

OPTIMASI HASIL EKSPLORASI WILAYAH KERJA PANAS BUMI (WKP) TULEHU DENGAN PEMBANGKIT SIKLUS BINER

Deny Ismail Pellu¹⁾, Sugiatmo Kasmungin²⁾, Ratnayu Sitaresmi³⁾,
Yudistian Yunis⁴⁾

^{1,2,3)}Jurusan Magister Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi,
Universitas Trisakti

⁴⁾PT PLN Geothermal

Corresponding Author : denypellu21@gmail.com

ABSTRAK

Panas bumi merupakan model energi baru terbarukan yang berasal dari dalam perut bumi yang dieksploitasi menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) menjadi energi listrik. Untuk uap panas bertemperatur tinggi digunakan langsung sebagai pemutar turbin sehingga menghasilkan tenaga listrik. WKP Tulehu yang telah dieksplorasi melalui pengeboran 5 sumur hanya memproduksi fluida bertemperatur sedang dan diperkirakan menghasilkan listrik sekitar 7 megawatt (MW). Salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi PLTP adalah siklus biner. Siklus biner adalah sistem pembangkit listrik dari fluida panas bumi yang dimanfaatkan untuk memanaskan fluida kerja dengan menggunakan *heat exchanger* dari fase cair menjadi fase uap yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin. selanjutnya turbin menggerakkan generator dan dikonversikan menjadi energi listrik. Dari permasalahan tersebut PLTP Tulehu dapat dibangun dengan menggunakan siklus biner, maka dalam penelitian ini dilakukan analisis energi dengan siklus biner PLTP Tulehu agar dapat menghasilkan energi secara maksimal. Dengan diterapkan siklus biner, daya dihasilkan mencapai 10 MW.

Kata kunci: *Panas Bumi, Siklus Biner, Energi*

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan kebutuhan energi listrik di Kota Ambon cenderung terus meningkat karena peningkatan jumlah penduduknya serta pertumbuhan ekonomi setiap tahunnya yang terus bertambah (Tamaelai). 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). 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.).

1.2 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui daya optimum setelah dilakukan proses optimasi
2. Untuk mengetahui fluida kerja yang tepat untuk digunakan
3. Untuk mengetahui apakah metode siklus biner dapat di aplikasikan pada PLTP Tulehu

II STUDI PUSTAKA

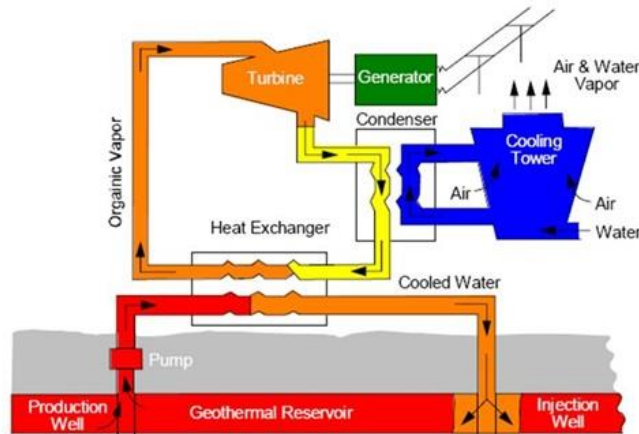
2.1 Sistem Panas Bumi

Panas bumi atau *geothermal* merupakan energi baru terbarukan yang berasal dari dalam perut bumi (Afriandi and Hantoro). Panas bumi bisa dieksploitasi menggunakan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) dengan mengkonversi uap panas dari perut bumi untuk menjadi energi listrik (Kusuma A. et al.). Secara umum panas bumi di Indonesia memiliki temperatur tinggi diatas 225° C, beberapa diantaranya yang mempunyai temperatur sedang antara 150 sampai 225° C (Hamdani et al.). Proses dalam pembangkit dimulai dari uap yang diambil dari panas bumi yang digunakan untuk memutar turbin. Jika uap tersebut bertemperatur diatas 370°C, maka PLTP menggunakan *vapor dominated system* dimana uap dari panas bumi langsung digunakan untuk memutar turbin (Rezky et al.). Jika bertemperatur sekitar 170°C sampai dengan 370°C, maka menggunakan *flushed steam system* dimana uap masih mengandung cairan dan harus dipisahkan dengan *flush separator* sebelum memutar turbin.

Ada beberapa siklus termodinamika dalam energi panas bumi seperti; siklus kalina, siklus Carnot dan siklus Rankin (Ign. Riyadi et al.). Yang digunakan untuk penelitian ini yaitu siklus biner. Siklus biner digunakan untuk meningkatkan efisiensi *thermal* PLTP (Kusuma A. et al.), Sistem biner mampu memanfaatkan uap atau air panas bertemperatur rendah menggunakan *Heat exchanger* (Afriandi and Hantoro).

2.2 Teknologi Siklus Biner

Siklus biner adalah sistem pembangkit listrik dari fluida panas bumi yang dimanfaatkan untuk memanaskan fluida kerja dengan menggunakan *heat exchanger* dari fase cair menjadi fase gas (uap) (Hamdani et al.). Fase gas dari fluida kerja kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin selanjutnya turbin menggerakkan generator untuk membangkitkan listrik (Ign. Riyadi et al.). Sistem ini dapat bekerja jika mendapatkan bantuan fluida kerja untuk menggerakkan turbin (Yamamoto et al.). Fluida kerja yang digunakan pada sistem ini setidaknya harus memiliki titik didih yang lebih rendah dari pada air dan memiliki tekanan uap yang tinggi jika dibandingkan dengan air (Parada). Jenis fluida yang memenuhi kriteria ini kebanyakan berasal dari fluida organik seperti, refrigerant R134-a, iso-pentana dan iso-butana.



Gambar II.1 Proses siklus biner secara umum (Kagel, 2008)

Fluida kerja yang telah dipanaskan dari fase cair ke fase gas kemudian dimasukkan ke dalam turbin yang dikopel dengan generator untuk membangkitkan listrik. Setelah terjadi ekspansi ke tekanan atau temperatur yang lebih rendah di dalam turbin, uap fluida kerja akan dikondensasi menjadi cair oleh media pendingin seperti air atau udara, kemudian dimasukkan ke dalam tangki kondensat. Pada Gambar II.1 media pendingin yang digunakan adalah air yang didinginkan melalui sebuah *cooling tower*. Media pendingin ini bisa juga menggunakan udara. Fluida kerja yang telah terkondensasi ini kemudian akan dipompakan kembali ke dalam alat penukar panas sehingga proses ini berlangsung terus menerus di dalam siklus yang tertutup.

2.2.1 Mekanisme heat exchanger

Heat exchanger adalah alat yang digunakan untuk mempertukarkan panas secara berkelanjutan dari suatu medium ke medium lainnya dengan membawa energi panas (Chen et al.). *Heat exchanger* bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas, dimana terjadi perpindahan panas dari fluida yang memiliki temperatur lebih tinggi ke fluida yang bertemperatur lebih rendah (Tchance et al.). Biasanya, ada suatu dinding metal yang menyekat antara kedua cairan yang berlaku sebagai konduktor. Suatu solusi panas yang mengalir pada satu sisi yang mana memindahkan panasnya melalui fluida lebih dingin yang mengalir di sisi lainnya (Hofmann and Tsatsaronis). Energi panas hanya mengalir dari yang lebih panas kepada yang lebih dingin dalam percobaan untuk menjangkau keseimbangan (Lecompte et al.). Permukaan area *heat exchanger* mempengaruhi efisiensi dan kecepatan perpindahan panas (Quoilin et al.). *Heat exchanger* dengan area permukaan panas yang lebih besar akan mengakibatkan perpindahan panas lebih efisien dan yang lebih cepat pemindahan panasnya (Cao et al.).

2.2.2 Fluida Kerja

Fluida kerja adalah fluida yang memiliki energi untuk melakukan kerja pada peralatan mekanik (Chen et al.). Pada PLTP siklus biner, fluida kerja digunakan untuk menggerakkan turbin. Alasan penggunaan fluida kerja pada PLTP siklus biner dikarenakan *brine* tidak bisa digunakan langsung untuk menggerakkan turbin (Song et al.). Fluida kerja yang digunakan pada sistem ini setidaknya haruslah memiliki dua

syarat, yaitu; titik didihnya lebih rendah dari pada air dan tekanan uap yang tinggi jika dibandingkan dengan air (Rahbar et al.).

Tabel II.1 Beberapa fluida kerja untuk siklus biner (Darvish et al.)

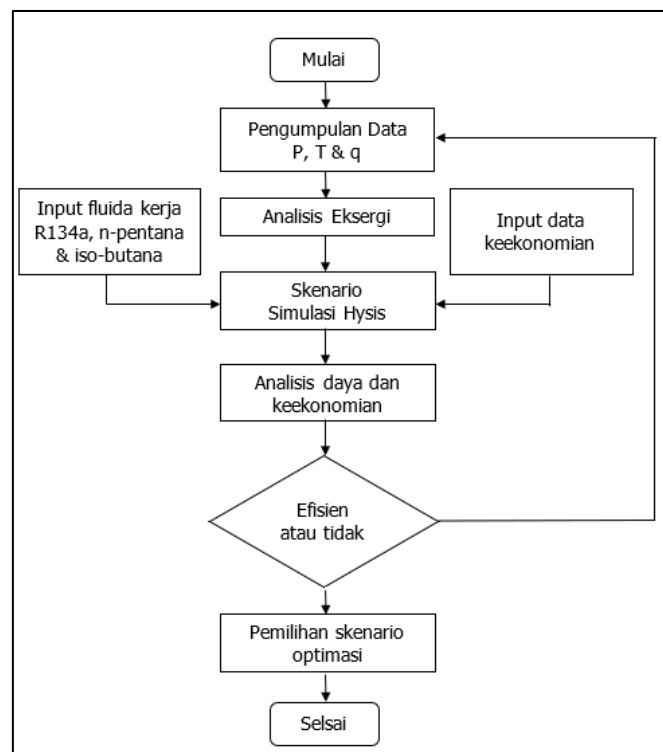
Fluida	Temperatur kritis (°C)	Tekanan kritis (kPa)	Densitas * (kg/m ³)	Panas Evaporasi ** (kJ/kg)
R134a	101	4059	4,258	217
Iso-butane	134,7	3640	2,44	165,5
n-pentane	196,5	3364	620,8	358

* Densitas pada suhu kamar (25 °C) 1 atm

** Panas evaporasi pada 1 atm.

III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan alur berfikir sesuai dengan *flowchart* penelitian di bawah ini seperti Gambar III.1. Penelitian ini dimulai dari pengumpulan data dari lapangan PLTP Tulehu, meliputi data tekanan, temperatur dan laju alir fluida panas bumi. Selanjutnya melakukan analisis eksergi yang bertujuan untuk mengetahui ketersediaan energi dalam siklus biner geothermal brine. Lalu input fluida kerja dan data keekonomian dibutuhkan sebelum melakukan simulasi dengan hysis. Selanjutnya melakukan simulasi untuk mengetahui daya yang dihasilkan dan keekonomian. Selanjutnya diketahui efisien atau tidak, jika tidak maka kembali ke input data. Jika efisien maka bisa dipilih yang paling optimal untuk diterapkan.



Gambar III.1 *Flow Chart*

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diharapkan bisa menjadi solusi alternatif dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik pulau Ambon dengan cara menerapkan metode siklus biner dengan meningkatkan entalpi pada PLTP Tulehu menggunakan fluida kerja. Siklus biner dapat dimanfaatkan pada sumber panas bumi bersuhu rendah .

V KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan dari hasil simulasi sebagai berikut :

1. Daya optimum yang didapatkan setelah proses optimasi adalah 10 MW
2. Fluida kerja yang tepat untuk proses optimasi adalah Refrigerant R134a
3. Metode siklus biner dapat diaplikasikan di PLTP Tulehu

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Bapak Sugiatmo Kasmuning, Ibu Ratnayu Sitaresmi, Bapak Yudistian Yunis serta Pimpinan dan staf PLTP Geothermal Tulehu, yang telah membimbing dan membantu penulis dalam penyelesaian penulisan ini.

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.