

ANALISIS ZALIR KERA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OTEC (OCEAN THERMAL ENERGI CONVERSION)

Andi Hendrawan, Lusiani, Arissasongko
Dosen Akademi Maritim Nusantara
Andihendrawan007@yahoo.com

Abstracts

The potential difference in sea temperature between the surface and subsurface beneath the thermocline that can be converted into electrical energy has been investigated using ocean temperature data OTEC power plant is very suitable as a provider of electric power for the archipelago. The archipelagic country does have many obstacles in terms of energy distribution. The long distance between islands adds to the burden of energy transportation financing. OTEC power plant design is very concerned about various important things, one of the most important thing is the design of a kettle or boiler.

The heat difference so small makes the kettle must be designed strictly and correctly. the purpose of this study is to compare the working fluid used in the OTEC plant. based on various literature studies show there are some working fluid that can be used in OTEC generating system such as ammonia, hydrogen, propane, R77. The most advantageous working fluid is if we use mixed fluid because of its high efficiency so that it can produce high electrical power as well.

keywords: OTEC, Fluid work

PENDAHULUAN

(Ganic & Wu, 1980; Masutani & Takahashi, 2001; Raghavan & Murthy, 1983; Sun, Ikegami, Jia, & Arima, 2012; Takahashit, 1992; Tanner, 1995) mengemukakan bahwa energy OTEC masih dalam taraf pengkajian terus menerus hingga mencapai titik Optimum. Dengan luas perairan hampir 60% dari total luas wilayah sebesar 1.929.317 km², Indonesia mempunyai potensi dibidang kemaritiman yang sangat besar. Apalagi dengan bentangan Timur ke Barat sepanjang 5.150 km dan bentangan Utara ke Selatan 1.930 km telah mendudukkan

Indonesia sebagai negara dengan garis pantai terpanjang di dunia.

Perhitungan distribusi panas laut di Indonesia untuk OTEC dilakukan dengan statistik dari permukaan termal laut. Efisiensi maksimum mesin karnaval (η_{max}) diperoleh di Laut Bali Utara sebesar 0,788813. Angka lebih baik dari daerah lain di Indonesia. Produksi listrik OTEC adalah energi terbarukan yang bisa menjadi solusi untuk menghasilkan listrik, dan juga bisa menghasilkan air tawar dan air dingin untuk keperluan pertanian dan pendinginan terutama di kawasan wisata seperti Bali.(Sinuhaji, 2015),

Potensi perbedaan suhu laut antara permukaan dan bawah permukaan

di bawah termoklin yang bisa diubah menjadi energi listrik telah diteliti dengan menggunakan data suhu laut selama Januari 2009 sampai Desember 2009. Penelitian ini difokuskan untuk mencari lokasi potensial Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) di laut Indonesia dimana sebagian besar air memiliki gradien suhu potensial dari permukaan ke bawah. Sumber daya OTEC yang paling potensial berada di Kalimantan Selatan dan Sulawesi Utara dalam kedalaman sampai 500 m. Selanjutnya, penelitian ini menekankan untuk mengoptimalkan pemanfaatan OTEC dalam kedalaman yang dangkal (500 m) harus dilakukan di masa depan (Syamsuddin et al., 2015).

Temperatur, Energi Terbarukan Zahir 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 mencukup hingga saat ini. Energi terbarukan menjadi sangat dibutuhkan mungkin jika energi fosil mencapai ambang kelangkaan.

Pembangkit listrik tenaga OTEC sangat cocok sebagai penyedia tenaga listrik untuk daerah kepulauan. Negara kepulauan memang mempunyai banyak kendala dalam hal distribusi energi. Jauhnya jarak antar pulau menambah beban pembiayaan transportasi energi. Desain pembangkit tenaga listrik OTEC sangat memperhatikan berbagai hal penting, salah satu hal yang terpenting adalah desain ketel atau boiler. Beda panas yang begitu kecil menjadikan ketel harus didesain secara ketat dan benar.

Energi terbarukan sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik Energi Panas air Laut atau yang disebut

dengan *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) adalah pembangkit listrik dengan memanfaatkan perbedaan temperatur air laut di permukaan dan temperatur air laut di kedalaman dengan selisih temperatur minimal, *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC) merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik yang berbahan bakar terbaru yang memanfaatkan suhu dari panas air laut.

TINJAUAN PUSTAKA

Ahli di Perancis, Amerika dan Jepang serta negara lain sekarang masih terus meneliti dan mengembangkan potensi OTEC, yang diharapkan nantinya dapat lebih efisien dan makin murah. (Kamogawa, 1980) penelitian OTEC di Jepang bertujuan studi kelayakan OTEC dan pengembangan rancangan konseptual pembangkit listrik OTEC dan faktor teknis dan ekonomi yang terkait dengan konsep tersebut secara keseluruhan. Sebagai langkah awal, pekerjaan perancangan dilakukan di 1974 di pembangkit listrik OTEC berkapasitas 1,5 MW. Ini diikuti oleh analisis sistem pembangkit listrik OTEC yang lebih besar dan berbasis laut. Pada tahun kedua (1975), sebuah desain konseptual dipersiapkan untuk percobaan pembangkit listrik OTEC.

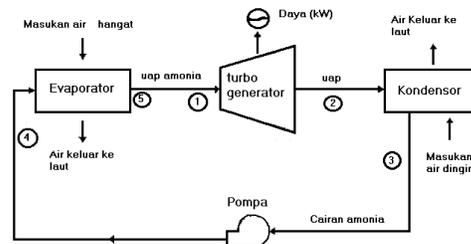
Instalasi percontohan OTEC 100 kW, Zahir kerja R22 sebagai fluida kerja, dibangun di daratan di Republik Nauru pada tahun 1981. Kedalaman air 700 m, dengan perbedaan suhu 20 C. Studi eksperimental mengukur suhu dan tekanan sebelum dan sesudah setiap komponen, sistem OTEC dilaporkan oleh Faizal dan Ahmed dilaporkan bahwa efisiensi termal maksimum sekitar 1,5% diperoleh pada sistem OTEC jika R134a digunakan sebagai fluida kerja. Mereka juga menentukan bahwa baik efisiensi termal dan output daya sistem

meningkat dengan meningkatnya perbedaan suhu operasi, yaitu perbedaan suhu antara air laut yang hangat dan dingin. Penelitian ORC regeneratif secara eksperimental dimana R123 digunakan sebagai fluida kerja, dan melaporkan bahwa kinerja sistem ORC dan sistem regeneratif masing-masing adalah 6,15% dan 7,98%, dengan sumber panas panas bumi 130 C. Hasil ini menunjukkan bahwa regenerator pada sistem ORC meningkat sebesar 1,83% karena daya outputnya 6 kW. (Yang & Yeh, 2014)

Proses konversi energi termal laut (OTEC) menggunakan perbedaan suhu antara air laut hangat di permukaan laut dan air laut dalam yang dingin untuk mengoperasikan sistem siklus Rankine untuk menghasilkan tenaga listrik tanpa menggunakan bahan bakar fosil. Siklus termodinamika ini menggunakan gradien temperatur yang sangat rendah yang membatasi efisiensinya pada 3-5%. Konsekuensinya setiap konsumsi dan kerugian sistem harus dioptimalkan untuk meningkatkan efektivitas biaya teknologi ini. Analisis termodinamika siklus OTEC Rankine tertutup. Model yang digunakan dalam makalah ini didasarkan pada karya Martins, dengan menggunakan konsep sistem Gibbs yang setara. Dalam sistem ekuivalen, massa, energi dan entropi dihubungkan melalui persamaan Gibbs, dan produksi entropi dapat dengan mudah dinyatakan dalam bentuk fluks dan kekuatan terkaitnya (Sinama, Martins, Journoud, Marc, & Lucas, 2015).

INSTALASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS LAUT

Pada dasarnya sistem pembangkit listrik tenaga panas laut dengan sistem pembangkit konvensional yang menggunakan bahan bakar fosil hampir sama, yang membedakan adalah sistem pembangkit uapnya dan fluida kerja. Pada sistem pembangkit Listrik Tenaga OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*). Pembangkit uap menggunakan bahan bakar atau media air hangat permukaan laut dan fluida kerja berupa zat yang mudah menguap seperti amoniak. Pada Gambar 1 diperlihatkan Skema OTEC.



Gambar 1. skema OTEC daur tertutup

Pada sistem daur tertutup dipergunakan amonia sebagai zalir kerja. Pada sistem menggunakan prinsip siklus Rankine. Pada gambar 1 diperlihatkan skema OTEC daur tertutup. Siklus energi pada sistem daur tertutup sebagai berikut:

1. Penambahan panas (J/kg)

$$q_A = h_1 - h_4$$

2. Kerja turbin

$$w_T = h_1 - h_2$$

3. Panas sisa

$$|q_R| = h_3 - h_2$$

4. Kerja pompa

$$|w_P| = h_4 - h_3$$

5. Kerja siklus net

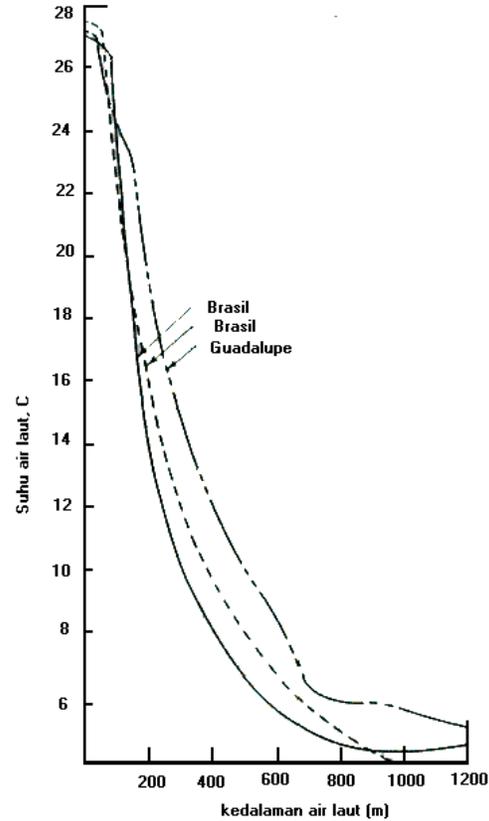
$$w_{net} = (h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)$$

6. Efisiensi panas

$$\eta = \frac{w_{net}}{q_A} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)}$$

Pada tahun 1930 Claude merancang sebuah mini OTEC dengan daya keluaran 23 kWe dan diletakkan di Cuba. Pada umumnya OTEC dirancang berdasarkan siklus Rankine begitu juga Claude, rancangan Claude menggunakan ketel yang dapat menghasilkan tekanan 8,7 atm dengan suhu masukan 21°C (70 °F), kondensasi amonia menggunakan air kedalaman yang bersuhu 5 °C yang dipompakan dari kedalaman laut 700 hingga 900 m di bawah permukaan laut. Efisiensi termal yang dihasilkan dari desain Claude sebesar 2,5 hingga 3,3 %. Pada Gambar 2 ditunjukkan profil temperatur pada setiap kedalaman laut.

Pada sistem daur tertutup untuk menguapkan amonia dipergunakan air permukaan laut yang hangat, kemudian uap mengalir melalui pipa untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan daya melalui generator listrik. Uap hasil pembuangan turbin diuapkan cairan kembali oleh kondensator menggunakan air kedalaman laut yang bersuhu sekitar 5 °C. selanjutnya amoniak yang sudah dicairkan dipompakan kembali menuju evaporator untuk diuapkan kembali menggunakan air permukaan laut yang hangat, demikian seterusnya.

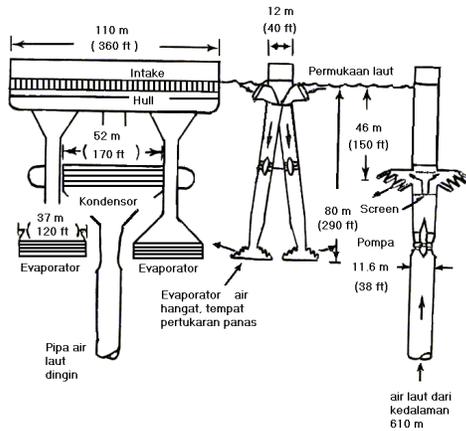


Gambar 2 Profil temperatur pada setiap kedalaman laut

Pada tahun 1966, Anderson mempresentasikan konsep desain untuk OTEC dengan daya keluran 100 megawatt dan perkiraan biaya produksi \$167 per kilowatt. Biaya cukup kompetitif dibandingkan biaya pembangkitan daya dengan bahan bakar fosil. Konsep OTEC Anderson mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

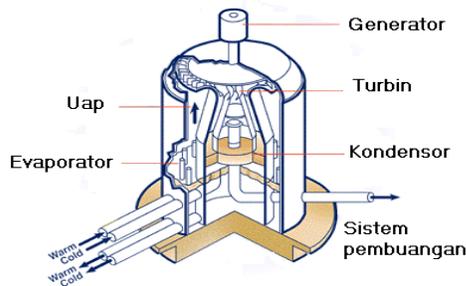
1. Menggunakan sistem bangunan mengapung di permukaan laut, dan dianalogikan bangunan stabil walaupun ada ombak.
2. Evaporator dan kondensator di bawah permukaan air.
3. Menggunakan fluida kerja yang bertekanan tinggi (5 sampai 9 atm) sehingga memungkinkan efisiensi yang lebih baik dan biaya yang murah.

4. Menggunakan Turbin satu tingkat (single stage turbin)



Gambar 3. Konsep OTEC Anderson

Pada tahun 1984, peneliti pada DOE National Laboratory, mengembangkan sistem konversi energi pada sistem OTEC daur tertutup menggunakan metoda evaporator tekanan rendah. Pada penelitian ini menunjukkan tingkat efisien energi yang tinggi mencapai 97 %. Pada bulan Mei 1993, sistem Pembangkit Listrik Tenaga OTEC daur tertutup di Keahole Hawaii mampu memproduksi 50.000 watt. Hal ini melampaui rekord Jepang yang telah mampu memproduksi 40.000 watt pada tahun 1981. Pada gambar 4 diperlihatkan Konsep OTEC yang dikembangkan NREL.



Gambar 4. Konsep OTEC NREL

ZALIR KERJA

TABLE 1. Comparison of propane and mixture ocean thermal difference cycles.

	Propane	Working Fluid	Mixture ^a
Warm sea water inlet temp. (F)	77.0		77.0
Warm sea water outlet temp. (F)	72.0		72.0
Cool sea water inlet temp. (F)	45.0		45.0
Cool sea water outlet temp. (F)	48.0		48.0
Cool sea water reqd. (lb per lb of warm sea water)	1.55		1.6
Condenser outlet temp. (F)	50.0		47.7
Turbine inlet temp. (F)	70.0		72.1
Turbine inlet press. (psia)	124.7		124.7
Turbine outlet temp. (F)	51.0		50.1
Turbine outlet press. (psia)	92.2		89.2
Turbine outlet liquid (vol. %)	0.0		0.1
Net work (BTU per 100 lb warm sea water)	13.1		15.1
Cycle net thermal efficiency (%)	2.62		3.02

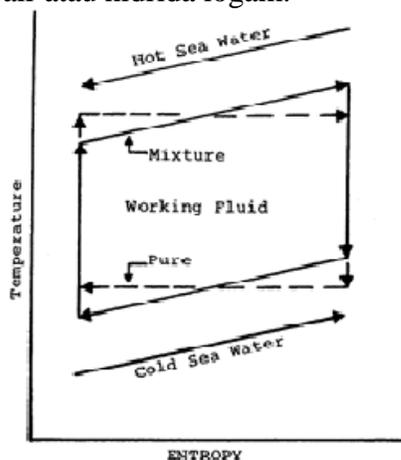
^aMixture composition, in mole percent: 1% ethane, 98% propane, 1% n-butane.

Tabel 2. Perbandingan zalir kerja OTEC

	Amoniak	Propana	R-12/31
Konduktivitas termal, 50-70 °F, BTU/jam ft ² °F	Cairan = 0,29 Uap = 0,014	Cairan = 0,07 Uap = 0,01	Cairan = 0,06 Uap = 0,006
Kapasitas panas, BTU/pound °F	Cairan = 1,13 Uap = 0,19	Cairan = 0,62 Uap = 0,24	Cairan = 0,24 uap = 0,097
Panas penguapan, BTU/pound	500	140	70
Kompatibilitas bahan	Tidak dengan tembaga	Bagus kecuali plastik	Bagus
Toksistasitas	Banyak tapi mudah dideteksi	Sedikit tapi sulit dideteksi	Sedikit tapi sulit dideteksi
Kemampuan bercampur dengan air	Tinggi	Rendah	Sangat rendah

Amonia dibentuk oleh kombinasi katalistik dari 3 mol hidrogen dengan 1 mol nitrogen pada tekanan tinggi dan suhu sedang dengan katalis oksida besi. Dengan kondisi ini campuran pada keseimbangan kimia terbentuk sehingga menghasilkan amonia murni. Jika suhu dinaikkan, tekanan menurunkan hidrogen dan nitrogen dipaksa habis. Karena reaksinya adalah proses keseimbangan kimia dengan sedikit perubahan panas, proses ini menggunakan metode yang efisien untuk menyimpan hidrogen. Dengan demikian proses yang melibatkan eletrolisis air yang diikuti oleh sintesis amonia dapat mengubah hingga 80% energi listrik OTEC menjadi energi kimia yang tersimpan dalam bentuk amonia.

Amonia mudah dicairkan, dapat disimpan pada suhu kamar dengan tekanan sedang dan dapat dikirim ke kapal tanker ammonia, truk, mobil tangki dan jaringan pipa yang ada. Amonia cair mengandung lebih banyak hidrogen per liter dari pada volume ekuivalen hidrogen cair atau hidrida logam.



Gambar 5 kinerja zalir mixture (campuran)

Dua keuntungan (Iqbal & Starling, 1976; Mangarella & Heronemus, 1979) utama menggunakan campuran bukan Senyawa murni sebagai fluida kerja pada pembangkit OTEC dapat dijelaskan dengan mengacu pada Gambar 5. siklus fluida murni ditunjukkan pada Gambar 5 oleh garis putus-putus sebagai siklus reversibel internal dengan perpindahan panas pada suhu konstan (pada suhu murni - Tekanan uap lemah). Siklus campuran ditunjukkan pada Gambar 5 oleh garis padat sebagai siklus reversibel internal dengan perpindahan panas di sepanjang jalur (dasarnya antara gelembung campuran dan titik embun) yang sejajar dengan profil suhu air laut yang hangat dan dingin, kondisi yang dapat didekati secara nyata, campuran mungkin tidak cairan murni. Karena siklus cairan murni bersifat reversibel, area yang diliputi oleh

setiap siklus mewakili kejadian dari tiap siklus, oleh karena itu kejadian dari setiap siklus pada Gambar 5 adalah identik. Di sisi lain, untuk perbedaan temperatur saluran cairan murni 10 F dan keluar dari perbedaan suhu 3 F untuk evaporator dan kondensor, perbedaan suhu rata-rata log untuk siklus pada Gambar 5 adalah 5,85 F untuk siklus fluida murni dan 6,5 F untuk siklus campuran, sehingga luas permukaan perpindahan panas yang dibutuhkan untuk campuran hanya 90% dari luas permukaan perpindahan panas yang dibutuhkan untuk cairan murni (untuk sifat fluida ekuivalen). Ini membuktikan bahwa hampir secara langsung sebagai pengurangan 10% biaya penukar panas. Perlu dicatat bahwa campuran menguapkan dan mengembun pada suhu yang bervariasi dalam proses tekanan konstan sementara cairan murni menguap dan mengembun pada suhu konstan dalam proses tekanan konstan yang menimbulkan kesempatan untuk meningkatkan kinerja perpindahan panas yang diidealkan.

Pembangkitan hidrogen (Avery, Richards, & Dugger, 1990) melalui elektrolisis air cara yang sangat efisien untuk mengubah output energi listrik dari pembangkit listrik OTEC menjadi entalpi kimia. Dengan sel elektrolisis yang sekarang sedang dikembangkan efisiensi 85% sampai 90% diupayakan untuk bisa terwujud dengan berbagai penelitian yang telah dilakukan.

KESIMPULAN

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.

Potensi perairan cukup diakrenakan permukaan panas laut yang lebih dari rata-rata yaitu berkisar 32 sampai 34 °C. sehingga efisiensi ramkine labih besar. Desain offshore lebih cocok karena pemanfaatan buangan panas energy dari industri dapat langsung dimanfaatkan.

Zalir kerja yang dipergunakan dalam OTEC anantara lain; amoniak, propane, R77 dan hydrogen. Zalir campuran lebih menguntungkan Karen performance kerjanya lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Avery, W. H., Richards, D., & Dugger, G. L. (1990). Ammonia and Methanol as Working Fluids for OTEC Plants. *Energy Conversion and Management*, 31(11), 727–736.
- Ganic, E. N., & Wu, J. (1980). On the Selection of Working Fluids for OTEC Plants. *Energy Conversion and Management*, 20, 9–22. <https://doi.org/10.1097/00000542-196728030-00001>
- Iqbal, K. Z., & Starling, K. E. (1976). Use of Mixtures As Working Fluids in Ocean Thermal Energy Conversion Cycles. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 56(1976), 114–120.
- Kamogawa, H. (1980). OTEC research in Japan. *Energy*, 5(6), 481–492. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(80\)90072-9](https://doi.org/10.1016/0360-5442(80)90072-9)
- Mangarella, P. A., & Heronemus, W. E. (1979). Thermal properties of the Florida Current as related to Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). *Solar Energy*, 22(6), 527–533. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(79\)90025-2](https://doi.org/10.1016/0038-092X(79)90025-2)
- Masutani, S. M., & Takahashi, P. K. (2001). Ocean Thermal Energy Conversion (otec). *Encyclopedia of Ocean Sciences*, (1997), 1993–1999. <https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0031>
- Raghavan, V. R., & Murthy, M. S. (1983). On the selection of fin profiles for OTEC plate-fin evaporators. *Energy Conversion and Management*, 23(4), 193–199. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(83\)90042-0](https://doi.org/10.1016/0196-8904(83)90042-0)
- Sinama, F., Martins, M., Journoud, A., Marc, O., & Lucas, F. (2015). Thermodynamic analysis and optimization of a 10MW OTEC Rankine cycle in Reunion Island with the equivalent Gibbs system method and generic optimization program GenOpt. *Applied Ocean Research*, 53, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2015.07.006>
- Sinuhaji, A. R. (2015). Potential Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in Bali. *KnE Energy*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.18502/ken.v1i1.330>
- Sun, F., Ikegami, Y., Jia, B., & Arima, H. (2012). Optimization design and exergy analysis of organic rankine cycle in ocean thermal energy conversion. *Applied Ocean Research*, 35, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2011.12.006>
- Syamsuddin, M. L., Attamimi, A., Nugraha, A. P., Gibran, S., Afifah, A. Q., & Oriana, N. (2015). OTEC

- Potential in the Indonesian Seas. *Energy Procedia*, 65, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.028>
- Takahashit, P. K. (1992). No Title, 17(7), 657–668.
- Tanner, D. (1995). Ocean thermal energy conversion: Current overview and future outlook. *Renewable Energy*, 6(3), 367–373. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(95\)00024-E](https://doi.org/10.1016/0960-1481(95)00024-E)
- Yang, M. H., & Yeh, R. H. (2014). Analysis of optimization in an OTEC plant using organic Rankine cycle. *Renewable Energy*, 68, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.029>

