

ANALISIS POTENSI LISTRIK DENGAN PEMANFAATAN PANAS LIMBAH BRINE DENGAN ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC) DI SUMUR X LAPANGAN PANAS BUMI SORIK MARAPI

Richa Melysa^{1)*}, Yenni Padilah²⁾, Irwan Anwar³⁾, Dedi Wardianto⁴⁾, Afdal⁵⁾

^{1),2),3)} Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau, Indonesia

⁴⁾ Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Padang, Indonesia

⁵⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Ekasakti Padang, Indonesia

*Corresponding Author E-mail: richamelysa@eng.uir.ac.id

Abstract

The residual brine heat in the Geothermal Power Plant (PLTP) has the potential to be utilized to generate electricity because it still has a fairly high temperature and pressure. The method of utilizing residual brine heat is by using the Organic Rankine Cycle (ORC) which can be used to utilize heat at low temperatures. The main parameter method measured is the pressure and temperature in the working fluid circulation, hot water circulation (brine), and cooling water circulation. The ORC system uses an evaporator component as a replacement for the generator or boiler system in the Rankine cycle. The ORC system utilizes low-temperature heat sources such as Internal Combustion Engine exhaust heat, solar heat, biomass and brine from geothermal power plants. At low temperatures, organic fluids have higher cycle efficiency than water. The mass rate value in this study was 13.63 kg/s. where the turbine work is 328.07 Kw and the condenser heat transfer rate is 113.40 kj/s. The pump work is 311.8544 Kw. And the rate of heat transfer in the evaporator has an efficiency of 4.93% where the heat absorbed by the evaporator is 129.6213 kj/s.

Keywords: Organic rankine cycle, geothermal, brine, sorak marapi

Abstrak

Panas sisa brine yang ada di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) berpotensi dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga listrik karena masih memiliki temperatur dan tekanan yang cukup tinggi. cara pemanfaatan panas sisa brine adalah dengan menggunakan Organic Rankine Cycle (ORC) yang bisa digunakan untuk pemanfaatan panas pada temperatur rendah. Metode Parameter yang utama diukur ialah tekanan dan temperatur pada sirkulasi fluida kerja, sirkulasi air panas (brine), dan sirkulasi air pendingin. Sistem ORC menggunakan komponen evaporator sebagai pengganti sistem generator atau boiler di siklus rankine. Sistem ORC memanfaatkan sumber panas dengan temperature rendah seperti panas buang Internal Combustion Engine, panas matahari, biomassa serta brine dari pembangkit panas bumi. Pada temperatur rendah, fluida organik memiliki efesiensi siklus yang lebih tinggi dibandingkan air. niali laju massa pada penelitian ini sebesar 13.63 kg/s. dimana kerja turbin sebesar 328.07 Kw dan laju perpindahan panas kondensor sebesar 113.40 kj/s. Kerja pompa sebesar 311.8544 Kw. Dan laju perpindahan panas pada evaporator yang efesiensinya 4.93 % dimana panas yang diserap evaporator sebesar 129.6213 kj/s.

Kata Kunci : Organic rankine cycle, panas bumi, brine, sorak marapi

1. PENDAHULUAN

Lapangan Sorik Marapi adalah lapangan panas bumi memiliki dua fasa yang berlokasi di Provinsi Sumatra Utara, kabupaten Mandailing Natal. Pemboran pertama telah berhasil menyelesaikan pengeboran yang berjumlah 25 sumur (Carver & Hidayat, 2020). Indonesia menyumbang 40% dari seluruh potensi energi panas bumi dunia karena keberadaan 200 gunung berapi aktif (Alhamid et al.,2016). Dan menurut perkiraan hanya 5% yang digunakan pembangkit listrik, jadi pemerintah merencanakan target pembangkit 7000 MW pada tahun 2025 untuk pengembangan panas bumi di negara ini (Pamudi,2018). Data Badan Geologi per Desember 2010, total potensi sumber daya panas bumi Indonesia sebesar 29.038 MW yang tersebar di 276 lokasi panas bumi. Namun, dari total potensi baru 4,2% (1.226 MW) yang sudah dimanfaatkan untuk Pembangkit listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Berdasarkan data dari BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), potensi

panas yang belum dimanfaatkan dari sisa brine pada PLTP masih cukup besar. Bila panas spesifik rata-rata brine dianggap sama dengan air, yaitu 4,2 kJ/kg.k dan temperatur injeksi minimum yang diizinkan ialah 433,15 K, maka potensi panas yang dapat dimanfaatkan 153 MW.

Sistem ORC suatu siklus *rankine* konvensional yang dimodifikasi dengan menggunakan fluida kerja dari jenis fluida organik menggantikan air yang digunakan pada siklus rankine konvensional. fluida organik mempunyai sifat fisik yang menguap pada suhu yang cukup rendah sehingga tidak memerlukan sumber panas yang tinggi untuk merubah fasenya menjadi uap panas lanjut (superheated). Kelebihan dari sistem *Organic Rankine Cycle* (ORC) solusi teknis yang terbaik untuk menghasilkan listrik dari sumber panas bersuhu rendah – menengah dengan kapasitas terbatas. Dengan adanya energi konservasi untuk menghasilkan listrik menggunakan siklus ORC ini diharapkan dapat menambahkan optimalisasi dari pembangkit listrik yang sudah ada sehingga dapat mengurangi beban kerja dari unit pembangkit utama untuk mencapai target produksi listrik (Rosyid & Putra, 2020).

Penelitian dilakukan karena potensi sumber daya panas bumi entalpi rendah di Indonesia sangat besar dan belum banyak diteliti maupun dikembangkan secara massif, terutama sebagai pembangkit listrik. Maka dari itu penulis melakukan cara yang efektif untuk mengubah potensi panas bumi entalpi rendah- menengah menjadi listrik dengan menggunakan *Organic Rankine Cycle* (ORC). Alasan penulis menggunakan metode *organic rankine cycle* (ORC) pada penelitian ini dikarenakan entalpi yang digunakan pada penelitian ini memiliki potensi dibawah 100°C dimana menggunakan fluida kerja organik yang memiliki titik didih rendah dan juga memiliki tekanan dan temperatur yang rendah sehingga mudah untuk menguap.

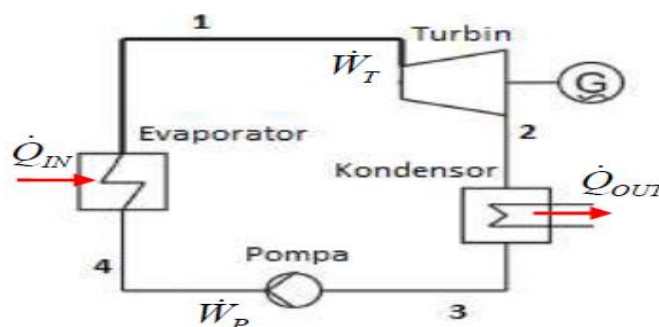
2. METODOLOGI

Pada penelitian ini menggunakan metode studi lapangan di perusahaan PT. Sorik Marapi Geothermal Power yang dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan. Data yang digunakan merupakan data sekunder serta teori dari literatur berhubungan dengan topik penelitian yang didapatkan dari berbagai referensi pustaka berupa buku- buku, artikel yang berhubungan dengan penelitian ini, jurnal nasional maupun internasional yang relevan. Sumber tersebut digunakan untuk menunjang hasil perhitungan dan analisa.

Adapun prosedur dan langkah- langkah untuk melakukan analisa potensi daya listrik dengan pemanfaatan panas sisa buang brine dengan metode *Organic Rankine Cycle* (ORC) pada sumur x lapangan Geothermal Sorik Marapi yaitu: Metode lapangan yang dilakukan dengan menghimpun sumber data dan memahami data sekunder yang berupa data dari studi lapangan. Metode studi observasi lapangan peneliti melakukan pengamatan dan pengumpulan data yang diperlukan data tekanan, data temperatur dan data laju aliran massa dari *flue brine*. Setelah didapat data yang dibutuhkan, kemudian dihitung berapa besar potensi daya listrik yang dihasilkan dengan pemanasan buang brine dengan *Organic Rankine Cycle* (ORC). Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode *Organic Rankine Cycle* (ORC). Menarik suatu kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 PERHITUNGAN ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC)



Gambar 1. Skema sistem ORC

Perhitungan siklus rankine organic untuk tiap-tiap komponennya pada persamaan:

Proses pemanasan isobarik pada evaporator. Laju panas yang diterima pada evaporator ialah:

$$Q_{in} = m (h_1 - h_4) \quad (1)$$

Proses ekspansi isentropik pada turbin. Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh turbin ialah:

$$W_t = m (h_1 - h_2) \quad (2)$$

Proses pendinginan isobarik pada kondensor. Laju panas yang dibuang dari kondensor. Laju panas yang dibuang dari kondensor ialah:

$$Q_{out} = m (h_2 - h_3) \quad (3)$$

Proses kompresi isentropik pada pompa. Daya yang dibutuhkan oleh pompa untuk menaikkan tekanan fluida kerja ialah:

$$W_p = m (h_4 - h_3) \quad (4)$$

Daya netto (P_{net})

$$P_{net} = W_t - W_p = (h_1 - h_2) - (h_4 - h_3) \quad (5)$$

Untuk efisiensi dari siklus dapat dinyatakan sebagai rasio antara kerja bersih dari siklus dibagi dengan panas yang diberikan evaporator. Hal ini dapat dirumuskan pada persamaan

$$\eta_{cycle} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}} \quad (6)$$

Efisiensi thermal untuk siklus dasar ORC dapat dirumuskan pada persamaan

$$\eta_{cycle} = \frac{(h_1 - h_2) + (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4} \quad (7)$$

3.2 PEMILIHAN FLUIDA KERJA

Banyaknya jenis yang ditawarkan di pasaran, dan pemilihan fluida kerja yang tepat akan sangat berpengaruh terhadap kinerja siklus. Pada penelitian ini fluida kerja yang digunakan adalah R123. Ketika ada banyak pilihan untuk fluida kerja ada banyak pula pembatasan dalam pemilihan yang terkait dengan kandungan termodinamika dari fluida tersebut. Pemilihan fluida hal yang penting pada sistem ORC, menurut (Khater et al, 2021) fluida kerja mempengaruhi unjuk kerja dari siklus. Fluida kerja mempengaruhi turbin, keselamatan dari sistem, material dan komponn-komponen sistem, kondisi operasi, dampak terhadap lingkungan dan avaluasi ekonomi dari sistem.

Tabel 1. Sifat termal dan parameter kritis beberapa fluida kerja menurut (Gong, 2015)

Working Fluids	M Kg/kmol	T _{ai} °C	P _{ai} MPa	P _{ai} Kg/m ³	Fluid Type
RC318	200,04	115,23	2,778	569,15	Dry
R124	136,48	122,28	3,624	539,07	Isentropic
R236fa	152,04	124,92	3,20	551,04	Dry
Isobutane	58,12	134,66	3,629	224,59	Isentropic
R236ra	152,04	139,29	3,502	833,70	Dry
R114	170,92	145,68	3,257	720,36	Dry
R600	58,12	151,98	3,796	227,35	Isentropic
R245fa	134,05	154,01	3,651	489,31	Isentropic
Neopentane	72,15	160,59	3,196	214,96	Dry
Cis-butene	56,11	162,60	4,226	191,10	Isentropic
R245ca	134,15	174,42	3,925	516,14	Dry
R123	152,93	183,68	3,662	524,99	Isentropic
Isopentane	72,15	187,20	3,378	215,65	Dry
N-pentane	72,15	196,55	3,370	207,74	Dry
R141b	116,95	204,35	4,212	492,97	Isentropic
R113	187,38	214,06	3,392	530,16	Dry
Isohexane	86,18	224,55	3,040	203,38	Dry
N-hexane	86,18	234,67	3,034	183,50	Dry

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan fluida kerja adalah karakteristik masing-masing fluida kerja dan beberapa factor lain seperti daerah keluar relative yang akan menentukan ukuran turbin yang akan mempengaruhi biaya pembangkit.

3.3 DATA DAN HASIL PERHITUNGAN ORC

Penggunaan metode *organic rankine cycle* (ORC) dalam menganalisa potensi daya listrik pada sumur X di lapangan geothermal sorik marapi dengan laju massa aliran 13.63 kg/s samapai dengan 13.96 kg/s. Untuk menghitung daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga panas bumi menggunakan sisa buang brine dengan *Organic Rankine Cycle* (ORC) pada sumur X lapangan Geothermal dapat digunakan data pada organic rankine cycle (ORC) untuk mendapatkan hasil potensi daya listrik.

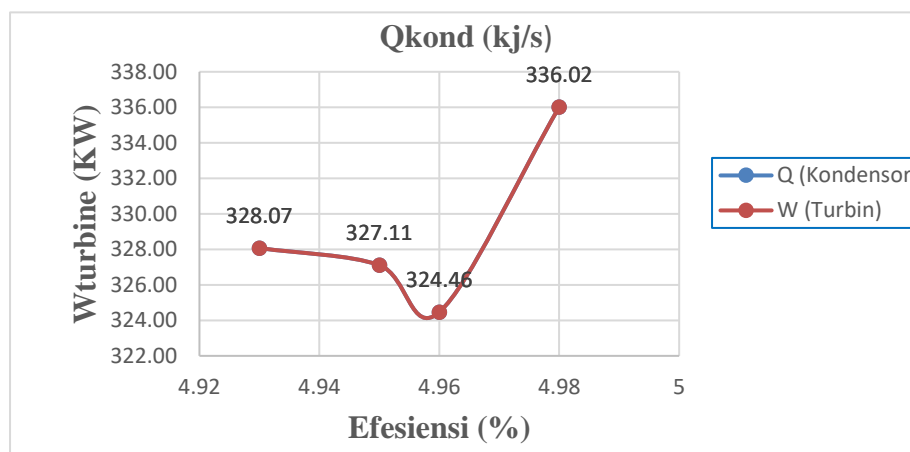
Tabel 2. Data *Organic Rankine Cycle* (ORC)

Laju Massa kg/s	Temperatur °C	Tekanan Pa	Entropi kj/kg.k	Entalpi kj/kg	WHP bar
13.63	94.22	1.9	1.6771	980.84	10.6
13.59	93.52	1.9	16,771	956.77	10.8
13.48	93.65	1.9	1.0761	948.45	11.2
13.96	94.55	1.9	1.0761	971.33	11.3

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Organic Rankine Cycle* (ORC)

Laju Massa kg/s	Entalpi kj/kg	Q(evap) kj/s	W(turbin) Kw	Q(kon) kj/s	W(pom) kw	P(net) Mpa	η (siklus) %	η (ORC) %
13.63	980.84	129.621	328.07	113.402	311.8544	16.22	0.12	4.93
13.59	956.77	129.241	327.11	113.069	310.9392	16.17	0.12	4.95
13.48	948.45	128.195	324.46	112.154	308.4224	16.04	0.12	4.96
13.96	971.33	132.76	336.02	116.147	319.4048	16.61	0.12	4.98

3.4 GRAFIK ORGANIK RANKINE CYCLE (ORC)

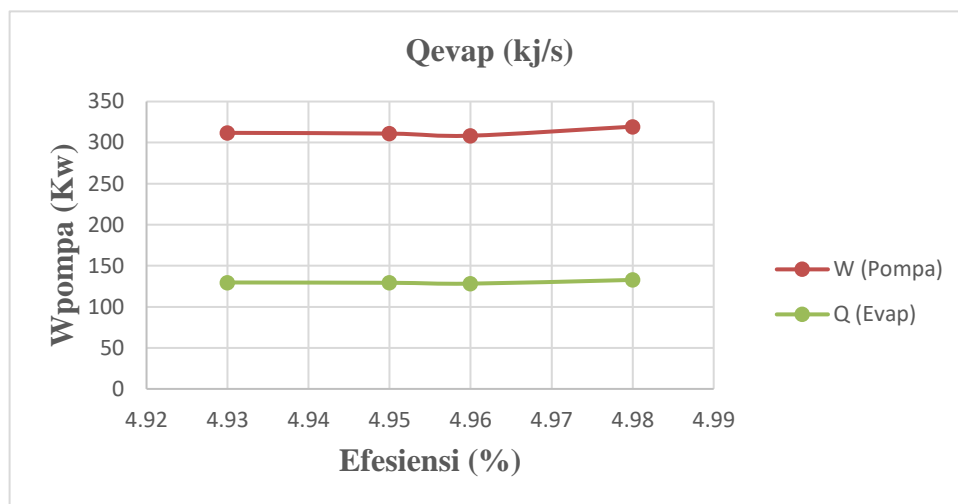


Gambar 2. Grafik Wturbine, Qkond, Efisiensi

Pada **Gambar 2.** dapat dilihat bahwa daya turbin secara keseluruhan cenderung naik yang dijelaskan perhitungan pada persamaan $W_t = m(h_1 - h_2)$ dimana W_t ialah daya turbin, m ialah massa laju aliran ($h_1 - h_2$) perbedaan entalpi antara masuk dan keluar. seiring dengan meningkatnya flowrate refrigerant

ini terjadi karna adanya peningkatan laju aliran massa yang menyebabkan sudu turbin semakin besar sehingga putaran turbin semakin besar. Untuk komponen kondensor dilakukan juga plot grafik laju perpindahan panas pada kondensor dapat dilihat hasil yang mengalami kenaikan seiring meningkatnya daya turbin dan efesiensi. Laju perpindahan panas pada kondensor akan semakin meningkat apabila laju aliran massa dan perbedaan entalpi masuk dan keluar kondensor mengalami kenaikan. Yang dijelaskan dengan persamaan $Q_{out} = m(h_2 - h_3)$ Tetapi umumnya $(h_2 - h_3)$ akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada daya turbin dan efesiensi yang semakin meningkat, panas yang melalui kondensor sudah keluar terlebih dahulu sebelum diserap air pendingin sehingga temperatur keluar kondensor masih tinggi. dari data hasil perhitungan yang didapat nilai $(h_2 - h_3)$ mengalami penurunan tetapi tidak signifikan sedangkan laju aliran massa meningkat secara signifikan. Mengakibatkan laju perpindahan panas pada kondensor meningkat secara signifikan.

Dari **Gambar 3.** dapat dilihat bahwa adanya peningkatan. Dikarenakan kapasitas pompa yang digunakan sama dan kerja pompa dalam hal ini dipengaruhi oleh tekanan yang terdapat dari pompa. Maka dari itu hasil yang didapatkan meningkat. Hasil dari plot grafik laju perpindahan panas dapat dilihat dimana laju perpindahan panas yang terjadi pada evaporator dapat dilihat bahwa hasilnya mengalami kenaikan seiring meningkatnya daya pompa dan efesiensi. Dengan panas yang diberikan pada evaporator adalah konstan maka nilai Q_{in} seharusnya bernilai konstan. Seandainya ada perubahan itupun tidak signifikan. dikarenakan laju aliran massa yang meningkat maka kalor yang diserap oleh evaporator akan berkurang sehingga nilai $(h_1 - h_4)$ akan menurun. Tetapi pada penelitian ini perubahan nilai pada $(h_1 - h_4)$ menurun dengan tidak signifikan sehingga laju perpindahan panas evaporator semakin meningkat dikarenakan laju aliran massa refrigerant meningkat.



Gambar 3. Grafik Wpompa, Qevap, Efesiensi

4. KESIMPULAN

Dari data hasil penelitian pada sumur X lapangan geothermal Sorik Marapi dapat ditarik kesimpulan flowrate refrigerant berpengaruh pada fluida kerja dari sistem Organic Rankine Cycle (ORC). dimana kerja turbin meningkat seiring dengan meningkatnya Efesiensi dimana kerja turbin sebesar 328.07 Kw dan laju perpindahan panas kondensor sebesar 113.402 kj/s yang terjadi pada efesiensi. Kerja pompa juga mengalami kenaikan dimana kerja pompanya sebesar 311.8544 Kw. Dan laju perpindahan panas pada evaporator yang terjadi pada efesiensi dimana panas yang diserap evaporator sebesar 129.621 kj/s. Efisien termal pada siklus sebesar 4.93 %.

Berdasarkan hasil yang telah didapat maka peneliti menyarankan kepada peneliti selanjutnya untuk dapat menghitung tentang keekonomian dalam penggunaan metode Organic Rankine Cycle (ORC).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alhamid, MI, Daud, Y., Suracman, A., Sugiyono, A., Aditya, H., Mahlia, T. (2016). Potensi energi panas bumi untuk pembangkit listrik di Indonesia: review. *Memperbarui, Mempertahankan, Energi Rev.* 53, 733e740.
- [2] Carver, C., & Hidayat, R. (2020). The fluid geochemistry of the sorik marapi geothermal reservoir. *Transactions - Geothermal Resources Council*, 44, 658–664.
- [3] Dipippo, R. (2016). Geothermal power plants. In *Comprehensive Renewable Energy* (Vol.4).
- [4] Dai, X., Shi, L., & Qian, W. (2020). *Material Compatibility of Hexamethyldisiloxane as Organic Rankine Cycle Working Fluids at High Temperatures*. *Journal of Thermal Science*, 29(1), 25-31.
- [5] Febriadin, F. D., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., & Hendri, R. (2020). Potensi Permeabilitas Daerah Prospek Panas Bumi Sorik Marapi, Mandailing Natal, Sumatera Utara. *Padjadjaran Geoscience Journal.*, 4(4), 292–306.
- [6] Fierro, J. J., Escudero-Atehortua, A., Nieto-London, C., Giraldo, M., Jouhara, H., & Wrobel, L. C. (2020). Evaluation of waste heat recovery technologies for the cement industry. *Internasional Journal of Thermofluids*, 7-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2020.100040>
- [7] Gong, X. W., Wang, X. Q., Li, Y. R., & Wu, C. M. (2015). Thermodynamic performance analysis of a coupled transcritical and subcritical organic Rankine cycle system for waste heat recovery. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29 (7), 3017-3029. <https://doi.org/10.1007/s12206-0125-0632-x>
- [8] Industri, F. T. (2017). *Analisis Pemanfaatan Geothermal Brine Untuk Pembangkit Listrik Dengan Menggunakan Heat Exchanger*.
- [9] Juliani, E. D. dan R. (2020). *EINST EIN (e-Journal) Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*. C, 2–8.
- [10] Khater, A. M., Soliman, A., Ahmed, T. S., & Ismail, I. M. (2021). *power generation in white cement plants from waste heat recovery using steam - organic combined Rankine cycle*. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2021.100138>
- [11] Luthfi, M., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., & Siagian, H. (2020). *Pemodelan Sistem Panas Bumi pada Sumur ML-1, ML-2 dan ML-3 berdasarka Analisis Petrografi dan Magnetotellurik di Lapangan Panas Bumi Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara*. 4(2), 154–162.
- [12] Liao, G., E, J., Zhang, F., Chen, J., & Leng, e. (2020). *Advanced exergy analysis for organic Rankine Cycle - based layout to recover waste heat of flue gas*. *Applied Energy*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114891>
- [13] Melysa, R., & Fitrianti, F. (2017). Analisis Potensi Daya Listrik Pada Sumur Produksi Panas Bumi Dengan Menggunakan Metode Back Pressure Pada Unit XY. *Journal of Earth Energy Engineering*, 6(1), 30–37. <https://doi.org/10.22549/jeee.v6i1.627>
- [14] Mohammad Aziz M. (2020). Perancangan Siklus Rankine Organik Untuk Pemanfaatan Gas Buang Pada PLTU di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 1(2), 176–183.
- [15] Moloney, F., Almatrafi, E., & Goswami, D. Y. (2017). Working fluid parametric analysis for regenerative supercritical organic Rankine cycles for medium geothermal reservoir temperatures. *Energy Procedia*, 129, 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.216>
- [16] Murbanendra, B. W., Saptadji, N. M., Aribowo, Y., & Nurohman, H. (2018). Teknik Panasbumi. *Skripsi*, 33(1), 360.
- [17] Mulyani, S., Sarmiento, Z., Chandra, V., Hendry, R., Nasution, S., Hidayat, R., Jhony, J., Sari, P., & Juandi, D. (2019). Calibrated natural state model in Sorik Marapi Geothermal field, Indonesia *International Petroleum Technology Conference 2019, IPTC 2019*.
- [18] Pikra, G., Rohmah, N., Pramana, R. I., & Purwanto, A. J. (2015). The electricity power potency estimation from hot spring in Indonesia with temperature 70-80°C using organic Rankine cycle. *Energy Procedia*, 68, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.227>
- [19] Permana, D. I., & Mahardika, M. A. (2019). Pemanfaatan Panas Buang Flue Gas Pltu Dengan Aplikasi Siklus Rankine Organik. *Barometer*, 4(2), 197–202. <https://doi.org/10.35261/barometer.v4i2.1851>
- [20] Putra, I. M. B. K. A. (2008). Drilling Practice with Aerated Drilling Fluid: Indonesia and Icelandic

- Geothermal Fields. *Unu - Gtp*, (11), 85-86.
- [21] Kazemi, H., Ehyaei, M., 2018. Analisis energi, eksergi, dan ekonomi pembangkit listrik tenaga panas bumi. *Adv. Geo-Energi Res.* 2 (2), 190e209.
- [22] Qomarullah, M. (2014). Lingkungan Dalam Kajian Al-Qur'an: Krisis Lingkungan dan Penanggulangannya Perspektif Al-Qur'an. *Jurnal Studi Ilmu- ilmu Al-Qur'an dan hadits*, 15 (1), 135.
- [23] Rosyid, H. Al, & Putra, H. D. (2020). Heat Energy Conservation of Residual Proceess in Geothermal Power Plant. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan* 30(2). <https://ejournal.istn.ac.id/index.php/sainstech/article/view/1255>
- [24] Sagala, B. D., Chandra, V. R., & Purba, D. P. (2016). Conceptual Model of Sorik Marapi Geothermal System Based on 3-G Data Interpretation. *Proceedings of IIGCE 2016, February*, 1-8.
- [25] Salim, A. N., & Melkias, A. A. (2021). Desain Model Siklus Rankine Organik Dengan Recuperator. *Prosiding Industrial Research Worksho* 4–5. <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2738/2130>
- [26] Sarmiento, Z. F., Bjornsson, G., Licup, A. C., Esberto, M. B., Indra, T., & Baltasar, A. S. J. (2017). Update on the Exploration and Development Drilling at the Sorik Marapi Geothermal Field, North Sumatra, Indonesia. *Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2017, Earth Science*, 1–8.
- [27] Setiadanu, G. T., Ahadi, K., & (2020). Kaji Karakteristik Operasi Sistem Orc Di Sumur Pad 29 Pt. Geodipa Energi Dieng. *Ketenagalistrikan.*, 19(1), 1–12. <http://ketjurnal.p3tkebt.esdm.go.id/index.php/ket/article/view/258>
- [28] Song, J., Wang, Y., Wang, K., Wang, J., & Markides, C. N. (2021). Combined supercritical CO2 (SCO2) cycle and organic Rankine cycle (ORC) system for hybrid solar and geothermal power generation: Thermoeconomic assessment of various configurations. *Renewable Energy*, 174, 1020–1035. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.124>
- [29] Tandian, N. P., & Muntaha, R. (2018). Analisis dan Pemilihan Fluida Kerja Organic Rankine Cycle (ORC) untuk Panas Bumi Temperatur Rendah. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII), Snttm Xiii*, 15–16.
- [30] Walraven, D., Laenen, B., & D'haeseleer, W. (2015). Economic system optimization of air-cooled organic Rankine cycles powered by low-temperature geothermal heat sources. *Energy*, 80, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.11.048>
- [31] Wang, X., Levy, E. K., Pan, C., Romero, C. E., Banerjee, A., Rubio-Maya, C., & Pan, L. (2019). Working fluid selection for organic Rankine cycle power generation using hot produced supercritical CO2 from a geothermal reservoir. *Applied Thermal Engineering*, 149, 1287–1304. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.12.112>
- [32] Zhao, H., Liu, H., Xu, J., Deng, W. (2019). Prediksi kinerja menggunakan entropi spektrum gradien morfologi matematika diferensi orde tinggi dan mesin pembelajaran ekstrem.