfaatkan suhu dari panas air laut (Budiarti et al., 2022; Andi Hendrawan et al., 2022, 2023)

Pada OTEC, *temperature* merupakan yang terpenting karena distribusi *temperature* permukaan menjadi sumber energi. Energi Terbarukan Aliran kerja merupakan bagian terpenting dalam sistem pembangkit OTEC, Energi terbaru menjadi sangat tidak populer karena keberadaan yang dipandang kurang ekonomis dan teknologi yang digunakan kurang efisien. Energi yang laut yang melimpah dibiarkan begitu saja, hal ini bisa dimengerti karena keberadaan energi fosil yang masih mencukupi hingga saat ini. Energi terbarukan menjadi sangat dibutuhkan mungkin jika energi

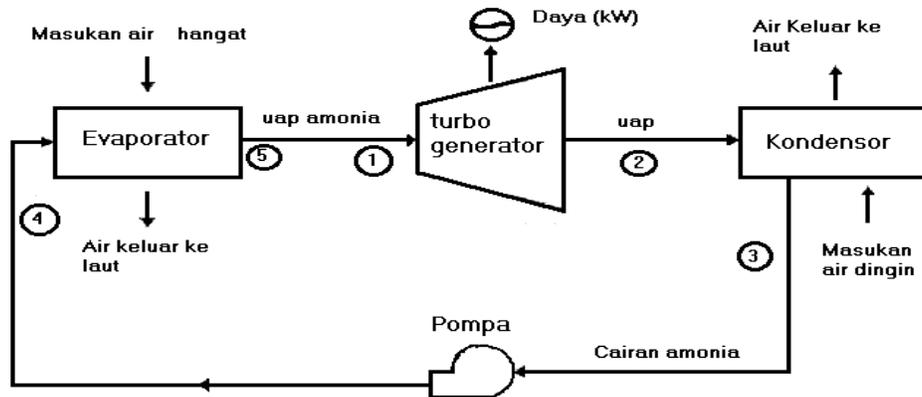
fosil mencapai ambang kelangkaan (Andi Hendrawan et al., 2018). Pada tahun 1981 OTEC di Nauru dibangun oleh Tokyo *Electric Power Service Company* dan Tokyo *Electric Company*. Sedangkan Kyusu *Elektrik Company* mengembangkan OTEC yang berdaya keluaran 50 kW. Pada Tahun 1985 Universitas Saga mengadakan percobaan dengan mengoperasikan OTEC yang berkekuatan 75kW (Andi Hendrawan, 2019a, 2020, 2020). Herue, Carmelo [1988] pada tahun 1988 Pilipina mengadakan penelitian tentang studi kelayakan pembangunan OTEC di Pilipina dan merancang OTEC dengan metoda daur terbuka. Khan, Kenneth [2003] mengatakan bahwa penggunaan zalir campuran antara propana dan amoniak meningkatkan efisiensi pembangkitan hingga 7% (Andi Hendrawan, 2020a).

Penentuan jenis dan rancang pembangkit OTEC menjadi masalah utama sehingga pada rancang pembangkit OTEC. Penerapan diferensial

integral pada pembangkit listrik tenaga OTEC menjadi salah satu pertimbangan. Perhitungan secara diferensial integral sebagai angka awal untuk menjadi sebuah pemodelan matematika OTEC.

2. INSTALASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS LAUT

Teknologi OTEC, dalam prosesnya untuk menghasilkan energi listrik menggunakan perbedaan suhu antara perairan hangat di permukaan laut dan perairan dingin yang dalam. Laut menyajikan perairan dengan suhu rendah pada kedalaman antara 800m sampai dengan 1000m dari permukaan laut. Umumnya, OTEC beroperasi dengan perbedaan suhu sekitar 20°C atau lebih. Suhu pada kedalaman 1000 m relatif konstan, mencapai sekitar 4°C. Ini berarti bahwa OTEC sangat cocok untuk suhu lingkungan rata-rata sekitar 25°C (Tenorio et al., 2019). Pada Gambar 1 diperlihatkan Skema OTEC.



Gambar 1. skema OTEC daur tertutup

Pembangkitan listrik adalah proses konversi energi yang mengubah energi panas dari pembakaran bahan bakar fosil atau fisi uranium menjadi listrik. Selama proses konversi energi, panas berpindah dari reservoir panas suhu tinggi ke reservoir panas suhu rendah. Konsep dasar OTEC adalah menggunakan air laut permukaan yang hangat dan DO dingin. Ini adalah dua reservoir panas yang diperlukan (Liu, 2018). Dalam sistem loop tertutup untuk menguapkan amonia, permukaan air laut yang hangat digunakan, dan uap mengalir melalui pipa untuk

menggerakkan turbin dan menghasilkan tenaga melalui generator listrik. Uap dari knalpot turbin diuapkan oleh kondensor menggunakan busa air pada suhu sekitar 5°C. kemudian amonia cair dipompa kembali ke evaporator untuk diuapkan kembali menggunakan air permukaan laut yang hangat, dan seterusnya (Andi Hendrawan, 2019b)

3. PEMBAHASAN

Analisis matematika pada boiler ditentukan oleh variabel yang cukup banyak. Hal ini seperti bagian boiler terdiri dari:

1. shell (kulit) yang terdiri dari diameter dalam (*inside diameter*) ID, *Baffle space* dan *passes*.
2. tube: jumlah tube, OD (*out diameter*), BWG, pith.

Hal yang menentukan persamaan matematis antara lain neraca panas, suhu masuk dan keluar pada aliran panas dan aliran dingin. Langkah pertama dalam membuat persamaan matematis adalah dengan menentukan nilai LMTD (*Log Mean Temperature Difference*).

Aliran panas		Aliran dingin	Beda
T_1	Suhu tinggi	t_{-2}	$t_{d1} = T_1 - t_{-2}$
T_2	Suhu rendah	t_{-1}	$t_{d2} = T_2 - t_{-1}$
$T_1 - T_2$	Perbedaan	$t_{-2} - t_{-1}$	$t_{d1} - t_{d2}$

$$LMTD = \frac{t_{d2} - t_{d1}}{2,3 \log t_{d2} / t_{d1}} \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

$LMTD$ = Log Mean Temperature Difference;

t_{d2} = beda temperatur pada suhu rendah ($^{\circ}F$);

t_{d1} = beda temperatur pada suhu tinggi ($^{\circ}F$);

kemudian kita menghitung grup suhu:

$$R = \frac{\int_{T_1}^{T_2} T dT}{\int_{t_1}^{t_2} t dt} \dots\dots\dots(2)$$

Maka kerja pompa daur adalah:

$$w_p = (h_E - h_D) + (X_{boiler} - X_{kond}) \times \frac{1}{778 \text{ lbf} / \text{BTU}} \times \frac{32.2 \text{ ft} / \text{sec}}{32.2 \text{ lbm} / \text{lbf} \cdot \text{sec}} \dots\dots(4.1)$$

dengan:

w_p = kerja pompa daur (BTU/lbm)
 h_E = enthalpi masuk boiler (BTU/lbm)

h_D = enthalpi keluar kondensor (BTU/lbm)

X_{boiler} = kedalaman boiler di bawah permukaan air laut (ft)

X_{kond} = kedalaman kondensor di bawah permukaan air laut (ft)

Untuk proses volume tetap (*isentropik*) sepanjang tekanan pompa DE maka:

$$h_E - h_D = \int_D^E v dP = v(P_E - P_D) \dots\dots\dots(2)$$

dengan

v = volume jenis (ft^3/lbm)

P_E = tekanan boiler (lbf/in^2)

P_D = tekanan kondensor (lbf/in^2)

dengan menggunakan persamaan (2) dan tabel dapat ditentukan h_D .

Panas yang dibutuhkan sepanjang proses EB dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_2 = (h_B - h_A) - (h_A - h_E) \dots\dots\dots(3)$$

dengan ($h_A - h_E$) kehilangan enthalpi pada boiler. Jika diandaikan bahwa ekspansi lewat turbin adalah proses ientropik maka kerja turbin menjadi :

$$w_t = h_B - h_C \dots\dots\dots(4)$$

dengan;

h_B = enthalpi keluar boiler (BTU/lbm)

h_C = enthalpi masuk kondensor (BTU/lbm)

untuk menentukan h_B dan h_C digunakan perbandingan fraksi yang mengembun dengan persamaan berikut :

$$S_{gB} + S_{lB} = S_{gC} + S_{lC} \dots\dots\dots(5)$$

$$S_{gB} = (1 - x)S_{gC} + xS_{lC}$$

dengan;

S_{gB} = Entropi gas keluar boiler (BTU/lbm. $^{\circ}F$)

S_{gC} = Entropi gas masuk kondensor (BTU/lbm. $^{\circ}F$)

S_{lB} = Entropi cairan keluar boiler (BTU/lbm. $^{\circ}F$)

S_{lC} = Entropi cairan masuk kondensor (BTU/lbm. $^{\circ}F$)

Setelah x diketahui kemudian menentukan h_C dengan persamaan berikut:

$$h_C = (1-x)h_{gC} + xh_{lC} \dots\dots\dots(4.6)$$

dengan;

h_{gC} = enthalpi gas masuk kondensor (BTU/lbm)

h_{lC} = enthalpi cairan masuk kondensor (BTU/lbm)

h_C = enthalpi masuk kondensor (BTU/lbm)

h_{gC} dan h_{lC} ditentukan dengan membaca tabel di lampiran yang ditentukan oleh suhu dan tekanan sistem.

Panas yang dilepaskan oleh kondensor ditentukan dengan persamaan:

$$q_1 = h_C - h_D \dots\dots\dots(7)$$

dengan;

h_C = enthalpi masuk kondensor (BTU/lbm)

h_D = enthalpi keluar kondensor (BTU/lbm)

maka efisiensi daur Rankine menjadi:

$$\eta_R = \frac{q_2 - q_1}{q_2} \dots\dots\dots(4.8)$$

Berdasarkan asas Black, maka proses di ketel dapat ditulis sebagai berikut:

$$m_{al} \times \Delta t_{boiler} \times c_{p-al} = m_{NH_3} (h_B - h_E) \dots\dots\dots(9)$$

dengan:

m_{al} = masa air laut hangat (lbm)

Δt_{boiler} = penurunan suhu pada ketel(°F)

c_{p-al} = kapasitas panas air laut(BTU/lbm.°F)

m_{NH_3} = masa amoniak (lbm)

Tenaga yang dibutuhkan untuk menjalankan OTEC ditentukan oleh kecepatan aliran air laut hangat yang dialirkan melalui unit pemindah panas. Kebutuhan air hangat dapat ditentukan dengan mempergunakan hubungan sebagai berikut:

daya diserap = tenaga panas yang masuk dari air hangat X konversi energi efisiensi ke listrikitas)

Bila dianggap massa jenis air laut 64 lb/ft³ dan kapasitas panas 1 BTU/lb.°F, penurunan suhu air laut hangat selama melewati unit ketel

Δt_{boiler} . Q adalah debit aliran air laut hangat yang dibutuhkan (ft³/dt) untuk daya keluaran sebesar P. Maka persamaannya menjadi :

$$P_{serap} (kWe) = 64(lb / ft^3) \times 1(BTU / lb.^{\circ} F) \times Q(ft^3 / dt) \times \Delta t_{boiler} (^{\circ} F) \times \frac{2,78.10^{-7} kWh}{0,949.10^{-3}} \times \frac{3600 dt}{h} \times \frac{kWe}{kW} \dots(10)$$

maka

$$Q_{alh} = \frac{0,0148 P}{\Delta t_{boiler}} \dots\dots\dots(11)$$

dengan :

Q_{alh} = debit air hangat yang dibutuhkan (ft³/dt)

P = daya yang diserap (kWe)

Δt_{boiler} = penurunan suhu pada ketel (°F)

bila persamaan 4.9 diubah menjadi :

$$m_{al} = \frac{m_{NH_3} (h_B - h_E)}{\Delta t_{boiler}}$$

dan

$$\frac{Q_{alh}}{v_{al}} = \frac{Q_{NH_3} (h_B - h_E)}{\Delta t_{boiler}} \times \frac{1}{v_{gas_NH_3}}$$

$$Q_{gas_NH_3} = \frac{Q_{alh} \times \Delta t_{boiler} \times v_{gas_NH_3}}{v_{al} \times (h_B - h_E)}$$

karena $v_{al} = 1/64$ maka debit NH₃ gas yang dibutuhkan :

$$Q_{gas_NH_3} = \frac{0,0148 P \times v_{gas_NH_3} \times 64}{h_B - h_E} \dots\dots\dots(12)$$

$$Q_{gas_NH_3} = \frac{0,9472 P \times v_{gas_NH_3}}{h_B - h_E}$$

dengan:

$Q_{gas_NH_3}$ = debit gas NH₃ (ft³/dt)

$v_{gas_NH_3}$ = volume jenis gas NH₃ (ft³/lbm)

h_B = enthalpi keluar boiler (BTU/lbm)

h_E = enthalpi masuk boiler (BTU/lbm)

dengan demikian untuk menghitung daya turbin menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{turbin} = w_t \times Q_{gas_NH_3} \times \frac{1}{v_{gas_NH_3}} \times \text{efisiensi turbin} \dots\dots(13)$$

$$P_{keluaran} = P_{turbin} \times \text{efisiensi generator}$$

dengan:

P_{turbin} = daya turbin (kW)

Dengan menggunakan persamaan 9 dapat ditentukan pula debit cairan NH_3 yang terbentuk atau dibutuhkan:

$$Q_{cairan_NH_3} = \frac{0,9472 P \times v_{cairan_NH_3}}{h_B - h_E} \dots\dots(14)$$

dengan;

$v_{cairan_NH_3}$ = volume jenis cairan NH_3 (ft³/lbm)

$Q_{cairan_NH_3}$ = Debit cairan NH_3 (ft³/dt)

h_B = enthalpi keluar boiler (BTU/lbm)

h_E = enthalpi masuk boiler (BTU/lbm)

karena cairan NH_3 yang terbentuk disalurkan kembali ke ketel melalui kondensor sehingga daya pompa menjadi :

$$P_{pompa} = w_p \times Q_{cairan_NH_3} \times \frac{1}{v_{cairan_NH_3}} \dots\dots(15)$$

Berdasarkan asas black maka proses di kondensor dapat ditulis sebagai persamaan sebagai berikut:

panas yang diberikan = panas yang diterima

$$m_{ald} \times \Delta t_{kond} \times c_p = m_{NH_3} (h_C - h_D) \dots\dots(16)$$

dengan:

m_{alg} = masa air laut dingin(lbm)

Δt_{kond} = selisih suhu pada kondensor(°F)

c_p = kapasitas panas air laut(BTU/lbm.°F)

h_C = enthalpi masuk kondensor (BTU/lbm)

h_D = enthalpi keluar kondensor (BTU/lbm)

bila $c_p = 1$ maka :

$$m_{ald} = \frac{m_{NH_3} (h_C - h_D)}{\Delta t_{kond}} \dots\dots(17)$$

dengan

$$m_{NH_3} = \frac{0,0148 P}{h_B - h_E} \dots\dots(18)$$

substitusi persamaan (18) ke persamaan (17) menjadi:

$$m_{ald} = \frac{0,0148 P (h_C - h_D)}{\Delta t_{kond} (h_B - h_E)} \dots\dots(19)$$

dengan m_{ald} = laju massa (lbm/det)

debit air laut dingin yang diperlukan :

$$Q_{ald} = \frac{0,0148 P (h_C - h_D) v_{ald}}{\Delta t_{kond} (h_B - h_C)} \dots\dots(20)$$

dengan;

Q_{ald} = debit air laut dingin(ft³/dt)

h_C = enthalpi masuk kondensor (BTU/lbm)

h_D = enthalpi keluar kondensor (BTU/lbm)

h_B = enthalpi keluar boiler (BTU/lbm)

h_E = enthalpi masuk boiler (BTU/lbm)

v_{ald} = Volume jenis air laut dingin (ft³/lbm)

Δt_{kond} = selisih sihi pada kondensor(°F)

Untuk menghitung diameter pipa air laut dingin, air laut hangat, gas NH_3 maupun cairannya maka diperlukan varibel baru yaitu kecepatan. Artinya kecepatan aliran ditentukan sendiri. Misalkan V_{gas} = kecepatan gas. V_{cair} = kecxepatan cairan.

Maka diameter pipa menjadi :

$$D = \left(\frac{2Q}{V} \right)^{0,5} \dots\dots(21)$$

dengan;

D = diameter pipa (ft)

Q = debit aliran dalam pipa (ft³/dt)

V = Kecepatan aliran pipa(ft/dt)

Dengan cara yang sama dapat dihitung diameter pipa air laut dingin, panas dan NH_3 .

Untuk menentukan daya pompa yang diperlukan untuk memompa air laut hangat dari permukaan atau air laut dingin di kedalaman diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penentuan bilangan Reynold untuk air laut hangat ataupun dingin

$$R_e = \frac{V \times D \times \rho}{\mu}$$

dengan:

R_e = angka reynold

V = kecepatan (ft/dt)

D = diameter (ft)

ρ = densitas (lbm/ft³)

μ = viskositas(lbm/ft.hr)

2. dengan menggunakan grafik tentukan friction factor (faktor gesekan) dengan mencocokkan bilangan Reynold yang sesuai
3. Penentuan kerugian hulu (hulu hilang = *lost head*) dengan menggunakan formula Darcy-Weisbach.

$$H_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

dengan

H_L = hulu hilang

f = friction factor (*faktor gesekan*)

4. Penentuan head menggunakan asas Bernaulli: Energi pada titik A + energi pompa - energi yang hilang = energi pada titik B

$$\left(Z_A + \frac{P_A}{A} + \frac{V_A^2}{2g} \right) + H_p - H_L = \left(Z_B + \frac{P_B}{B} + \frac{V_B^2}{2g} \right)$$

diubah menjadi:

$$H_p =$$

$$H_L + \left(Z_B + \frac{P_B}{B} + \frac{V_B^2}{2g} \right) - \left(Z_A + \frac{P_A}{A} + \frac{V_A^2}{2g} \right)$$

5. Penentuan energi yang pompa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_p = w \times Q \times H_p$$

(Andi Hendrawan, 2017a, 2017b, 2019a)

4. PENUTUP

Keberadaan energi fosil yang terbatas menuntut adanya energi alternatif demi kesinambungan ketersediaan energi bagi umat manusia. Sebuah sistem pembangkit merupakan integrasi dari sistem konversi energi dari panas menjadi mekanik dan mekanik menjadi listrik. Ketel merupakan salah satu komponen pembangkit yang bertugas mengkonversikan panas menjadi mekanik sehingga bisa menggerakkan turbin.

Desain pembangkit listrik dengan menerapkan diferensial integral menjadi sangat urgen apalagi pada sistem pembangkit OTEC, panas yang tersedia kecil sehingga sistem memerlukan zalir kerja yang dapat menguap pada suhu rendah, misalkan amoniak. Pehitungan ketel yang terpenting adalah perhitungan pada tube, dan shell. Aliran panas pada keduanya harus benar-benar diperhitungkan untuk menentukan dimensi variabel pembangkit OTEC

5. DAFTAR PUSTAKA

- Budiyarti, P., Prayitno, O. T., & Hendrawan, A. (2022). Sistem Hibrida dalam penyediaan Energi di Kapal. *Majalah Ilmiah Bahari Jogja (MIBJ)*, 20(2), 211–217.
- Fontaine, K., Yasunaga, T., & Ikegami, Y. (2019). OTEC maximum net power output using carnot cycle and application to simplify heat exchanger selection. *Entropy*, 21(12). <https://doi.org/10.3390/e21121143>
- Hendrawan, A. (2017a). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga OTEC (Ocean Thermal Energi Conversion) Wilayah Kalianget Donan Cilacap. *Bahari Jogja*, XV, 66–79.
- Hendrawan, A. (2017b). KAJIAN TEKNOEKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OTEC (OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION). *Prosiding Seminar Nasional & CFP I IDRI*, 1–13.
- Hendrawan, A. (2019a). Calculation of Power pumps on OTEC Power Plant (Ocean thermal Energy Conversion). *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 5(3). www.ijicc.net
- Hendrawan, A. (2019b). CALCULATION OF

- POWER PUMPS ON OTEC POWER PLANT OCEAN (OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION). *International Journal of Innovation, Creativity and Change.*, 5(3), 353=369.
- Hendrawan, A. (2020). DAMPAK SOSIAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OTEC (OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION). *Seminar Nasional Kemaritiman Politeknik Bumi Akpelni Semarang Agustus 2020*.
- Hendrawan, A. (2020). Dampak sosial pembangkit listrik tenaga otec (ocean thermal energy conversion) di perairan cilacap. *Seminar Nasional Kemaritiman Politeknik Bumi Akpelni*, 307, 120–123.
- Hendrawan, A. (2020). Pemnfataan panas buang industri untuk membangkitkan otec (ocean thermal energi conversion). *The 11th University Research Colloquium 2020 Universitas Aisyiah Yogyakarta*, 11(1), 1–5.
- Hendrawan, A. (2021). Sistem Hibrida Pada Pembangkit Listrik Tenga Panas Laut (Ocean Thermal Energy Conversion). *Proceeding of The URECOL, June*, 1–5. <http://repository.urecol.org/index.php/proceeding/article/download/1267/1234>
- Hendrawan, A., Hendrawan, A. K., Pramomo, S., & Lusiani, L. (2023). Thermohydraulic Analysis of Ocean Thermal Energy Conversion. *Saintara : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Maritim*, 7(2), 52–56. <https://doi.org/10.52475/saintara.v7i2.233>
- Hendrawan, A., Lusiani, & Arissasongko. (2018). ANALISIS ZALIR KERA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OTEC (OCEAN THERMAL ENERGI CONVERSION). *Jurnal Saintara*, 2(2).
- Hendrawan, A., Pratomo, L. H., Pramomo, S., & Lusiani, L. (2022). Pengujian Boiler untuk Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut. *Saintara : Jurnal Ilmiah Imu-Ilmu Maritim*, 6(1).
- Liu, C. C. K. (2018). Ocean thermal energy conversion and open ocean mariculture: The prospect of Mainland-Taiwan collaborative research and development. *Sustainable Environment Research*, 28(6), 267–273. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.06.002>
- Tenorio, G. L., James, A., Ortega, M. D. L. A., & Jurado, F. (2019). OTEC alternative for the electric power generation in Panama. *Proceedings - 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2019*, 197–202. <https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00-76>