



PEMANFAATAN POTENSI GEOTERMAL WKP TULEHU MELALUI PEMBANGKIT SIKLUS BINER

Deny Ismail Pellu¹⁾, Azmain Noor Hatuwe²⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon

¹⁾denypellu21@gmail.com

ARTICLE HISTORY

Received:

May 20, 2025

Revised

June 09, 2025

Accepted:

June 09, 2025

Online available:

June 10, 2025

Keywords:

Geothermal, Binary Cycle, Energy

*Correspondence:

Name: Deny Ismail Pellu

E-mail: denypellu21@gmail.com

Kantor Editorial

Politeknik Negeri Ambon

Pusat Penelitian dan Pengabdian

Masyarakat

Jalan Ir. M. Putuhena, Wailela-

Rumahtiga, Ambon Maluku,

Indonesia

Kode Pos: 97234

ABSTRACT

Geothermal is a new renewable energy model that comes from the bowels of the earth which is exploited using a Geothermal Power Plant (PLTP) into electrical energy. For high-temperature hot steam, it is used directly as a turbine rotation to produce electricity. The Tulehu WKP which has been explored by drilling 5 wells only produces medium-temperature fluids and is estimated to produce around 7 megawatts (MW) of electricity.

One method used to increase the efficiency of PLTP is the binary cycle. The binary cycle is a geothermal fluid power generation system that is used to heat the working fluid using a heat exchanger from the liquid phase to the vapor phase which is then used to drive the turbine. Furthermore, the turbine drives the generator and is converted into electrical energy. This study aims to determine the performance of the Organic Rankine Cycle ORC using isopentane, isobutene and butane working fluids to obtain optimal performance. The method used is to use simulation with the Aspen HYSYS application to obtain good and optimal Organic Rankine Cycle (ORC) fluids.

From these problems, the Tulehu Geothermal Power Plant can be built using a binary cycle, so in this study an energy analysis was carried out with the Tulehu Geothermal Power Plant binary cycle in order to produce maximum energy. By applying the binary cycle, the power generated reaches 10 MW.

Keywords: Geothermal, Binary Cycle, Energy

1. PENDAHULUAN

Permintaan kebutuhan energi listrik di Kota Ambon cenderung terus meningkat karena peningkatan jumlah penduduknya serta pertumbuhan ekonomi setiap tahunnya yang terus bertambah (Tamaela). Sehubungan dengan permintaan (*demand*) energi listrik yang terus meningkat, PT. PLN (Persero) Wilayah Maluku dan Maluku Utara sebagai pemegang kuasa usaha ketenagalistrikan berkewajiban untuk memenuhi setiap permintaan energi listrik yang ada (Fretes). Pulau ambon memiliki dua (2) pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yaitu; PLTD Poka dan PLTD Hative Kecil, kedua pembangkit tersebut sudah tidak beroperasi sejak 2017. Kebutuhan energi listrik Pulau Ambon saat ini (2020) sekitar 56 MW pada beban puncak. Sejak 2017 hingga saat ini energi listrik Pulau ambon berasal dari *Marine Vessel Power Plant* (MVPP) berkapasitas 240 MW dengan daya mampu

120 MW dengan sistem sewa oleh PT. PLN kepada PT. Kar Powership Indonesia hingga 2022 (Lawalata and Almada).

Salah satu sumber daya alam terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik adalah panas bumi (Yajnartha et al.). Panas bumi merupakan model energi baru terbarukan yang berasal dari dalam perut bumi (Afriandi and Hantoro). Energi panas bumi dapat dieksploitasi menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) untuk menjadi energi listrik (Kusuma A. et al.). 40% cadangan panas bumi dunia berada di Indonesia dan berpotensi membangkitkan listrik hingga 29.000 MW (Nandaliarsyad et al.), salah satunya di Pulau Ambon yang memiliki potensi panas bumi sekitar 35 MW yang dikelola oleh PLTP Tulehu (Dirjen EBTKE).



Gambar 1. Lokasi Wellpad WKP Tulehu

Hasil eksplorasi lanjutan yang dilakukan pada 2017 terdapat 4 Sumur yang siap beroperasi yaitu Sumur TLU-B-01, TLU-B-02, TLU-C-01, TLU-D-01 (JICA, 2017). Namun hasil yang didapatkan tidak sesuai dengan prediksi awal. Potensi terbukti dari 5 sumur di WKP Tulehu hanya menghasilkan 5-7 MW. Salah satu cara yang digunakan untuk mengoptimasi PLTP dengan menerapkan siklus biner (Kusuma A. et al.). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fluida kerja yang tepat untuk digunakan, mengetahui daya optimum setelah dilakukan proses optimasi serta dapat mengetahui apakah metode siklus biner dapat diaplikasikan pada PLTP Tulehu

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi panas bumi adalah energi yang bersumber dari panas alami bumi, yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik maupun keperluan non-listrik seperti pemanasan. Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar, mencapai sekitar 29.000 MW atau 40% dari total potensi panas bumi dunia (Dirjen EBTKE, 2017). Pemanfaatan sumber daya ini sangat penting dalam mendukung transisi energi bersih dan pengurangan emisi karbon.

PLTP merupakan sistem pembangkitan listrik yang memanfaatkan fluida panas bumi dalam bentuk uap atau air panas. Terdapat beberapa sistem pembangkitan panas bumi, yaitu sistem uap kering (dry steam), flash steam, dan siklus biner. Pemilihan sistem bergantung pada karakteristik temperatur dan tekanan fluida geotermal (Yajnartha et al., 2017).

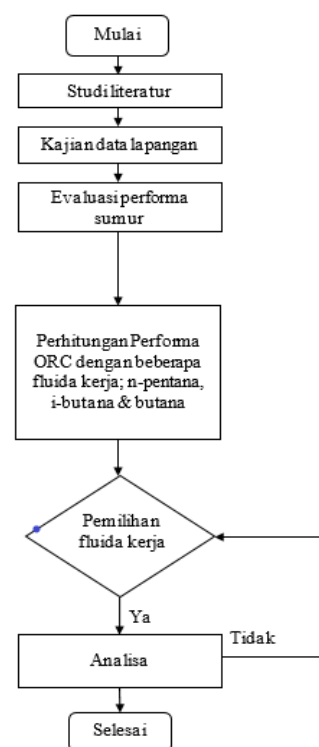
Sistem siklus biner (*binary cycle*) digunakan ketika sumber panas bumi memiliki temperatur rendah hingga menengah (biasanya di bawah 150°C). Dalam sistem ini, fluida panas bumi digunakan untuk memanaskan fluida kerja sekunder yang memiliki titik didih rendah seperti R134a, R245fa, atau iso-butana, melalui *heat exchanger*. Fluida kerja ini menguap dan digunakan untuk memutar turbin (Hofmann & Tsatsaronis, 2016). Sistem ini efisien dan lebih ramah

lingkungan karena tidak mengeluarkan emisi secara langsung ke atmosfer.

Pemilihan fluida kerja dalam siklus biner sangat penting karena memengaruhi efisiensi termal sistem. Fluida kerja ideal adalah yang memiliki tekanan uap tinggi, kapasitas panas yang baik, tidak beracun, dan tidak mudah terbakar. Beberapa studi menunjukkan bahwa R134a dan R1234yf merupakan fluida kerja yang cocok untuk pembangkitan listrik skala kecil hingga menengah (Darvish et al., 2015)

Penelitian sebelumnya oleh (Hamdani et al., 2016) menunjukkan bahwa pemanfaatan panas buangan brine melalui siklus biner mampu meningkatkan efisiensi keseluruhan PLTP. Sementara itu, (Lecompte et al., 2015) membahas berbagai arsitektur sistem ORC (Organic Rankine Cycle) dan menekankan pentingnya desain sistem dan pemilihan fluida untuk mencapai efisiensi maksimal

3. METODOLOGI



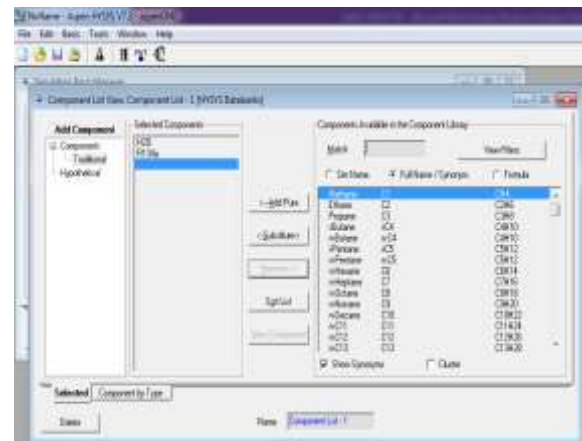
Gambar 2 Flow Chart Penelitian

Metode dalam penelitian ini menggunakan simulasi dengan software HYSIS yaitu salah satu simulasi proses untuk melihat pemodelan proses perancangan, menghitung perancangan secara matematis dan sinkronisasi hasil perancangan. Data berasal dari 2 sumur produksi meliputi data tekanan, temperatur dan laju alir fluida panas bumi. Sebelum



input data ke Hysis terlebih dahulu menentukan kondisi-kondisi fluida panas bumi

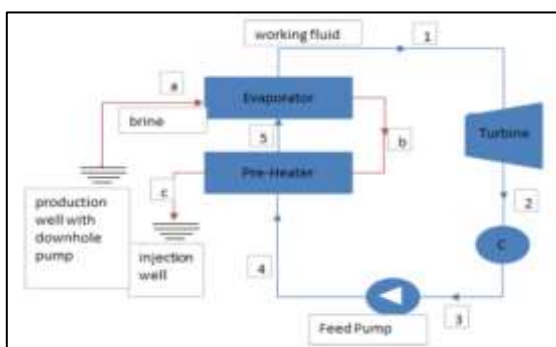
Proses simulasi selanjutnya adalah untuk mengetahui proses -proses yang terjadi pada proses pembangkitan menggunakan siklus biner dengan fluida panas bumi. Yang dilakukan adalah dengan menyusun setiap komponen pada siklus yang meliputi *heat exchanger* dan turbin. Turbin kemudian diatur aliran-aliran yang berhubungan, setelah itu ditentukan parameter-parameter pada turbin tersebut dan yang berhubungan dengan aliran. Setelah itu barulah dapat dilihat kerja turbin dalam simulasi. Penelitian ini adalah mengembangkan model komputer dari *Organic Rankine Cycle* (ORC) menggunakan simulator proses Aspen HYSYS model 7.3 dengan menggunakan 3 fluida pereaksi yaitu ; n-pentana, i-butana & butane.



Gambar 4 Tampilan input fluida yang digunakan pada simulasi dengan menggunakan perangkat lunak HYSYS.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan Model ORC yaitu model siklus termodinamika skema pembangkit listrik menggunakan *Organic Rankine Cycle* (ORC) yang diatur untuk memungkinkan perhitungan rinci. Kondisi optimal diperoleh dengan mencoba beberapa nilai untuk tekanan masuk turbin dan tekanan kondensor. Berdasarkan perhitungan, korelasi perubahan tekanan masuk turbin dan tekanan kondensor adalah ketika tekanan masuk turbin dan tekanan kondensor meningkat, output daya ORC akan menurun



Gambar 3. Skema Pembangkit Listrik ORC

Pada penelitian ini digunakan jenis Fluida kerja n-pentana, i-butana dan butane. Melalui simulasi, dapat disimpulkan bahwa fluida kerja pada siklus biner yang paling baik.

TP (bar)	n = 20 kg/s			n = 25 kg/s			n = 30 kg/s		
	Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW) Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW) Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW)			Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW) Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW) Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW)			Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW) Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW) Daya yang dihasilkan pada Turbin (kW)		
2.0	42.53	53.40	58.09	53.72	64.70	71.10	41.71	47.71	51.10
2.5	47.64	58.29	63.07	60.25	71.25	84.30	47.16	54.30	58.30
3.0	57.25	68.34	74.09	70.35	82.35	107.62	54.30	64.30	68.30
3.5	66.11	77.34	83.34	79.34	91.17	121.39	61.39	71.39	75.39
4.0	72.72	83.99	89.99	85.99	97.99	134.99	67.99	77.99	81.99
4.5	77.70	88.97	94.97	90.97	102.97	140.97	72.97	82.97	86.97
5.0	82.73	93.99	99.99	95.99	107.99	146.99	77.99	87.99	91.99
5.5	87.67	98.94	104.94	100.94	112.94	152.94	82.94	92.94	96.94
6.0	92.57	103.96	109.96	105.96	117.96	158.96	87.96	97.96	101.96
6.5	97.77	108.70	114.70	110.70	122.70	164.70	92.70	102.70	106.70
7.0	107.34	117.30	123.30	119.30	131.30	171.30	101.30	111.30	115.30

Tabel. 1. Hasil simulasi HYSIS penggunaan fluida i-pentana sebagai pemberi tekanan masuk pada turbin dan kondensor

Jika ditinjau dari daya yang dihasilkan adalah i-pentana. i-pentana baik digunakan dan dapat meningkatkan daya yang dihasilkan. Sehingga output daya yang dihasilkan berdasarkan Simulasi HYSIS adalah 10 MW, ini berarti dengan menggunakan fluida kerja i-pentana dapat meningkatkan daya hingga 2,2 kali lebih besar dari pada tanpa fluida kerja. Siklus biner dapat dimanfaatkan pada sumber panas bumi bersuhu rendah. Hal ini dapat dilihat pada gambaran table 1,2 dan 3 dan grafik pada gambar 5 dan 6.

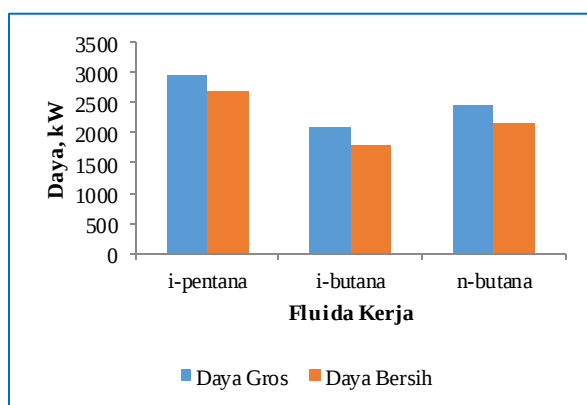


TIP (bar)	n=20 kg/s			n=25 kg/s			n=30 kg/s		
	Daya yang dihasilkan pada Turbinator (kW)			Daya yang dihasilkan pada Turbinator (kW)			Daya yang dihasilkan pada Turbinator (kW)		
	35°C	40°C	45°C	35°C	40°C	45°C	35°C	40°C	45°C
5.0	75.61	82.10	-	-	-	-	100.52	-	-
7.0	395.45	484.29	533.78	479.09	565.15	600.55	720.55	795.05	850.05
9.0	647.02	808.80	865.48	802.59	870.69	910.69	1070.69	1170.69	1250.69
11.0	892.94	1065.80	1126.51	1070.69	1170.69	1250.69	1450.69	1550.69	1650.69
13.0	1104.41	1280.51	1340.01	1280.51	1340.01	1450.69	1650.69	1750.69	1850.69
15.0	1248.55	1400.66	1450.66	1400.66	1450.66	1550.69	1750.69	1850.69	1950.69
17.0	1390.76	1504.70	1550.66	1504.70	1550.66	1650.69	1850.69	1950.69	2050.69
19.0	1534.47	1600.69	1650.66	1600.69	1650.66	1750.69	1950.69	2050.69	2150.69

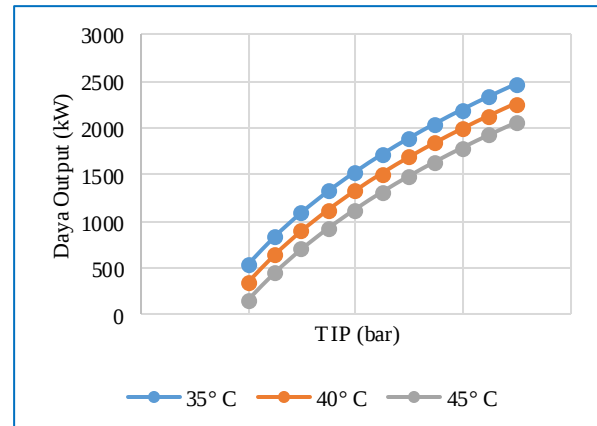
Tabel. 2. Hasil simulasi HYSIS penggunaan fluida i-butana sebagai pemberi tekanan masuk pada turbin dan kondensor

TIP (bar)	n=20 kg/s			n=25 kg/s			n=30 kg/s		
	Daya yang dihasilkan pada Turbinator (kW)			Daya yang dihasilkan pada Turbinator (kW)			Daya yang dihasilkan pada Turbinator (kW)		
	35°C	40°C	45°C	35°C	40°C	45°C	35°C	40°C	45°C
5	418.24	524.85	549.65	479.77	488.86	488.86	488.86	488.86	488.86
7	776.86	970.87	794.20	483.27	1145.20	949.54	949.54	788.50	788.50
9	1087.20	1320.50	1137.60	957.07	1305.00	1345.72	1345.72	1148.48	1148.48
11	1286.67	1480.33	1420.40	1257.39	1650.00	1705.60	1705.60	1448.75	1448.75
13	1478.89	1640.62	1459.33	1472.41	2218.34	1949.20	1949.20	1766.09	1766.09
15	1641.70	1802.13	1680.90	1670.93	2442.55	2255.08	2255.08	2006.30	2006.30

Tabel. 2. Hasil simulasi HYSIS penggunaan fluida n-butana sebagai pemberi tekanan masuk pada turbin dan kondensor



Gambar 5 Peningkatan daya kerja dari fluida penggerak dengan menggunakan perangkat lunak HYSIS



Gambar 6 Peningkatan daya dari fluida penggerak pada temperature kerja dengan menggunakan perangkat lunak HYSIS

Pemilihan fluida kerja adalah inti dari keberhasilan siklus biner pada panas bumi bersuhu rendah. Fluida kerja yang ideal harus memiliki karakteristik termodinamika tertentu agar efisiensi dan performa sistem maksimal. i-pentana sebagai fluida kerja melalui penggunaan simulasi menggunakan program HYSIS, dapat dianalisa bahwa Siklus biner, khususnya **Organic Rankine Cycle (ORC)**, bekerja mirip dengan siklus Rankine konvensional, tetapi dengan satu perbedaan fundamental dan menggunakan **fluida kerja organik** yang memiliki titik didih jauh lebih rendah daripada air

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa penerapan metode siklus biner dapat diaplikasikan pada PLTP Tulehu dengan memperhatikan beberapa karakteristik fluida kerja, i-pentana dalam simulasi HYSIS memiliki karakteristik termodinamika yang baik antara lain efisiensi dan performa sistem maksimal yaitu titik didih rendah dan tekanan uap yang memadai

5.2. Saran

Untuk melakukan penelitian lanjutan dalam pemanfaatan fluida kerja sebagai **Organic Rankine Cycle (ORC)** pada pemanfaatan panas bumi diharapkan memperhatikan variable-variabel yang sangat berpengaruh diantaranya suhu sumber panas bumi, suhu pendingin (*sink temperature*), efisiensi termal, daya keluaran (*power output*), keamanan, dampak lingkungan

**DAFTAR PUSTAKA**

- Afriandi, Aloysius, and Ridho Hantoro. "Analisis Pemanfaatan Geothermal Brine Untuk Pembangkitan Listrik Dengan Heat Exchanger." *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, 2018, pp. 61–65.
- Cao, Guang Sheng, et al. "Development of Polymer Gel Plugging Removal Agent in Suizhong 361 Oilfield." *Advanced Materials Research*, vol. 860–863, 2014, pp. 1026–29, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.860-863.1026.
- Chen, Huijuan, et al. "A Supercritical Rankine Cycle Using Zeotropic Mixture Working Fluids for the Conversion of Low-Grade Heat into Power." *Energy*, 2011, doi:10.1016/j.energy.2010.10.006.
- Darvish, Kamyar, et al. "Selection of Optimum Working Fluid for Organic Rankine Cycles by Exergy and Exergy-Economic Analyses." *Sustainability*, vol. 7, no. 11, 2015, pp. 15362–83, doi:10.3390/su71115362.
- Dirjen EBTKE. "Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 2." *Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*, 2017.
- Fretes, R. A. de. "STRATEGI PENINGKATAN PENJUALAN ENERGI LISTRIK (STUDI KASUS: PT PLN (PERSERO) AREA AMBON)." *ARIKA*, 2020, doi:10.30598/arika.2020.14.1.65.
- Hamdani, Muhamad Ridwan, et al. "Model Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Sistem Hybrid Flash-Binary Dengan Memanfaatkan Panas Terbuang Dari Brine Hasil Flashing." *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, vol. 1, no. 2, 2016, pp. 109–16.
- Hofmann, Mathias, and George Tsatsaronis. "Exergy-Based Study of a Binary Rankine Cycle." *ECOS 2015 - 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, 2015, doi:10.1115/1.4033303.
- Ign. Riyadi, Mardiyanto, et al. "Konsep Desain Pembangkit Listrik Tenaga Uap Memanfaatkan Sumber Panas Bertemperatur Rendah Dengan Memakai Siklus Rankine Organik." *Jurnal Teknik Energi*, vol. 2, no. 1, 2011, pp. 137–41.
- JICA. *JICA Preparatory Survey for Tulehu Geothermal Power Plant*. 2011.
- Kusuma A., Gerry, et al. "Analisa Efisiensi Thermal Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit 5 Dan 6 Di Tompaso." *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, vol. 7, no. 2, 2018, pp. 123–34.
- Lawalata, V. O., and Angga Almada. "PEMILIHAN KONTRAKTOR JASA SEWA PEMBANGKIT PASCA MVPP BEROPERASI DI SISTEM PEMBANGKIT DENGAN MENGGUNAKAN METODE AHP (STUDY KASUS PADA PLN AREA AMBON)." *ARIKA*, 2018, doi:10.30598/arika.2018.12.2.95.
- Lecompte, Steven, et al. "Review of Organic Rankine Cycle (ORC) Architectures for Waste Heat Recovery." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, doi:10.1016/j.rser.2015.03.089.
- Nandaliarsyad, Naufal, et al. "Pengaruh Rekuperator Terhadap Performa Pembangkit Listrik Siklus Biner." *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, vol. 07, no. 02, Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran, 2017, pp. 36–43.
- Parada, Angel Fernando Monroy. "Geothermal Binary Cycle Power Plant Principles, Operation and Maintenance." *Geothermal Training Programme Reports Orkustofnun*, 2013.
- PLN. *PROYEK PLTP TULEHU 2 x 10 MW WKP TULEHU – AMBON, MALUKU*. 2018.
- Quoilin, S., et al. "Performance and Design Optimization of a Low-Cost Solar Organic Rankine Cycle for Remote Power Generation." *Solar Energy*, 2011, doi:10.1016/j.solener.2011.02.010.
- Rahbar, Kiyarash, et al. "Review of Organic Rankine Cycle for Small-Scale Applications." *Energy Conversion and Management*, 2017, doi:10.1016/j.enconman.2016.12.023.
- Rezky, Yuanno, et al. "Sistem Panas Bumi Dan Model Daerah Panas Bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah Konseptual." *Buletin Sumber Daya Geologi*, 2012, doi:10.47599/bsdg.v7i3.110.
- Song, Panpan, et al. "A Review of Scroll Expanders for Organic Rankine Cycle Systems." *Applied Thermal Engineering*, 2015, doi : 10.1016/j.applthermaleng.2014.05.094.
- Tamaelai, Eduard Yohannis. "PERMINTAAN ENERGI LISTRIK MASYARAKAT INDUSTRI DAN INDIVIDU PADA PT. PLN PERSERO WILAYAH IX AMBON." *IQTISHODUNA*, 2012, doi:10.18860/iq.v0i0.1761.
- Tchanche, Bertrand F., et al. "Heat Resources and Organic Rankine Cycle Machines." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, doi:10.1016/j.rser.2014.07.139.
- Yajnartha, I. P., et al. "Analisis Energy Sistem Biner Pada Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Bedugul." *Jurnal METTEK*, vol. 3, no. 2, 2017, pp. 113–19.



Yamamoto, Takahisa, et al. "Design and Testing of the Organic Rankine Cycle." *Energy*, 2001, doi:10.1016/S0360-5442(00)00063-3.