

Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Panas Bumi terhadap Variasi Temperatur Lingkungan Menggunakan Aspen Plus

Hendrik V Sihombing, Himsar Ambarita, Faisal S Tarigan

Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Indonesia

himsar@usu.ac.id

Abstract

Improvements in the performance of geothermal power generation systems have continued to be developed to date, aiming to achieve optimal energy conversion efficiency. One important factor affecting system performance is ambient temperature, mainly because it directly affects the condensation process and thermodynamic equilibrium of the Organic Rankine Cycle (ORC). This study aims to analyze the effect of ambient temperature variations on the performance of organic Rankine cycle (ORC) geothermal power plants. The analysis was conducted using numerical simulation with Aspen Plus software and the Peng–Robinson state equation model. The ambient temperature was varied between 27°C, 30°C, 33°C, 35°C, and 40°C. The parameters analysed included evaporation pressure, condensation pressure, working fluid mass flow rate, and cycle system output power. The simulation results indicate that an increase in ambient temperature leads to an increase in condensation pressure, thereby affecting the system's net power. Therefore, ambient temperature is an important parameter that must be considered in the optimization and design of Organic Rankine Cycle/ORC geothermal power generation systems.

Keyword: ORC, Temperatur Ambient, Power, Simulation

Abstrak

Peningkatan kinerja sistem pembangkit listrik panas bumi terus dikembangkan hingga saat ini, untuk mendapatkan efisiensi konversi energi yang optimal. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kinerja sistem adalah temperatur lingkungan, terutama dikarenakan berpengaruh secara langsung terhadap proses kondensasi dan keseimbangan termodinamika siklus Organic Rankine Cycle/ORC. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur lingkungan terhadap kinerja pembangkit listrik panas bumi berbasis siklus Rankine organik (Organic Rankine Cycle/ORC). Analisis dilakukan menggunakan simulasi numerik dengan perangkat lunak Aspen Plus dan model persamaan keadaan Peng–Robinson. Temperatur lingkungan divariasikan antara lain 27°C, 30°C, 33°C, 35°C, dan 40°C. Parameter yang dianalisis meliputi tekanan evaporasi, tekanan kondensasi, laju aliran massa fluida kerja, serta daya keluaran sistem siklus. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan temperatur lingkungan menyebabkan kenaikan tekanan kondensasi yang berdampak pada daya bersih sistem. Sehingga, temperatur lingkungan merupakan parameter penting yang harus dipertimbangkan dalam optimasi dan perancangan sistem Organic Rankine Cycle/ORC pembangkit listrik panas bumi.

Kata Kunci: ORC, Temperatur lingkungan, Daya, Simulasi

1. PENDAHULUAN

Peningkatan populasi secara luas di seluruh dunia saat ini memiliki dampak signifikan terhadap sektor listrik. Hingga saat ini, sebagian besar energi di dunia dihasilkan melalui pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas. Produksi energi di dunia saat ini, sekitar 86% berasal dari bahan bakar fosil. Pembakaran bahan bakar fosil

menghasilkan gas karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Gas ini merupakan penyebab utama pemanasan global yang menyebabkan kerusakan serius pada lingkungan [1]. Bahan bakar fosil bersifat tidak dapat diperbaharui, sehingga manusia perlu mencari sumber energi alternatif seperti energi terbarukan. Energi tersebut harus aman, berkelanjutan, dan ramah lingkungan dalam produksi tenaga. Penggunaan yang tepat dari energi terbarukan seperti angin, matahari, geothermal, dan biomassa mampu mengurangi tingkat konsumsi bahan bakar fosil dan membantu mengurangi pemanasan global serta deplesi ozon [2].

Siklus Rankine Organik (ORC) merupakan proses yang menjanjikan untuk konversi panas bertekanan rendah dan menengah menjadi listrik. Berbeda dengan siklus Rankine uap konvensional, siklus Rankine organik (ORC) menggunakan fluida organik dengan massa molekul tinggi. Siklus ini memungkinkan pemulihan panas dari sumber panas bertekanan rendah, seperti panas sisa industri, untuk diubah menjadi kerja berguna atau dapat diubah menjadi listrik [3].

Beberapa studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini. Himsar dan Hendrik [4] menganalisis kinerja siklus Rankine organik (ORC) berdasarkan beberapa fluida kerja untuk siklus tersebut. Terdapat tiga varian fluida kerja, yaitu R245fa, R11, dan R123. Han LV dkk. [5] mensimulasikan siklus Rankine organik menggunakan Aspen Plus. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan tekanan evaporasi dapat mengurangi laju konsumsi uap. Giuliano C dkk. [6] melakukan analisis termodinamika siklus Rankine organik dengan membandingkan fluida kerja. Ada dua fluida kerja yang disimulasikan, yaitu isopentana dan isobutana. Talieh Rajabloo meneliti siklus Rankine organik berdasarkan kondisi fluida kerja dan periferia yang berbeda.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis termodinamika penerapan siklus Rankine organik (ORC) untuk pembangkit energi dengan memanfaatkan sumber daya geotermal. Hasil analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu lingkungan terhadap kinerja pembangkit pada siklus Rankine organik.

2. METODE PENELITIAN

Model numerik dibangun berdasarkan pendekatan parameter tertentu. Alur kerja pemodelan didasarkan pada langkah-langkah berikut. Pertama, diagram alir dibuat, di mana pabrik siklus Rankine organik ini harus terdiri dari pompa, evaporator, turbin, dan kondensor. Cairan kerja dan sifat fisiknya diimplementasikan. Menggunakan perangkat lunak Aspen Plus untuk mensimulasikan proses sistem, dengan menerapkan persamaan keadaan yang diusulkan oleh metode perhitungan sifat Peng-Robinson [8].

$$P = \frac{RT}{\tilde{V} - b} - \frac{\alpha \cdot \alpha(T)}{\tilde{V}^2 + 2b\tilde{V} - b^2} \quad (1)$$

dimana $\tilde{V}$ merupakan molar volume dan koefisien sebagai berikut:

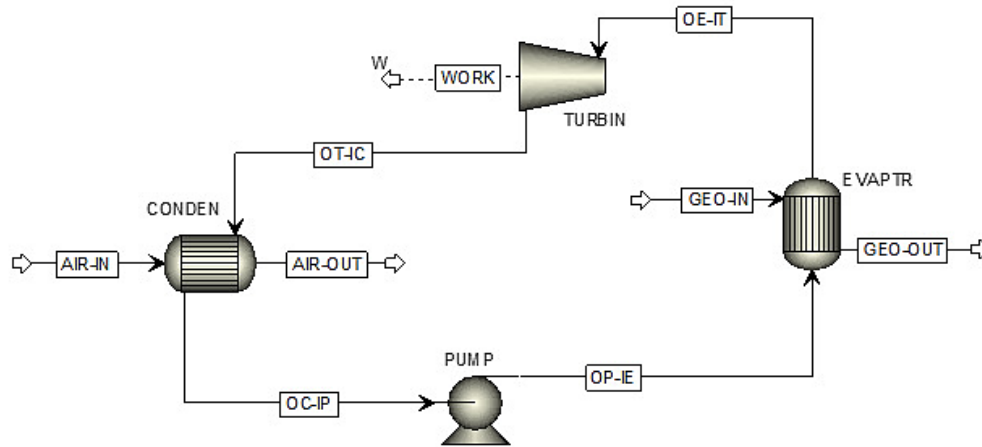
$$\alpha = \frac{0.45724R^2T_c^2}{P_c} \quad (2)$$

$$b = \frac{0.07780RT_c}{P_c} \quad (3)$$

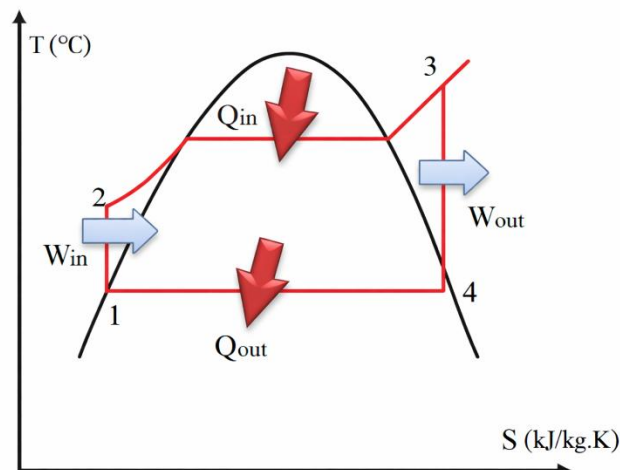
$$\alpha(T) = \left(1 + \left(0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2\right)\left(1 - T_r^{0.5}\right)\right)^2 \quad (4)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (5)$$

Model dibangun berdasarkan elemen-elemen siklus rankine. Hubungan antara objek-objek simbolik yang berbeda kemudian didefinisikan berdasarkan keseimbangan massa dan energi selama proses. Kondisi batas dan parameter lingkungan untuk sistem juga ditetapkan. Representasi skematis dari sistem yang diteliti dalam ruang kerja ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pembangkit ORC pada Aspen plus



Gambar 2. Siklus Termodinamika T-s pada ORC

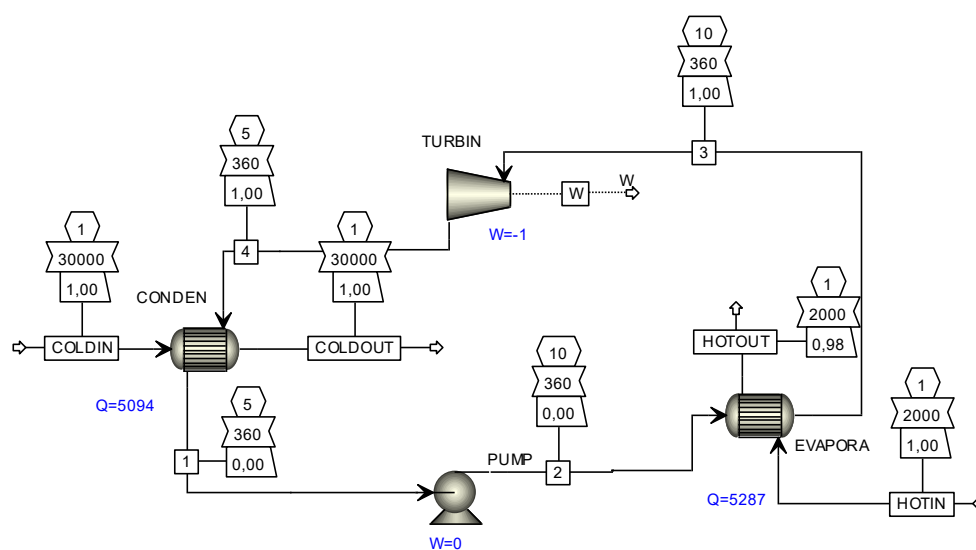
Gambar 2 menunjukkan representasi siklus termodinamika sistem yang sedang diteliti pada diagram suhu-entropi. Fluida kerja meninggalkan kondensor sebagai cairan jenuh (titik keadaan 4) pada tekanan kondensor. Kemudian fluida tersebut dikompresi oleh pompa itu sendiri sebagai cairan yang didinginkan, sehingga tekanan meningkat tetapi suhu tetap rendah. Kemudian pentana masuk ke evaporator, uap panas dari pemanasan geotermal memanaskan pentana untuk meningkatkan suhu pentana, sementara uap dingin kembali ke bawah tanah. Uap dengan suhu dan tekanan tinggi masuk ke turbin dan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Pentana dengan tekanan dan suhu rendah akan masuk ke kondensor sebelum dipompa kembali ke evaporator. Kondisi operasional utama dan asumsi untuk perhitungan sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 1

Tabel 2. Parameter Simulasi Aspen Plus

Parameter	Nilai
Fluida kerja	R245fa (1,1,1,3,3- <i>Pentafluoropropane</i>)
Fasa fluida kerja keluar pompa	0
Fasa fluida kerja keluar APK dan turbin	1
Tekanan keluar turbin (bar)	5
Temperature geothermal ($^{\circ}\text{C}$)	100
Temperatur udara kondensor ($^{\circ}\text{C}$)	27, 30, 33, 35, dan 40
Efesiensi turbin (%)	80
Efesiensi pompa (%)	80

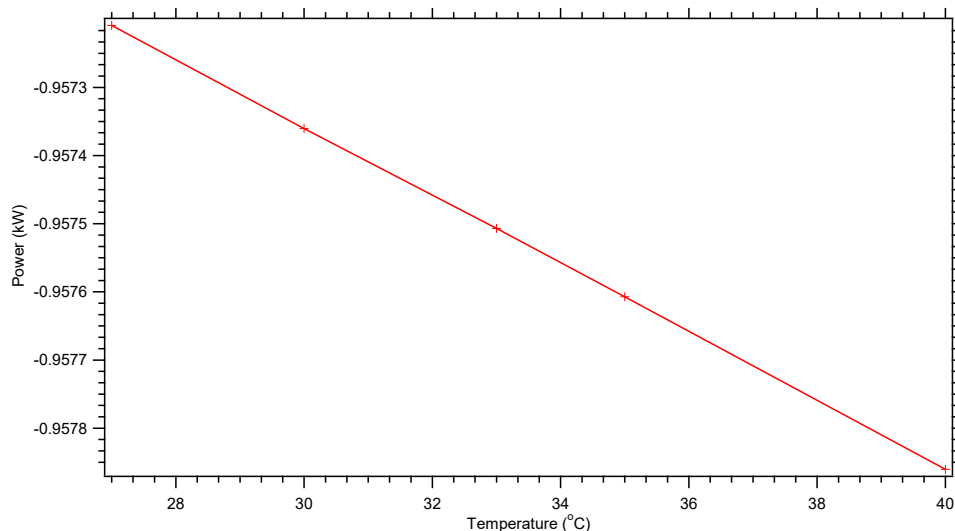
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Ada lima suhu yang disimulasikan, yaitu 27°C , 30°C , 33°C , 35°C , dan 40°C sebagai suhu lingkungan untuk mendapatkan luaran daya listrik tertinggi, dan efek variasi suhu lingkungan serta kondisi operasi dianalisis. Pada Gambar 3, selama simulasi, tekanan inlet pompa (P_{in}) siklus Rankine organik (ORC) diatur pada tekanan 2 bar, suhu dan tekanan uap sumber daya geothermal tetap pada temperature 100°C , sedangkan suhu udara lingkungan di kondensor bervariasi (27°C , 30°C , 33°C , 35°C , dan 40°C). Laju aliran massa sistem tetap konstan pada 360 kg/jam.



Gambar 3. Simulasi Pembangkit Siklus ORC Menggunakan Aspen plus

Hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu lingkungan sebagai suhu sekitar memiliki pengaruh terhadap kinerja siklus Rankine organik. Kondisi operasi sistem dianalisis, selama simulasi, tekanan outlet turbin (P_{in}) siklus Rankine organik (ORC) diatur menjadi 2 bar dan tekanan inlet turbin (P_{in}) 5 bar. Simulasi menunjukkan bahwa variasi tekanan inlet turbin dan fluida kerja memiliki pengaruh terhadap kinerja siklus Rankine organik.



Gambar 4. Daya Keluaran Pembangkit ORC dengan Variasi Temperatur Lingkungan

Gambar 4 menunjukkan perubahan daya yang dihasilkan pada kondensor ORC dengan suhu lingkungan yang berbeda. Tekanan fluida kerja sumber panas memiliki nilai nominal dan sama dengan 2 bar. Untuk setiap tekanan, sistem dioptimalkan untuk efisiensi sistem maksimum. Dengan peningkatan suhu dalam rentang 27 °C, 30 °C, 33 °C, 35 °C, dan 40 °C, daya keluaran ORC sistem berkurang dari -0,9573 kW menjadi -0,9578 kW. Dari Gambar 3 menunjukkan daya keluaran turbin ORC untuk variasi suhu lingkungan, daya keluaran tertinggi diperoleh pada suhu lingkungan 27°C, dan terendah pada suhu tertinggi 40°C. Rata-rata daya menurun 0,06% dari 27°C hingga 40°C sebagai suhu lingkungan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu lingkungan untuk pendinginan kondensat menyebabkan penurunan daya keluaran turbin ORC.

4. KESIMPULAN

ORC yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik telah disimulasikan dan dianalisis dalam penelitian ini. Perangkat lunak simulasi Aspen Plus digunakan untuk menghitung karakteristik termodinamika desain. Dalam penelitian ini, variasi suhu lingkungan 27°C, 30°C, 33°C, 35°C, dan 40°C disimulasikan. Sistem yang digunakan menggunakan R245fa (*Pentafluoropropane*) sebagai fluida kerja. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa suhu lingkungan mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh ORC. Terjadi penurunan daya ORC sebesar 0.057. Penurunan ini relatif kecil namun menunjukkan bahwa kinerja sistem ORC sangat sensitif terhadap perubahan temperatur lingkungan, terutama pada proses kondensasi.

5. REFERENSI

- [1] Bester Energy. [Online]. Available: <https://bester.energy/en/fossil-fuels-vs-renewable-energy/en/renewable-solution/>. [Accessed 02 February 2026].
- [2] Anya B., Mohammadpourfard M., Akkurt G G., Ibatloo B M., 2025 Renewable and Sustainable Energy Reviews **210** 115185.
- [3] Ma Q., Lv Y., Sha H., Yu H., Luo S., 2025 Energies **18** 5549.
- [4] Ambarita H, and Sihombing HV 2020 Journal of Physics: Conference Series **1566** 012042.
- [5] Han LV, Jiang WT, and Zhu QZ 2015 Advanced Material Research Vols. 1070-1072 pp. 1808-1811.
- [6] Cammarata G, Cammarata L, Petrone G 2014 Enegy Procedia **45** 1337-1343.

- [7] Rajabloo T 2017 Energy Procedia **129** 90-96.
- [8] Peng DY, Robinson DB 1976 Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals **15** 59-64
- [9] Maurya S, Tripathi B M., Shukla S K., 2026 AIP Conference Proceedings **3385** 070001.
- [10] Jiang Y., Feng Y., Tian S., Liu Z., Wang X., Wu., Zhang Y., 2025 Energy **333** 137333.
- [11] Kumar A, and Shukla S.K. 2016. Procedia Technology **23** 454-463.
- [12] Cengel Y.A and Boles M.A. 2005. Thermodynamic An Engineering Approach. 5th Edition.