

AMONIA SEBAGAI FLUIDA KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS LAUT – ALTERNATIF SOLUSI KELISTRIKAN DI INDONESIA

Burhanuddin Halimi

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa 10 Bandung 40132

*Email : burhan@konversi.ee.itb.ac.id

ABSTRAK

Pada makalah ini diusulkan amonia sebagai fluida kerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pembangkit yang diusulkan dapat membangkitkan daya sebesar ~100 kW. Pembangkit ini dapat dijadikan sebagai satu alternatif solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik berbasis energi terbarukan di Indonesia di masa mendatang.

Kata kunci: Amonia, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut, fluida kerja

ABSTRACT

In this paper, ammonia is proposed as the working fluid of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). The result shows that the proposed power generation can generate ~100kW in term of net power. This power generation can be assigned as one of alternative solutions for providing renewable energy-based electrical power supplies in Indonesia in the future.

Keywords : Ammonia, OTEC, working fluid

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia dewasa ini terus meningkat sejalan dengan meningkatnya perekonomian Indonesia. Berdasarkan realisasi kebutuhan energi listrik pada tahun 2015 dan dengan menggunakan asumsi pertumbuhan ekonomi Indonesia sebesar 6,2% per tahun, pertumbuhan realisasi penjualan tenaga listrik diproyeksikan akan mengalami pertumbuhan rata-rata sebesar 8,3% selama 10 tahun mendatang (PT PLN (Persero), 2017). Dengan angka pertumbuhan ini serta mengingat volume energi fosil di dunia yang semakin menurun, maka diperlukan adanya pemanfaatan energi-energi alternatif terutama energi terbarukan untuk mendukung penyediaan energi listrik di Indonesia di masa mendatang.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengusulkan alternatif penyediaan energi listrik berbasis energi terbarukan untuk diaplikasikan di Indonesia. Halimi (2017) mengusulkan penggunaan *fuel cell* dan pembangkit listrik tenaga bayu sebagai salah satu solusi penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan untuk daerah-daerah yang

terisolir dimana sangat tidak memungkinkan untuk menyediakan energi listrik dengan cara konvensional yaitu dengan menggunakan saluran transmisi yang ada. Untuk daerah perkotaan, dimana jumlah penduduk sangat tinggi, Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) atau lebih dikenal dengan istilah *waste to energy* dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif pilihan untuk menambah kapasitas pembangkitan energi listrik yang ada (Anggoro, dkk., 2017). Penggunaan sampah sebagai materi bahan bakar sebuah pembangkit ini sekaligus dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan sampah yang ada di perkotaan. Sedangkan terkait perbaikan siklus konversi energi di pembangkit telah diusulkan oleh beberapa peneliti sebelumnya juga (Halimi, Kim, Suh, 2013; Halimi, Suh, 2012).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 terkait Kebijakan Energi Nasional, pemanfaatan sumber daya energi nasional yang diarahkan untuk ketenagalistrikan terutama terkait sumber energi terbarukan antara lain mencakup energi panas bumi, energi gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut (panas laut), energi angin,

energi sinar matahari, biomassa dan sampah (PT PLN (Persero), 2017). Sebagai salah satu negara tropis dengan garis pantai terbesar kedua di dunia, Indonesia mempunyai potensi sumber daya energi terbarukan, yang belum banyak diketahui oleh masyarakat umum dan juga belum dioptimalkan pemanfaatannya, berupa energi laut atau samudra yang sangat besar. Salah satu bentuk pemanfaatan potensi energi laut adalah potensi energi panas yang ada di perairan laut Indonesia tersebut. Energi panas laut ini merupakan energi yang dibangkitkan oleh adanya perbedaan temperatur antara air di permukaan laut dan air laut di kedalaman tertentu atau lebih sering disebut dengan istilah *Ocean Thermal Energy Conversion* (OTEC). Berdasarkan data, terdapat 16 lokasi di Indonesia yang berpotensi untuk dikembangkan OTEC, antara lain lepas pantai Bali, Jawa, Kalimantan Timur, Sulawesi Utara, Selat Makasar (BPPT, 2014; Syamsudin dkk., 2015). Secara teoritis potensi energi panas laut ini setara dengan 57 GWe (BPPT, 2014; Querapas dkk., 2015). Potensi tersebut dapat diperlihatkan sebagaimana diilustrasikan pada gambaran distribusi temperatur air di beberapa permukaan laut di Indonesia pada Gambar 1 (Lewis dkk., 2011).

Namun, sampai saat ini perkembangan pembangkit listrik berbasis energi kelautan masih belum begitu berkembang dan masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Makalah ini akan membahas potensi ammonia sebagai fluida kerja untuk sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut. Pemilihan ammonia didasarkan pada karakteristik yang dimiliki fluida ini yaitu titik didih lebih rendah dari pada air. Hal ini mengingat fluida kerja yang digunakan pada pembangkit ini harus bekerja pada rentang perbedaan temperatur yang relatif kecil.

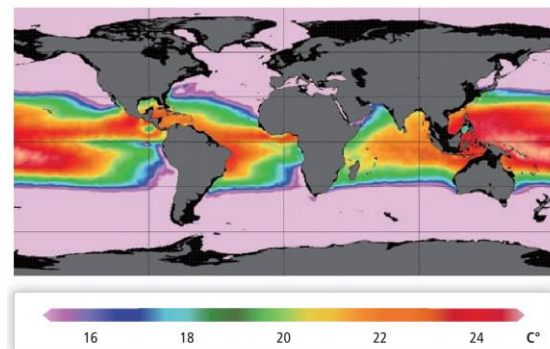
PRINSIP KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS LAUT

Secara prinsip, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut bekerja berdasarkan perbedaan suhu antara air di permukaan laut dengan air laut di kedalaman tertentu. Air di permukaan laut memiliki suhu relatif hangat dan air di kedalaman sekitar 1000 m di bawah permukaan laut bisa memiliki suhu sekitar 5°C sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2. Untuk daerah di sekitar garis katulistiwa, seperti Indonesia, suhu air di permukaan laut

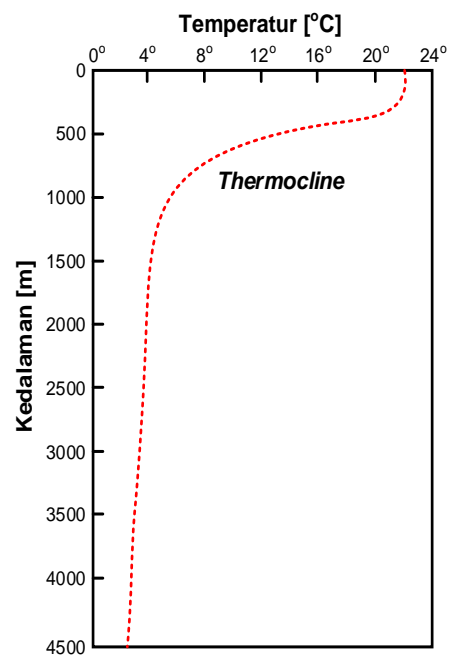
relatif tinggi dibandingkan dengan daerah-daerah sub-tropis.

Secara umum skema pembangkit berbasis OTEC (*closed cycle*) diperlihatkan pada Gambar 3. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3, terdapat beberapa komponen-komponen utama, yaitu:

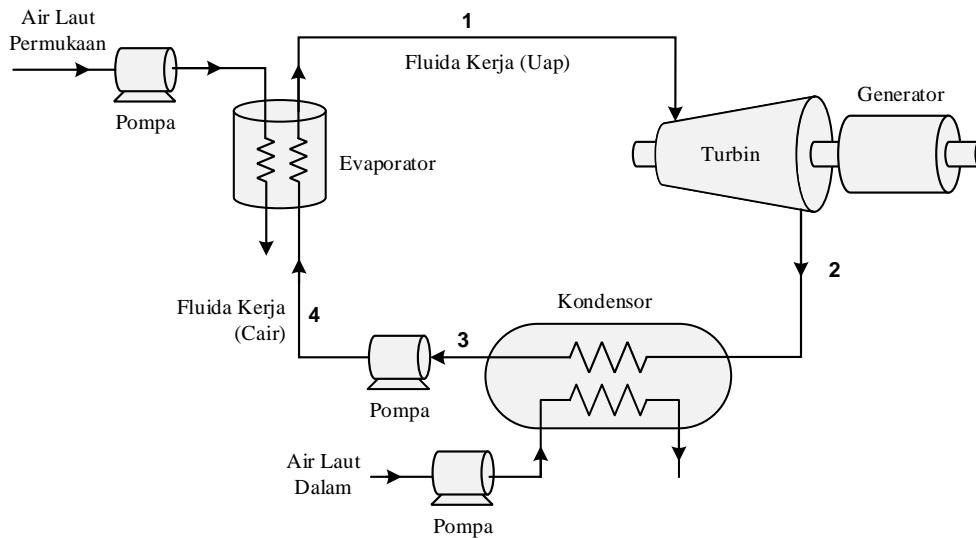
- Pompa, digunakan untuk memompakan air permukaan laut yang hangat ke evaporator, memompakan air laut dalam yang dingin ke kondensor, serta memompakan fluida kerja ke evaporator.



Gambar 1. Temperatur air di permukaan laut Indonesia (Lewis, dkk. 2011)



Gambar 2. Profil temperatur air laut (Mariniebio)



Gambar 3. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut (OTEC) (Quirapas, 2015)

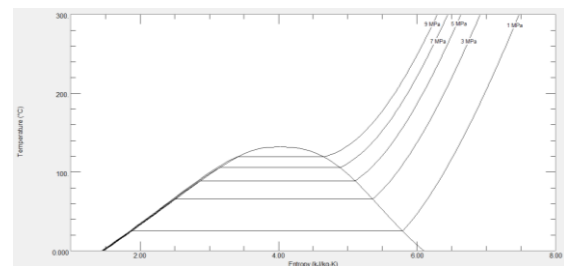
- Evaporator, pada komponen ini terjadi transfer panas antara air permukaan laut yang hangat dengan fluida kerja yang memiliki titik didih rendah sehingga dimungkinkan untuk dihasilkan uap pada temperatur rendah.
- Turbin, fluida kerja dalam bentuk uap akan menggerakkan turbin sebagai penggerak mula generator sinkron sehingga dapat dihasilkan energi listrik di sisi keluaran generator.
- Kondensator, agar fluida kerja dapat dipompa kembali ke evaporator, maka harus dipastikan bahwa fluida kerja sudah dalam bentuk cair. Tugas inilah yang dilakukan oleh komponen kondensator.

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut (tipe *closed cycle*) ini digunakan fluida kerja yang aman dengan titik didih yang relatif rendah untuk mengakomodasi potensi perbedaan temperatur antara air laut permukaan dan air laut dalam yang bernilai di sekitaran 20°C untuk daerah potensial di Indonesia.

KARAKTERISTIK AMONIA

Amonia (NH_3) merupakan senyawa yang pada umumnya dijumpai pada wujud gas. Amonia memiliki titik lebur relatif rendah yaitu $-77,73^{\circ}\text{C}$. Sedangkan titik kritis amonia terletak pada kondisi suhu $132,25^{\circ}\text{C}$ dan tekanan $11,33\text{ MPa}$ (NIST, 2013). Gambar 4 memperlihatkan kurva $T-s$ amonia pada beberapa nilai tekanan.

Pada kurva $T-s$, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4, tampak bahwa untuk tekanan 1 MPa amonia memiliki titik didih pada temperatur $24,9^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengatur tekanan kerja amonia pada tekanan 1 MPa , perubahan wujud amonia dari wujud cair menjadi gas (uap) dapat dicapai dengan mengatur titik kerja pada temperatur minimal $24,9^{\circ}\text{C}$. Tentu saja hal ini tidak dapat dicapai jika fluida kerja yang digunakan adalah air, dimana pada tekanan 1 MPa , titik didih air berada pada temperatur $179,88^{\circ}\text{C}$ (NIST, 2013).



Gambar 4. Kurva $T-s$ amonia

PEMODELAN SISTEM

Untuk menentukan titik kerja sistem, dilakukan perhitungan termodinamika untuk setiap titik kondisi siklus (titik 1, 2, 3, dan 4), sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3. Daya termal masukan yang diperlukan untuk mengubah wujud fluida kerja dari wujud cair menjadi gas di evaporator dianalisis menggunakan persamaan kesetimbangan massa dan energi (Halimi, Suh, 2012), sebagai berikut:

$$Q_e = m_{ws} \times c_p \times (T_{ws-i} - T_{ws-o}) \quad (1)$$

dimana Q_e adalah daya termal evaporator dari air laut permukaan, m_{ws} adalah laju masa air laut permukaan, c_p adalah konstanta perpindahan panas dari air laut permukaan ke fluida kerja, T_{ws-i} adalah temperatur air laut permukaan masukan evaporator, dan T_{ws-o} adalah temperatur air laut permukaan keluaran evaporator.

Berdasarkan Persamaan (1), laju masa fluida kerja dapat dihitung sebagai berikut:

$$m = \frac{Q_e}{h_1 - h_4} \quad (2)$$

dimana m adalah laju masa fluida kerja, h_p adalah entalpi di titik kondisi 1, dan h_4 adalah entalpi di titik kondisi 4, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3. Sedangkan total

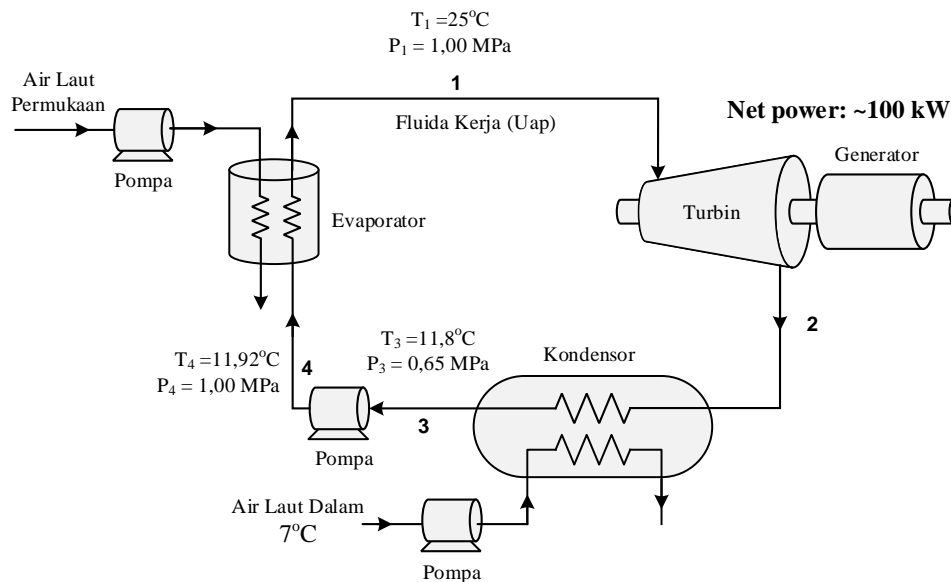
daya keluaran dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W_{net} = W_t - W_p - W_{wsp} - W_{csp} \quad (3)$$

dimana W_{net} adalah daya bersih yang dihasilkan, W_t adalah keluaran generator, W_p adalah daya yang diperlukan pompa fluida kerja, W_{wsp} adalah daya yang diperlukan pompa air laut permukaan, dan W_{csp} adalah daya yang diperlukan pompa air laut dalam.

HASIL ANALISIS

Pada desain konseptual Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut ini, diasumsikan suhu permukaan air laut sebesar 30°C. Dengan asumsi suhu air laut dalam sebagai masukan kondensor sebesar 7°C, maka diperoleh selisih perbedaan temperatur air permukaan dan air dalam sebesar 23°C. Hasil analisis siklus tertutup pembangkit diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Properti titik kondisi fluida kerja

Untuk mendapatkan energi keluaran sebesar ~100kW, laju fluida kerja adalah 3,13 kg/s. Sedangkan laju air laut permukaan dan air laut dalam masing-masing adalah sebesar 320 kg/s dan 308 kg/s.

Catatan penting terkait Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut ini adalah efisiensi siklus relatif kecil jika dibandingkan dengan pembangkit konvensional seperti PLTU pada umumnya, dimana batubara digunakan sebagai

bahan bakar baku pembangkit tersebut. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, efisiensi termal siklus Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut yang dikaji adalah 2,62%. Meskipun berdasarkan nilai efisiensi relatif sangat kecil, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut tetap menjadi salah satu potensi alternatif solusi untuk memenuhi kebutuhan listrik dunia atau Indonesia pada khususnya. Karena pembangkit ini menggunakan energi primer yang termasuk dalam kategori energi

terbarukan, kekuatiran terhadap kendala kontinuitas keberadaan bahan bakar baku pembangkit relatif dapat terjaga dengan baik. Hal yang berbeda tidak dapat dilakukan pada pembangkit yang menggunakan bahan bakar baku yang berasal dari fosil seperti batubara. Mengingat seiring dengan perjalanan waktu dan penggunaan bahan bakar fosil, jumlah bahan bakar fosil semakin menurun dan pada akhirnya akan habis. Oleh karena itu, penggunaan energi terbarukan harus tetap didorong terus, sehingga laju penurunan jumlah bahan bakar fosil dapat ditekan sekaligus dapat mengurangi potensi efek rumah kaca yang menjadi salah satu kendala utama pada pembangkit-pembangkit berbahan bakar baku dari bahan bakar fosil.

SIMPULAN

Pada makalah ini telah diusulkan amonia sebagai fluida kerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pembangkit yang diusulkan dapat membangkitkan energi sebesar ~ 100 kW. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Laut dapat dijadikan salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia berbasis energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, B., Aprilian, A., Halimi, B.. 2017. *Potency of Waste to Energy - Bandung City Case Study*. The International Conference on High Voltage Engineering and Power System (ICHVEPS) 2017.
- BPPT. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014*.
- Halimi, B. 2017. Hybrid Power Generation as an Environmental Friendly Energy Supply Solution for Remote Area in Indonesia. *International Journal of Environmental Science and Development*. Jilid 8, terbitan 3, hlm. 159-163
- Halimi, B., Kim S.H., Suh, K.Y. 2013. Engineering of Combined Valve Flow for Power Conversion System. *Energy Conversion and Management*. Jilid 65, hlm. 448-455.
- Halimi, B., Suh, K.Y. 2012 Computational Analysis of Supercritical CO₂ Brayton Cycle Power Conversion System for Fusion Reactor. *Energy Conversion and Management*. Jilid 63, hlm. 38-43.
- Lewis, A., S. dkk. 2011. *Ocean Energy*. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Marinebio. The Ocean and Temperature. <http://marinebio.org/oceans/temperature.asp>
- NIST. 2013, NIST *Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties—REFPROP, User's Guide*.
- PT PLN (Persero). 2017. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2017-2026*.
- Quirapas, M. A. J. R., dkk. 2015. Ocean Renewable Energy in Southeast Asia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Jilid 41, hlm. 799-917.
- Syamsudin, M. L., dkk. 2015. OTEC Potential in The Indonesia Seas. *Energy Procedia*. Jilid 65, hlm. 215-222.