

Pertimbangan Lingkungan pada Pembangkit Listrik Tenaga OTEC (Ocean Thermal Energi Conversion)

Andi Hendrawan

Akademi Maritim Nusantara

Email. Andi_hendrawan@amn.ac.id

Abstrak

Keywords:

*OTEC;
environmental
impact*

Indonesia, which has the largest population among ASEAN countries, so it will become net oil imports at the beginning of the 21st century. The Indonesian government has developed a long-term energy plan that aims to diversify energy to reduce the country's dependence on oil. One renewable energy source is utilizing differences in sea surface temperature, solar energy that creates this gradient and specifically Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Ammonia is formed by a catalytic combination of 3 moles of hydrogen with 1 mole of nitrogen at high pressure and medium temperature with an iron oxide catalyst. the environmental impact of a closed cycle OTEC can be understood. The following have been identified as potentially significant: release of fluids or biocides that work in the atmosphere, impacts on threatened or endangered terrestrial or marine species, etc. Because of its irritation, these pollutants can stimulate the inflammatory process in the upper respiratory tract, which is the channel of exposure from the nose to the throat

PENDAHULUAN

Indonesia, yang memiliki jumlah penduduk terbesar diantara Negara-negara ASEAN, sehingga akan menjadi impor minyak netto pada awal abad ke-21. Pemerintah Indonesia telah menyusun rencana energi jangka panjang yang bertujuan untuk diversifikasi energi untuk mengurangi ketergantungan negara pada minyak. Salah satu sumber energi terbarukan adalah memanfaatkan perbedaan suhu permukaan laut, energi matahari yang menciptakan gradien ini dan khususnya Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)

[1]–[6] mengemukakan bahwa energi 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.

Secara umum, teknologi energi terbarukan sering dipandang sebagai obat mujarab untuk masalah lingkungan. Namun, semua bentuk pembangkit energi menyebabkan perubahan pada lingkungan[7]

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.[8].

Temperatur, Energi Terbarukan
Zalir kerja merupakan bagian terpenting dalam system 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. .

Departemen Energi Amerika [9] melaporkan, teknologi ini menghadirkan tantangan bagi lingkungan hidro dalam beberapa cara yang meliputi; perubahan habitat air yang disebabkan oleh kabel yang diletakkan di dalam air dan struktur baru di bawah laut dan bahkan turbin yang mengubah pola aliran air

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 . [10] 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, Zalir kerja R22 sebagai fluida kerja, dibangun di daratan di Republik Nauru

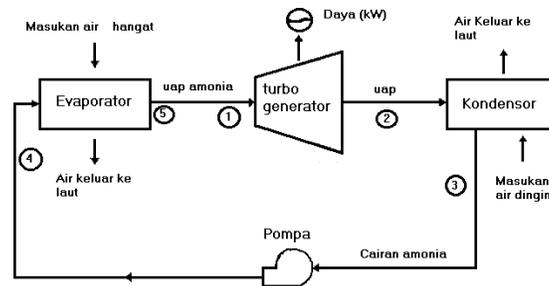
pada tahun 1981. Kedalaman air 700 m, dengan perbedaan suhu 20 C. Studi eksperimental mengukur suhu dan tekanan sebelum dan sesudah setiap komponen, sistem OTEC dilaporkan oleh Faizal dan Ahmed dilaporkan bahwa efisiensi termal maksimum sekitar 1,5% diperoleh pada sistem OTEC jika R134a digunakan sebagai 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 bumi 130 C. Hasil ini menunjukkan bahwa regenerator pada sistem ORC meningkat sebesar 1,83% karena daya outputnya 6 kW.[11]

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 ekivalen, massa, energi dan entropi dihubungkan melalui persamaan Gibbs, dan produksi entropi dapat dengan mudah dinyatakan dalam bentuk fluks dan kekuatan terkaitnya[12].

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

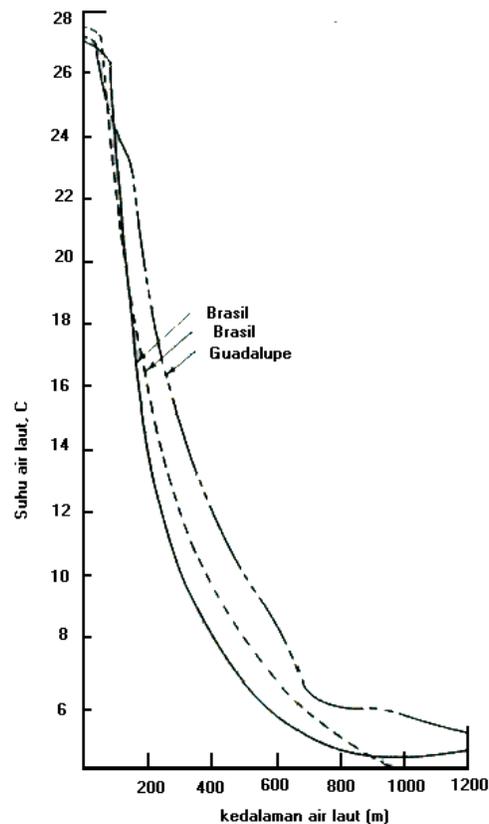
sistem pembangkit Listrik Tenaga OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*). Pembangkit uap menggunakan bahan bakar atau media air hangat permukaan laut dan fluida kerja berupa zat yang mudah menguap seperti amoniak. Pada Gambar 1 diperlihatkan Skema OTEC.



Gambar 1. skema OTEC daur tertutup

Pada 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 amoniak 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 amoniak 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 kondensor 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.



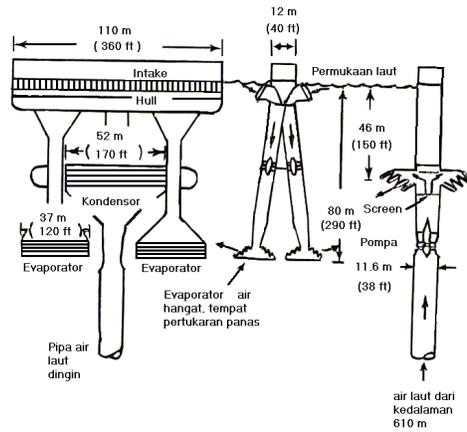
Gambar 2 Profil temperatur pada setiap kedalaman laut

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 mengampung di permukaan laut, dan

dianalogikan bangunan stabil walaupun ada ombak.

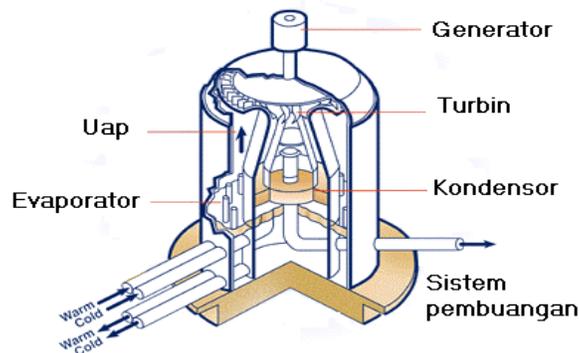
2. Evaporator dan kondensor di bawah permukaan air.
3. Menggunakan fluida kerja yang bertekanan tinggi (5 sampai 9 atm) sehingga memungkinkan efisiensi yang lebih baik dan biaya yang murah.
4. Menggunakan Turbin satu tingkat (*single stage turbin*)



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 record Jepang yang telah mampu memproduksi 40.000 watt pada tahun 1981. Pada gambar 4 diperlihatkan Konsep OTEC yang dikembangkan NREL[13]–[15]



Gambar 4. Konsep OTEC NREL

ZALIR KERJA

Tabel 1. 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
Toksisitas	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.

POTENSI DAMPAK OTEC

Banyak kemungkinan [16] dampak lingkungan dari siklus tertutup OTEC dapat dipahami. Berikut ini telah diidentifikasi sebagai berpotensi signifikan:

1. pelepasan cairan atau biosida yang bekerja di atmosfer
2. dampak terhadap spesies darat atau laut yang terancam, hampir punah, atau endemik;
3. daya tarik biota;
4. terganggunya organisme dekat pantai atau spesies penting secara ekologis dan komersial
5. redistribusi konstituen kelautan

6. entrainment sekunder;
7. efek toksik dari biosida dan cairan yang terdapat di dalam limbah
8. dampak sosial ekonomi
9. risiko kecelakaan akibat penggunaan teknologi OTEC

Hal di atas cukup memprihatinkan karena semakin meningkat dengan kedekatan dengan pantai. Selain itu, beberapa masalah terkait terutama dengan instalasi OTEC yang berlokasi di dekat pantai atau di darat. Ini termasuk:

1. Penurunan kualitas udara selama konstruksi penyebaran, dan operasi;
2. dampak atmosfer dari upwelling buatan;
3. perusakan habitat darat;
4. dampak tanah atau pembuangan sumur pada sistem air tanah;
5. dampak pada situs bersejarah atau arkeologi;
6. efek estetika;
7. dampak pengerukan, persiapan lokasi, dan konstruksi di lingkungan laut;
8. wabah ciguatera; dan
9. dampak pada kondisi gelombang pantai, pengangkutan sedimen, dan arus.

Menurut laporan Departemen Energi AS (2009), [9], [16]–[18] medan elektromagnetik di sekitar peralatan menghasilkan daya dan kabel yang mengalir di air menimbulkan tantangan bagi kehidupan akuatik. Arus listrik yang bergerak melalui kabel dapat menginduksi medan magnet di sekitarnya yang selanjutnya dapat menginduksi medan listrik sekunder ke dalam hewan air saat mereka bergerak di dalam air (CMACS, 2003). Beberapa spesies ikan seperti belut dan surgeon sangat peka terhadap medan elektromagnetik dan karenanya mereka tidak dapat bertahan hidup di habitat apa pun di dalam wilayah medan elektromagnetik.

Gas ammonia adalah suatu gas yang tidak berwarna, dan menimbulkan bau yang sangat kuat. Dalam udara, ammonia dapat bertahan kurang lebih satu minggu. Gas ammonia terpajan melalui pernapasan dan dapat mengakibatkan iritasi yang kuat terhadap sistem pernapasan. Karena sifatnya yang iritasi, polutan ini dapat merangsang proses peradangan pada saluran pernapasan bagian atas yaitu saluran pemapasan mulai dari hidung hingga tenggorokan.

Amonium hidroksida : konsentrasi 5 ppm gas amonia menyebabkan iritasi ringan, 9-50 ppm menyebabkan hidung kering, kelelahan saraf (olfactory fatigue), dan iritasi yang tidak parah; dan 150 ppm menyebabkan spasma laringeal. Paparan selama 30 menit menyebabkan cyclic hypernea, meningkatnya tekanan darah dan denyut nadi serta iritasi saluran pernafasan atas terkadang timbul selama 24 jam. Paparan 700 ppm menyebabkan iritasi sedang; 1500 – 10.000 ppm menyebabkan dyspnea, batuk kejang, nyeri dada, kejang pada saluran pernafasan, dahak berbusa berwarna pink (pink frothy sputum), asfiksia dan tertundanya edema paru yang berakibat fatal. Efek lainnya adalah bengkak pada bibir, glottal edema, faringitis, trakeitis dan kesulitan berbicara. Kematina menyebabkan broncopneumonia atau asfiksia yang menyebabkan kejang (spasm), inflamasi atau edema pada laring. Efek residu menyebabkan suara serak, batuk produktif,

penurunan fungsi pernafasan, disfungsi jalan nafas yang kronik, penyakit alveolar, bronchiectasis, emfisema dan kecemasan neuroses.

KESIMPULAN

dampak lingkungan dari siklus tertutup OTEC dapat dipahami. Berikut ini telah diidentifikasi sebagai berpotensi signifikan: pelepasan cairan atau biosida yang bekerja di atmosfer, dampak terhadap spesies darat atau laut yang terancam, hampir punah, atau endemik; , daya tarik biota, terganggunya organisme dekat pantai atau spesies penting secara ekologis dan komersial

Dampak lingkungan akibat OTEC adalah ammonia dapat mengakibatkan iritasi yang kuat terhadap sistem pernapasan. Karena sifatnya yang iritasi, polutan ini dapat merangsang proses peradangan pada saluran pernapasan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. N. Ganic and J. Wu, "On the Selection of Working Fluids for OTEC Plants," *Energy Convers. Manag.*, vol. 20, pp. 9–22, 1980.
- [2] P. K. Takahashit, "OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION: ITS PROMISE AS A TOTAL RESOURCE SYSTEM? PATRICK," *Energy*, vol. 17, no. 7, pp. 657–668, 1992.
- [3] S. M. Masutani and P. K. Takahashi, "Ocean Thermal Energy Conversion (otec)," *Encycl. Ocean Sci.*, no. 1997, pp. 1993–1999, 2001.
- [4] D. Tanner, "Ocean thermal energy conversion: Current overview and future outlook," *Renew. Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 367–373, 1995.
- [5] V. R. Raghavan and M. S. Murthy, "On the selection of fin profiles for OTEC plate-fin evaporators," *Energy Convers. Manag.*, vol. 23, no. 4, pp. 193–199, 1983.
- [6] F. Sun, Y. Ikegami, B. Jia, and H. Arima, "Optimization design and exergy analysis of organic rankine

- cycle in ocean thermal energy conversion,” *Appl. Ocean Res.*, vol. 35, pp. 38–46, 2012.
- [7] C. Seyfried, H. Palko, and L. Dubbs, “Potential local environmental impacts of salinity gradient energy : A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 102, no. August 2018, pp. 111–120, 2019.
- [8] A. R. Sinuhaji, “Potential Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in Bali,” *KnE Energy*, vol. 1, no. 1, p. 5, 2015.
- [9] O. Apunda and B. O. Nyangoye, “ENVIRONMENTAL CHALLENGES FOR OCEAN ENERGY GENERATION,” *Int. J. Dev. Res.*, vol. 8, no. 7, pp. 21744–21748, 2018.
- [10] H. Kamogawa, “OTEC research in Japan,” *Energy*, vol. 5, no. 6, pp. 481–492, 1980.
- [11] M. H. Yang and R. H. Yeh, “Analysis of optimization in an OTEC plant using organic Rankine cycle,” *Renew. Energy*, vol. 68, pp. 25–34, 2014.
- [12] F. Sinama, M. Martins, A. Journoud, O. Marc, and F. Lucas, “Thermodynamic analysis and optimization of a 10MW OTEC Rankine cycle in Reunion Island with the equivalent Gibbs system method and generic optimization program GenOpt,” *Appl. Ocean Res.*, vol. 53, pp. 54–66, 2015.
- [13] A. Hendrawan, Lusiani, and Arissasongko, “ANALISIS ZALIR KERA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OTEC (OCEAN THERMAL ENERGI CONVERSION),” *J. Saintara Vol.*, vol. 2, no. 2, 2018.
- [14] A. Hendrawan, A. Sasongko, and S. Sukmono, “ANALISIS THERMODINAMILA KETEL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OTEC (OCEAN THERMAL ENERGI CONVERSION),” *J. Saintara*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [15] A. Hendrawan, “ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OTEC (OCEAN THERMAL ENERGI CONVERSION) WILAYAH KALIANGET DONAN CILACAP,” *J. bahari Yogya*, vol. 15, no. 24, pp. 66–79, 2017.
- [16] M. . QUINBY-HUNT, D. SLOAN, and P. WILDE, “POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACTS OF CLOSED-CYCLE OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION,” *Env. IMPACT ASSESS REV*, pp. 169–198, 1987.
- [17] F. Chen, L. Liu, J. Peng, Y. Ge, H. Wu, and W. Liu, “Theoretical and Experimental Research on the Thermal Performance of Ocean Thermal Energy conversion System Using the Rankine Cycle Mode Fengyun,” *Energy*, 2019.
- [18] A. Khosravi, S. Syri, M. E. H. Assad, and M. Malekan, “Thermodynamic and economic analysis of a hybrid ocean thermal energy conversion/photovoltaic system with hydrogen-based energy storage system,” *Energy*, 2019.