

Analisis Lingkungan Perancangan Pembangkit Listrik Siklus Organic Rankine pada Sumber Mata Air Panas Bumi di Limbong, Sulawesi Selatan

Environmental Analysis of Organic Rankine Cycle Power Plant Design from Geothermal's Hot Spring in Limbong, South Sulawesi

*Nurfadhilah Arif¹, Sihana², Rahmawan Budiarto², Andi Khairil A Samsu³

¹program studi Kehutanan, Universitas Khairun

² Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

³Program Studi Kehutanan Universitas Muslim Maros

email: nurfadhilah.arif@unkhair.ac.id

ABSTRACT

Indirect geothermal utilization in Indonesia is widely used as a power plant. Hot springs are also one indication of the existence of geothermal resources. The purpose of this study is to analyze the environmental conditions of the power plant design using the Organic Rankine Cycle in hot springs from geothermal systems in the research area. The geothermal system in the research area is a low-temperature geothermal system, hence, this cycle is appropriate for application in the research area. The research area is located in Limbong, North Luwu Regency, South Sulawesi Province. Environmental analysis was carried out by calculating heat pollution and emissions as the result of ORC system. The findings of this study indicate that the heat pollution emitted by the evaporator is 57°C, whereas in the condenser it is 10°C. Consequently, the fluid released by the evaporator still exceeds the threshold, thus, the hot fluid needs to be cooled down before being injected into the earth. This study also discovered that hot springs' CO₂ emissions originally initiate from the presence of non-condensable gases (NCG) in the hot steam. These substances contain matters which delighted from geothermal reservoirs and/or the results of rock alteration during its journey to the surface. The calculation result of CO₂ emissions is 37750.69 kg/year with an emission factor of 0.2 kg/kWh. The value revealed by the ORC system of geothermal power plant with a heat source from geothermal hot springs is more environmentally friendly when compared to emissions from other power plants.

Keywords: Environmental analysis, heat pollution, CO₂ Emission, Rankine Organic Cycle, Hot Spring

ABSTRAK

Pemanfaatan tidak langsung panas bumi di Indonesia banyak digunakan sebagai pembangkit listrik. Mata air panas juga merupakan salah satu petunjuk adanya sumber daya panas bumi di bawah permukaan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis kondisi lingkungan dari rancangan pembangkit listrik yang menggunakan Siklus Organic Rankine pada mata air panas dari sistem panas bumi di lokasi penelitian. Sistem panas bumi yang ada di lokasi penelitian merupakan sistem panas bumi dengan suhu rendah sehingga digunakan siklus ini yang sesuai untuk diaplikasikan di lokasi penelitian. Daerah penelitian terletak di Limbong,

Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. Analisis lingkungan dilakukan dengan menghitung polusi panas dan emisi yang dihasilkan dari sistem ORC pada penelitian ini. Hasil penelitian ini menunjukkan polusi panas yang dikeluarkan oleh evaporator sebesar 57°C sedangkan di kondensor sebesar 10°C. Oleh karena itu, fluida yang dikeluarkan oleh evaporator masih melebihi ambang batas sehingga fluida panas tersebut perlu didinginkan terlebih dahulu sebelum diinjeksikan ke dalam bumi. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa Emisi CO₂ dari mata air panas berasal dari adanya zat yang tidak terkondensasi (NCG) dalam uap air panas. Kandungan zat tersebut merupakan zat yang terbawa dari reservoir panas bumi dan/atau hasil alterasi batuan selama perjalanannya menuju permukaan bumi. Emisi yang dihasilkan dari hasil perhitungan sebesar 37750,69 kg/tahun dengan faktor emisi 0,2 kg/kWh. Nilai yang ditunjukkan oleh pembangkit listrik panas bumi sistem ORC dengan sumber panas dari mata air panas ini lebih ramah lingkungan setelah dibandingkan dengan emisi dari pembangkit listrik lainnya.

Kata Kunci: Analisis Lingkungan, Polusi Panas, CO₂ Emisi, Siklus *Rankine Organic*, Mata Air Panas

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya panas bumi terbesar di dunia dengan hampir 40% dari cadangan panas bumi dunia, namun belum bisa dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan panas bumi tidak langsung untuk ketenagalistrikan, baru mencapai 2.175 MW atau sekitar 8,9% dari total cadangan panas bumi (KESDM, 2021). Sistem hidrotermal merupakan system panas bumi yang paling banyak digunakan saat ini. Pada Sistem ini reservoirnya mengandung satu fasa uap, atau satu fasa air atau campuran keduanya, bergantung pada tekanan dan temperatur reservoirnya. Jika temperatur reservoir lebih rendah dari temperatur titik didih air pada tekanan reservoir tersebut, maka fluida dalam system panas bumi tersebut terbentuk hanya fasa air saja. Sedangkan jika temperatur reservoirnya lebih tinggi dari temperatur titik didih air pada tekanan reservoir tersebut, maka fluida yang terbentuk hanya fasa uap saja. Namun, jika tekanan dan temperatur reservoir sama dengan tekanan dan temperatur saturasi air maka fluida yang terbentuk merupakan campuran uap dan air (Henley, 1993). Mata air panas juga merupakan salah satu petunjuk adanya sumber daya panas bumi

di bawah permukaan. Mata air panas pada system panas bumi terbentuk karena adanya aliran air panas dari reservoir panas bumi di bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan (Saptaji, 2001). Temperatur dari reservoir sistem ini bervariasi dari 60°C-100°C dan pada kedalaman 1500-3000 meter.

Sistem *Organic Rankine Cycle* merupakan bagian dari sistem *Binary*, ORC menggunakan cairan organik sebagai fluida kerja yang memiliki titik didih lebih rendah dibandingkan suhu uap panas. Sistem *binary* merupakan pembangkit listrik yang paling ramah bagi lingkungan. Dampaknya bagi lingkungan hanya pada saat fluida panas diinjeksi kembali ke bawah permukaan. Demikian pula dengan fluida kerja keseluruhan prosesnya di dalam pipa sehingga sangat tidak ada kontak dengan lingkungan. Satu-satunya bahaya bagi lingkungan dari sistem ini adalah polusi panas (*thermal pollution*) yang berasal dari fluida panas bumi (Dipippo, 2012).

Pembangkit listrik tenaga panas bumi menghasilkan sangat sedikit emisi udara karena tidak terjadi pembakaran. PLTP hanya mengisi sebagian kecil Nitrogen oksida dan karbon dioksida. Polusi utama

dari beberapa PLTP kadang-kadang menghasilkan hidrogen sulfida yang secara natural terdapat dalam reservoir panas bumi (Kagel, dkk, 2005). Baku mutu emisi dari pembangkit listrik tenaga panas bumi dipaparkan pada Permen Lingkungan Hidup No. 21/2008, terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Baku mutu emisi pembangkit listrik tenaga panas bumi.

No.	Parameter	Kadar Maksimum (mg/Nm ³)
1.	Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	35
2.	Amonia (NH ₃)	0.5

Pembangkit listrik panas bumi lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya. Hal tersebut ditunjukkan oleh rendahnya faktor emisi yang dimiliki oleh pembangkit listrik tenaga panas bumi. Dengan menggunakan faktor emisi CO₂, maka dapat dihitung emisi CO₂ untuk tahun dasar dan proyeksi hingga tahun 2030 (Sugiono, 2010).

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis kondisi lingkungan dari rancangan pembangkit listrik yang menggunakan Siklus Organic Rankine pada mata air panas dari sistem panas bumi. Sistem panas bumi yang ada di lokasi penelitian merupakan sistem panas bumi dengan suhu rendah sehingga digunakan siklus organik Rankine ini yang merupakan sistem binary. Analisis lingkungan yang dilakukan di antaranya analisis polusi panas dan emisi CO₂.

METODE PENELITIAN

Daerah penelitian secara administratif terletak di Desa Kanandede, Kecamatan Limbong, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis, Daerah penelitian terletak pada posisi 2°33’38” LS dan 120°01’10”

BT. Lokasi daerah penelitian secara detail pada peta (Gambar 1).

Pengukuran lapangan dilakukan dengan pengambilan data suhu dan debit serta sampel dari mata air panas di Desa Kanandede, Limbong. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dan dihitung nilai rata-ratanya.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (sumber: Google Map)

Manifestasi panas bumi di daerah Limbong dijumpai pada empat kelompok mata air panas: mata air panas Kanandede, Kanan Sawah, Kanan Bulu, dan Komba. Penelitian ini berfokus pada mata air panas Kanandede. Mata air panas tersebut memiliki suhu 100,6°C berupa air jernih dan mengandung gas berbau H₂S (KESDM, 2017).

Analisis lingkungan dilakukan dengan menghitung polusi panas dan emisi yang dihasilkan dari sistem ORC pada penelitian ini. Perhitungan emisi dimaksudkan untuk memperdalam analisis tentang dampak yang dihasilkan terhadap lingkungan (KLH, 2011):

Menghitung polusi panas:

Polusi panas = suhu limbah panas dari fluida – suhu rata-rata udara

Menghitung Emisi:

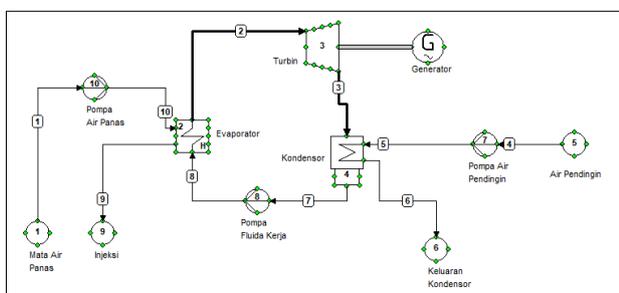
Emisi = Konsumsi Energi x Faktor Emisi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Air panas dari manifestasi sistem panas bumi di Limbong hanya digunakan sebagai sumber panas yang memanaskan fluida

kerja hingga mencapai titik kritisnya dan berubah fasa menjadi uap untuk dikonversi menjadi energi listrik. Air panas tersebut tidak masuk ke dalam siklus tertutup sistem ORC. Air panas yang telah digunakan untuk memanaskan fluida kerja dialirkan kembali menuju kolam injeksi. Pada penelitian ini, tidak digunakan sumur injeksi, air panas yang telah digunakan ditampung di dalam kolam injeksi terlebih dahulu sebelum dialirkan ke lingkungan. Hal ini menjadi pertimbangan agar air panas yang masih memiliki suhu yang cukup tinggi bagi lingkungan tidak langsung dibuang ke lingkungan tetapi didinginkan terlebih dahulu selama beberapa satuan waktu. Selain itu, dengan menampung air panas yang telah digunakan dapat membantu dalam pengendapan silika yang terkandung dalam air panas dari sistem panas bumi.

Seperti air panas pada komponen evaporator, air sungai pada komponen kondensor juga tidak masuk ke dalam siklus tertutup ORC. Air sungai yang digunakan berfungsi sebagai air pendingin yang membantu proses kondensasi uap fluida kerja dari turbin. Air sungai tersebut bertekan atmosfer sehingga diperlukan pompa untuk mengalirkan air. Setelah proses tersebut, air pendingin kemudian dilepas kembali ke lingkungan.



Gambar 2. Permodelan sistem ORC dengan menggunakan Cycle Tempo 5.0 dan FluidProp 2.3 pada daerah penelitian

1. Polusi Panas

Polusi panas atau disebut juga polusi termal yang dimaksud dalam penelitian ini yaitu polusi berupa fluida yang memiliki temperatur di atas ambang batas dari standar fluida panas yang keluar melalui sistem. Pada sistem ORC ini terdapat dua fluida panas yang dikeluarkan dari sistem yaitu fluida panas yang keluar dari evaporator dan fluida panas yang keluar dari kondensor. Perhitungan besarnya polusi panas dapat dihitung selisih antara suhu limbah panas dari fluida dengan suhu rata-rata udara. Hasil perhitungan tersebut sebagai berikut:

- Polusi panas evaporator = suhu limbah panas dari fluida – suhu rata-rata udara
 $= 84\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C} = 57\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Polusi panas kondensor = suhu limbah panas dari fluida – suhu rata-rata udara
 $= 37\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 8 tahun 2009 tentang baku mutu limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pembangkit listrik tenaga termal yang menyatakan suhu maksimum rata-rata bulanan di outlet kondensor adalah $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Standar suhu maksimal tersebut dapat pula digunakan untuk evaporator. Suhu keluaran kondensor telah memenuhi standar yang diperbolehkan. Sedangkan suhu keluaran evaporator melebihi standar yang diperbolehkan, sehingga perlu dilakukan *treatment* untuk mengurangi polusi panas tersebut agar tidak langsung dilepaskan ke lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan fluida panas yang masih memiliki suhu tinggi tersebut menampung fluida panas dalam kolam. Tujuannya untuk mendinginkan fluida hingga mencapai suhu standar sebelum diinjeksikan kembali ke lingkungan.

2. CO₂ Emisi

Sebagaimana yang telah umum diketahui bahwa emisi dapat berupa karbon dioksida (CO₂), methana (CH₄), dinitro-oksida (N₂O), *perflourocarbon* (PFC), *hydroflurocarbon* (HFC), dan sulfur hexaflorida (SF₆). Di antara gas-gas tersebut, CO₂ memiliki kontribusi terbesar terhadap pemanasan global, sehingga dalam penelitian ini emisi yang dihitung hanya emisi CO₂. Dengan demikian diperoleh:

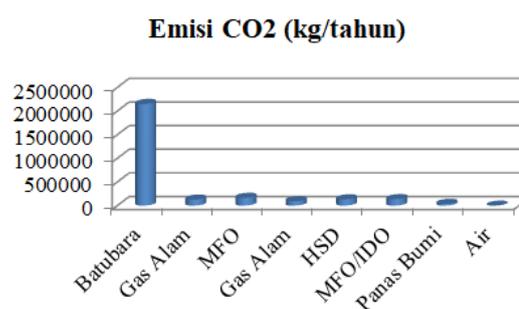
$$\begin{aligned} \text{Emisi} &= \text{Konsumsi Energi} \times \text{Faktor Emisi} \\ &= 188753,47 \text{ kWh/tahun} \times 0,2 \\ &\text{kg/kWh} = 37750,69 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

Tabel 1 Tabel perbandingan emisi CO₂ dari masing-masing teknologi pembangkit energi listrik

Teknologi Pembangkit Listrik	Bahan Bakar	Faktor Emisi CO ₂ (kg/kWh)	Emisi CO ₂ (kg/tahun)
PLTU	Batubara	1,140	215178958,08
	Gas Alam	0,678	127974,85
	HSD	1,053	198757406,02
	MFO	0,876	165348,04
PLTG	Gas Alam	1,002	189130978,94
	HSD	1,091	205930037,95
PLTGU	Gas Alam	0,505	95320,50
	HSD	0,709	133826,21
PLTD	HSD	0,986	186110,92
	MFO/IDO	0,728	137412,53
PLTP		0,2	37750,69
PLTA		0	0

Emisi CO₂ dari mata air panas bumi berasal dari adanya zat yang tidak terkondensasi atau disebut *Non-Condensable Gases (NCG)* dalam uap air panas. Kandungan zat tersebut merupakan zat yang terbawa dari reservoir panas bumi dan/atau hasil alterasi batuan selama perjalanannya menuju permukaan bumi. Pembangkit listrik panas bumi sistem ORC dengan sumber panas dari mata air panas bumi ini lebih ramah lingkungan setelah dibandingkan dengan emisi dari pembangkit listrik lainnya. Hal tersebut dikarenakan pembangkit ini menghasilkan lebih sedikit emisi CO₂. Hasil perhitungan

tersebut menyatakan bahwa teknologi pembangkit listrik yang menghasilkan emisi terbesar yakni pembangkit listrik PLTU dan PLTG yang menggunakan bahan bakar berupa batubara, gas alam, dan HSD. Sedangkan, pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan pembangkit listrik yang paling sedikit menghasilkan emisi gas CO₂ jika dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya kecuali PLTA yang memang memiliki faktor emisi sama dengan nol.



Gambar 3. Perbandingan Emisi rancangan PLTP daerah penelitian dengan bahan baku teknologi pembangkit listrik lainnya.

KESIMPULAN

Aspek lingkungan yang dianalisis pada penelitian ini berupa polusi panas dan emisi yang diprediksi dapat dihasilkan dari siklus ORC yang diaplikasikan pada mata air panas sistem panas bumi di daerah penelitian. Hasil penelitian ini menunjukkan polusi panas yang dikeluarkan oleh evaporator sebesar 57°C sedangkan di kondensor sebesar 10°C. Adapun suhu standar yang aman bagi lingkungan maksimal 40°C. Oleh karena itu, fluida yang dikeluarkan oleh evaporator masih melebihi ambang batas sehingga fluida panas tersebut perlu didinginkan terlebih dahulu sebelum diinjeksikan ke dalam bumi. Proses pendinginan fluida panas yang disarankan yaitu dengan menampung fluida tersebut sementara di kolam. Penelitian ini juga mengungkapkan potensi emisi CO₂ yang dihasilkan sebesar

37750,69 kg/tahun. Nilai emisi ini dihasilkan dari mata air panas bumi dimana terdapat zat yang tidak terkondensasi atau disebut *Non-Condensable Gases (NCG)* dalam uap air panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimuddin, T. A., & Machfud, N. A. (2018). Analisis Emisi CO₂ Pembangkit Listrik Panas Bumi Ulubelu Lampung dan Kontribusinya Terhadap Pengembangan Pembangkit Listrik di Provinsi Lampung. *Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 9(2), 287-304.
- Dippio, R., 2012. *Geothermal Power Plant: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact Fourth Edition*, Oxford: Elsevier, 152-182.
- Henley, R.W., A.J. Ellis, *Geothermal Systems Ancient and Modern: A Geochemical Reviews*, Earth Science Reviews 19: 1-50
- Kagel, A., Bates, D., Gawel, K., 2005. *A Guide to the Geothermal Energy and Environment*. Geothermal Energy Association. Washington D.C.:
- KESDM, 2017. *Doing Business in Geothermal*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- KESDM. 2021. *Statistik Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- KLH. 2011. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (Buku II- Volume 1): Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 8 tahun 2009 tentang baku mutu limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pembangkit listrik tenaga termal.
- Saptadji, N.M. 2001. *Teknik Panas Bumi*, Intitut Teknologi Bandung. Bandung.
- Saputra, I. N. A. A., & Kusuma, I. G. B. W. 2019. Analisa Limbah Cair dan Limbah Uap pada Rencana Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Bedugul Sistem Binary dengan Simulasi CFD. *Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan X*, 423, 427.
- Sugiono, A., 2010. *Peran PLTN dalam Mendukung Komitmen Pemerintah untuk Mengurangi Emisi CO₂*. Badan Tenaga Nuklir Nasional. Jakarta.
- Tampubolon, A. P. C., Hadiyanto, H., & Kusdiyantini, E. (2022). Potensi Dampak Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Skala Kecil Dengan Kajian Daur Hidup. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Trianto, W. M. 2019. Sumber Limbah dan Potensi Pencemaran Penggunaan Sumber Daya Alam Panas Bumi (Geothermal) pada Industri Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 9(2), 52-62..
- UNDP. 2014. *Indonesia: Microturbine Cogeneration Technology*. United Nation Development Program. Jakarta.
- Yajnartha, I. P., Kusuma, I. G. B. W., Sucipta, M., & Dwidiani, N. M. 2017. Analisis Energy Sistem Biner Pada Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) Bedugul. *Jurnal METTEK*, 3(2), 113-19.