



Tinjauan Singkat Sistem PLTP Siklus Gabungan Sarulla Menggunakan Ormat Energy Converter

Jonius Christian Harefa¹⁾, Nazaruddin Sinaga²⁾

¹⁾ Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

²⁾ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Email korespondensi: joniuschristian@students.undip.ac.id

ABSTRAK

Energi panas bumi pemanfaatannya masih belum maksimal di Indonesia. Hingga tahun 2020 realisasi pengembangan panas bumi menjadi listrik adalah sebesar 2.130,7 MW. Salah satu pembangkit listrik panas bumi (PLTP) di Indonesia yang telah beroperasi adalah Sarulla Geothermal Power Plant. Kapasitas total yang dihasilkan Sarulla adalah sebesar 330 MW. Sarulla merupakan Geothermal Combined Cycle yang menggunakan binary power plant untuk memaksimalkan energi panas bumi yang ada. Keluaran Steam Turbine Generator (STG) dimanfaatkan melalui Bottoming OEC untuk menghasilkan listrik sebesar 7 MW sedangkan Hot Water (Brine) dimanfaatkan melalui Brine OEC untuk menghasilkan listrik sebesar 15 MW. Keluaran uap sisa dan brine yang pada umumnya di injeksikan langsung pada injection well, dengan teknologi binary dari Ormat Energy Converter (OEC) kemudian dimanfaatkan untuk memaksimalkan energi panas bumi dengan menghasilkan listrik dengan kapasitas yang lebih kecil.

Kata Kunci: Panas Bumi, Siklus Gabungan, OEC, Sarulla, PLTP

ABSTRACT

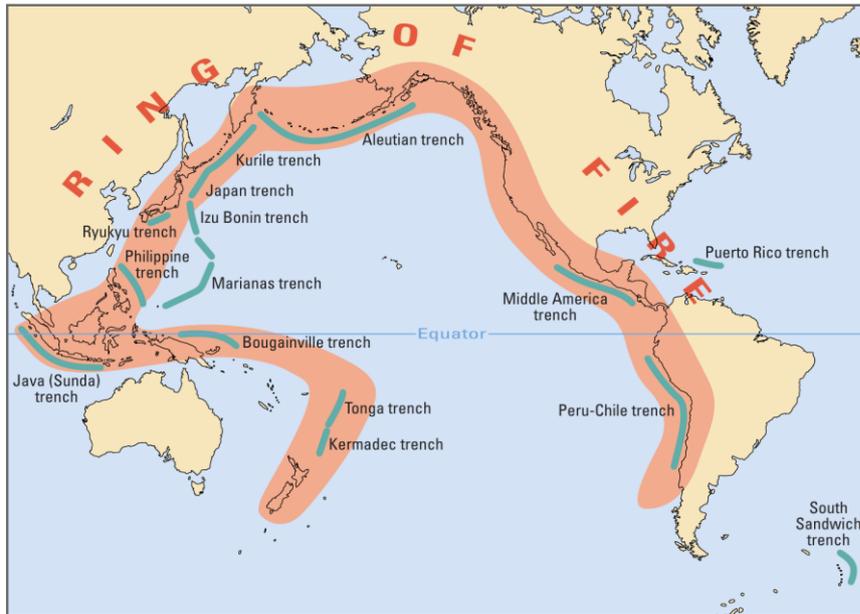
Geothermal energy is not fully utilized in Indonesia. Until 2020, the realization of geothermal development into electricity is 2,130.7 MW. One of the geothermal power plants (PLTP) in Indonesia that has been operating is the Sarulla Geothermal Power Plant. The total capacity produced by Sarulla is 330 MW. Sarulla is a Geothermal Combined Cycle that uses a binary power plant to maximize existing geothermal energy. The output of Steam Turbine Generator (STG) is utilized through the OEC Bottoming to produce 7 MW of electricity while Hot Water (Brine) is utilized through the OEC Brine to generate 15 MW of electricity. The residual steam and brine output which are generally injected directly into the injection well, with the binary technology from Ormat Energy Converter (OEC) are then utilized to maximize geothermal energy by generating electricity with a smaller capacity.

Keywords: *Geothermal, Combined Cycle, OEC, Sarulla, Geothermal Power Plant*

I. PENDAHULUAN

Negara Indonesia terdiri dari lebih 17.000 pulau. Beberapa diantaranya dihuni secara permanen. Ada 922 pulau diantaranya dihuni secara permanen. Akan tetapi, bentangan pulau-pulau di Indonesia terletak di atas garis seismik "Cincin Api" atau sering dikenal dengan "Ring of Fire" yang membentang di sekitar Pasifik dari tenggara Australia hingga Barat Daya Amerika (Pambudi, 2018).

Cincin Api seperti pada **Gambar 1** membuat Indonesia memiliki gunung api yang aktif dan banyak. Hal ini menjadikan Indonesia memiliki kekayaan energi panas bumi berlimpah. Menurut (Mohammadzadeh Bina,dkk, 2018), sumber panas bumi di Indonesia, dengan lebih dari 200 gunung berapi terletak di sepanjang Sumatera, Jawa, Bali, dan pulau-pulau bagian timur. Indonesia memiliki potensi panas bumi terbesar dengan perkiraan potensi sekitar 28 GWe yang terdiri dari 312 lokasi potensi panas bumi.

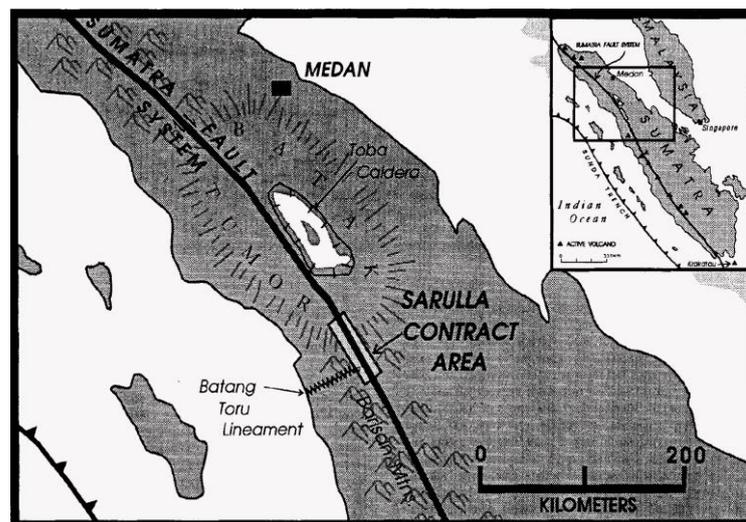


Gambar 1. Ring of Fire

(Sumber : Nasruddin,dkk, 2016)

Dari data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan total kapasitas terpasang untuk pembangkit energi baru terbarukan khususnya pembangkit listrik tenaga panas bumi pada tahun 2020 realisasinya mencapai 2.130,7 MW (KESDM, 2021). Salah satu pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) yang ada di Indonesia adalah Sarulla Operation Limited (**Gambar 2**). Sarulla merupakan *Geothermal Combined Cycle Unit* yang menggunakan teknologi *binary cycle* (Wolf,dkk, 2015).

Sarulla *Geothermal Power Plant* (GPP) dikembangkan oleh Sarulla Operation Limited (SOL), sebuah konsorsium swasta Medco Power Indonesia, Itochu Corporation, Ormat Internasional and Kyushu Electric Power Company (Sponsor Proyek). Sarulla GPP menjadi pembangkit listrik tenaga panas bumi kontrak tunggal terbesar di dunia setelah beroperasi dengan kapasitas 330 MW pada tahun 2018 (Rakhmadi,dkk, 2015).



Gambar 2. Peta Lokasi Area Kontrak Sarulla

(Sumber : Gunderson,dkk, 1995)

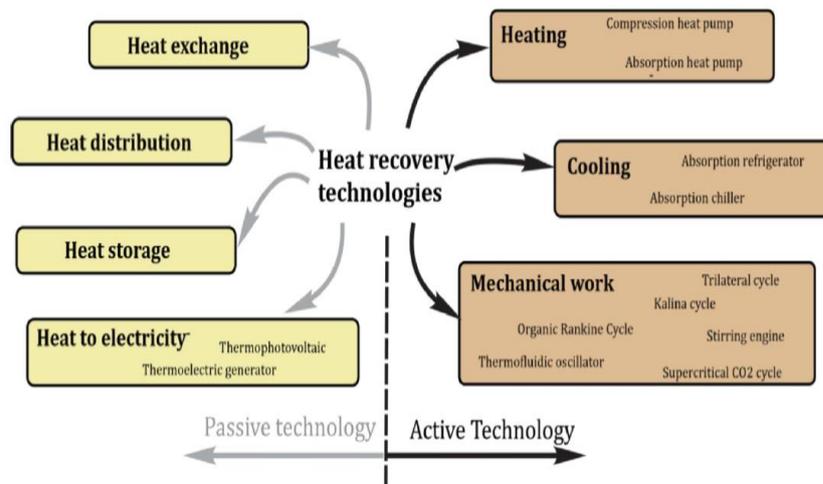
Saat ini, Sarulla telah beroperasi dan menghasilkan listrik sebesar 330 MW. Teknologi PLTP siklus gabungan termasuk teknologi yang masih baru di Indonesia untuk sektor *geothermal*. Menurut (Rakhmadi,dkk, 2015), Sarulla GPP menjadi Pembangkit listrik panas bumi di Indonesia yang pertama yang menggunakan teknologi *combined cycle*. Untuk itu, penulis dalam paper ini mencoba memberikan gambaran umum secara singkat bagaimana listrik dihasilkan dari pembangkit listrik siklus gabungan pada Sarulla Operation Limited.

II. METODE

Pada paper ini, penulis menggunakan metode deskriptif dengan sumber data berasal dari data sekunder yang berupa data data dari jurnal ilmiah, buku, dan artikel ilmiah kredibel.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkit listrik tenaga panas bumi konvensional memanfaatkan uap panas bumi yang berasal dari sumur produksi untuk memutar turbin dan dengan generator kemudian menghasilkan energi listrik. Uap yang telah selesai dimanfaatkan dikondensasikan menggunakan kondenser dan diinjeksikan kembali ke dalam bumi melalui sumur reinjeksi. Perkembangan teknologi dibidang panas bumi telah berkembang dengan sangat baik dengan adanya teknologi pemulihan panas (*Heat Recovery Technologies*). Uap sisa dan *hot water* (brine) yang pada umumnya diinjeksikan langsung ke dalam bumi, kini dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan listrik menggunakan *Organic Rankine Cycle*.



Gambar 3. Klasifikasi Teknologi Pemulihan Panas

(Sumber : Anastasovski,dkk, 2020)

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa *Organic Rankine Cycle* (ORC) merupakan salah satu dari teknologi pemulihan panas. Menurut (Kavathia & Prajapati, 2021), sistem ORC merupakan sebuah sistem baru yang ramah lingkungan yang ditemukan untuk eksergi yang memiliki sumber panas tingkat rendah. Sistem ini dibangun untuk memulihkan sisa panas dan merubah sumber energi terbarukan menjadi energi listrik. Pemanfaatan kembali uap sisa untuk produksi listrik adalah cara berkelanjutan untuk mengurangi emisi CO₂ dan merancang sistem energi alternatif dan berkelanjutan (Loni,dkk, 2021).

Sebuah ORC diintegrasikan ke dalam sistem untuk menghasilkan listrik dengan cara yang efisien. Menggunakan cairan organik sebagai pengganti air merupakan teknologi yang menjanjikan (Sorgulu,dkk, 2021). Sarulla memiliki dua area lapangan PLTP. Area pertama yaitu Silangkitang (SIL) yang berkapasitas 1x110 MW sedangkan area kedua yang berada di Namora I Langit menghasilkan 2x110 MW. Skema pembangkit yang berada di area SIL dan NIL memiliki konfigurasi yang sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Setiap unit memiliki 1 *Backpressure steam turbine generator* (STG), 4 unit *Bottoming OEC*, dan 2 *Brine OEC*.

Keuntungan dari *Backpressure Steam Turbine* (Wolf,dkk, 2015):

1. Tekanan uap keluaran hanya diatas tekanan atmosfer.
2. Tidak membutuhkan sistem vakum yang besar, canggih dan menkonsumsi energi tinggi.
3. Tidak ada udara masuk pada tingkat vakum dari *condensing steam turbine*.
4. Tingkat turbin yang berkurang untuk mencegah tingkat akhir pada turbin memiliki sudu sudu rotor yang panjang
5. Uap lembab berkurang pada uap sisa keluaran yang mengurangi erosi dan menambah efisiensi turbin.

Keuntungan dari *Organic Rankine Cycle (ORC)* (Wolf,dkk, 2015):

1. Efisiensi turbin yang tinggi pada kecepatan rendah
2. Tingkat turbin yang lebih sedikit
3. Ekspansi pada turbin bebas kelembaban

4. Terkondensasi pada tekanan mendekati tekanan atmosfer.
5. Pemanfaatan panas laten

Keuntungan dari *Geothermal Combined Cycle Unit* (Wolf,dkk, 2015) :

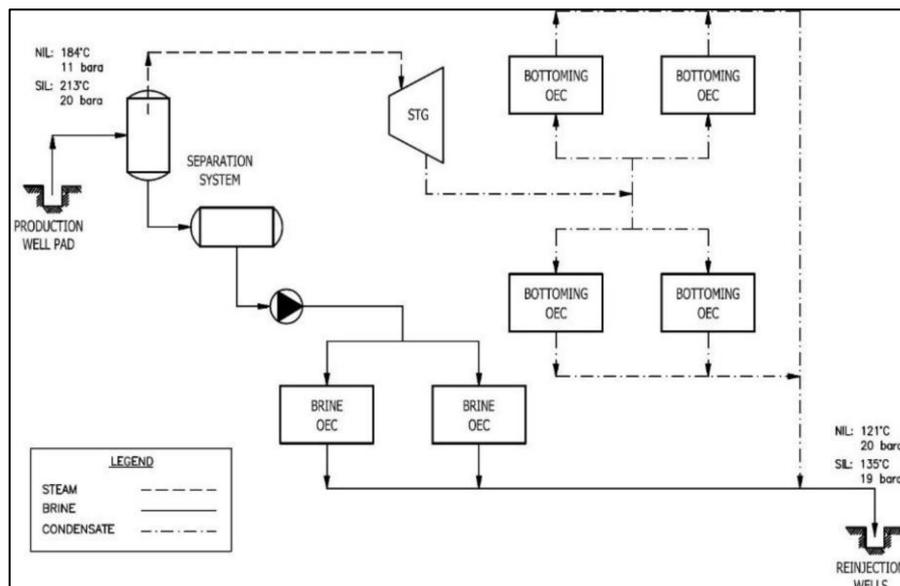
1. Penanganan yang lebih baik pada *Noncondensable Gases (NCG)*
2. Menggunakan pendingin udara
3. 100% injeksi semua steam terkondensasi dan fluida
4. Pemanfaatan brine untuk menghasilkan listrik.

Proyek dikembangkan terbagi menjadi tiga unit, setiap unit menggunakan teknologi *combined cycle*, sebuah kombinasi *single flash* dan *Binary ORC* teknologi yang dikembangkan oleh ORMAT Internasional untuk memanfaatkan steam dan brine dari lapangan Namora I Langit dan Silangkitang (Rakhmadi,dkk, 2015).

ORMAT pada tahun awal 1980'an pertama kali melakukan pengujian untuk penggunaan teknologi ORC untuk sumber panas bumi dengan sebuah sistem pembangkit listrik biner (*Binary Power Plant*). Teknologi ini juga dapat dipergunakan untuk pembangkit panas bumi yang memiliki sisa brine hasil pemisahan steam dan brine pada separator untuk digunakan kembali menghasilkan listrik (Hijriawan,dkk, 2019).

Istilah "Binary" merujuk pada penggunaan fluida kerja kedua yang digunakan untuk memutar turbin yang seluruhnya berada pada siklus tertutup. Fluida kerja kedua mendapatkan panas dari uap panas bumi melalui *heat exchanger* yang dikembangkan untuk sumber energi panas bumi bersuhu menengah hingga rendah. Setiap pembangkit listrik siklus biner menggunakan dua fluida. Fluida yang pertama adalah siklus pertukaran panas, yang mana merupakan fluida panas bumi (fluida utama) mengalir melalui *heat exchanger* dan fluida kedua adalah fluida yang akan mengalami perpindahan panas berupa fluida organik (Nasruddin,dkk, 2020).

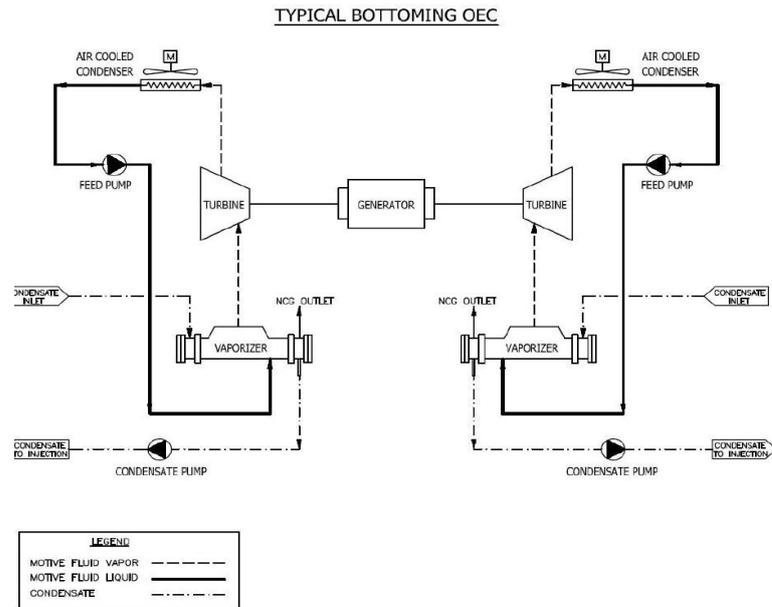
Ormat Energy Converter (OEC) merupakan teknologi dari ORMAT yang dipergunakan di PLTP Sarulla. Terdapat dua OEC, pertama Bottoming OEC dan Brine OEC seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Skema Proses NIL dan SIL
 Sumber : Wolf,dkk, 2015

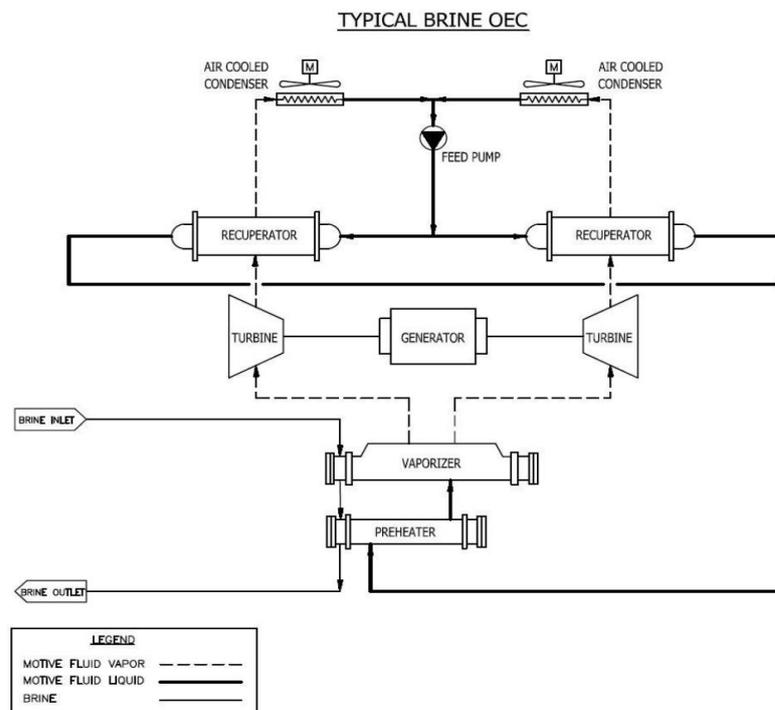
Geothermal Fluid di Sarulla yang berasal dari sumur produksi merupakan dua fase yaitu, fase gas (*Steam*) dan fase likuid *Hot Water* (Brine). *Geothermal Fluid* kemudian dipisahkan menggunakan *separator*. Fase steam dialirkan menuju *Steam Turbine Generator* (STG) untuk menghasilkan listrik dengan kapasitas mencapai 60 MW. Uap sisa keluaran dari STG ini kemudian dialirkan menuju *heat exchanger* pada Bottoming OEC sedangkan fase brine hasil pemisahan dari separator dialirkan menuju Brine OEC.

Suhu *geothermal fluid* Sarulla yang berada pada range 100-200⁰C dapat dimaksimalkan dengan teknologi *binary ORC*. Menurut (Ahmadi,dkk, 2020), *Organic Rankine Cycle* yang memanfaatkan *Geothermal Fluid* dengan suhu 100-200⁰C paling banyak digunakan untuk menghasilkan listrik.



Gambar 5. Bottoming OEC
 (Sumber : Wolf,dkk, 2015)

Uap keluaran dari *Steam Turbine Generator* (STG) masih memiliki energi panas yang dapat digunakan untuk memanaskan fluida kedua yaitu pentane. *Heat Exchanger* (Vaporizer) digunakan sebagai media penukar panas antara steam dengan pentane. Steam yang telah dimanfaatkan kemudian terkondensasi menjadi kondensat sedangkan pentane yang sebelumnya merupakan fase likuid berubah menjadi fase gas/vapor setelah menyerap energi panas dari steam. Vapor pentane yang bertekanan kemudian digunakan untuk memutar turbin. Turbin terdapat dua sisi yaitu sisi Clockwise (CW side) dan CounterClockwise (CCW side). Vapor pentane yang keluar dari turbin kemudian melalui pendinginan pada *condenser* sehingga terjadi perubahan fase kembali dari fase gas menjadi fase likuid. Pentane fase likuid dipompakan kembali menuju *Vaporizer* untuk dipanaskan kembali, sehingga siklus pentane dalam Bottoming OEC ini adalah siklus tertutup. Energi listrik yang dihasilkan dari Bottoming OEC total sebesar 7 MW. **Gambar 5** merupakan skema yang menunjukkan komponen utama yang terdapat pada Bottoming OEC.



Gambar 6. Brine OEC
 (Sumber : Wolf,dkk, 2015)

Fasa likuid yang berasal dari hasil pemisahan *geothermal fluid* yang terjadi di *separator* menghasilkan *Hot Water* (Brine). Brine memiliki energi panas yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Proses dalam Brine OEC (**Gambar 6**) memiliki prinsip yang sama dengan Bottoming OEC, akan tetapi yang membedakannya adalah pada media pemanas pentane menggunakan likuid brine yang bersuhu tinggi. Heat exchanger sebagai media penukar panas memanfaatkan suhu tinggi pada brine dan merubah pentane yang berada pada fase likuid menjadi fase *gas/vapor*. *Vapor* pentane bertekanan tinggi ini kemudian digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik pada generator dengan kapasitas sebesar 15 MW.

Salah satu kandidat fluida organik untuk sistem ORC adalah pentane. Pentane bekerja dengan baik pada kasus subkritis sementara cairan lain cenderung kurang efektif ketika variasi suhu sumber daya dibatasi. Berdasarkan sifat sifat ini, pentane terlihat lebih sesuai untuk diaplikasikan pada ORC dengan sumber daya panas bumi yang bukan hanya memiliki suhu kritis lebih tinggi tetapi juga tekanan kritis lebih rendah. Pemilihan teknologi yang sesuai untuk merubah energi panas bumi menjadi listrik sangat penting, dikarenakan energi panas bumi di Indonesia banyak yang memiliki suhu dibawah 170°C dan suhu uap yang fluktuatif keluaran dari sumur. (Nasruddin,dkk, 2020).

Fluida kerja yang digunakan adalah pentane. Pentane merupakan sebuah senyawa organik dengan rumus kimia C₅H₁₂. Pentane memiliki titik didih pada suhu 36,1°C. Suhu maksimal untuk Pentane berada pada 186,82°C seperti pada **Tabel 1** sehingga sesuai dengan suhu *well production* yang berada di kisaran <200°C. R-245ca, isopentane, Pentane, dan R-365mfc merupakan fluida kerja dengan siklus kehancuran eksergi paling rendah sehingga sangat efisien. Hal ini membuat pentane menjadi pilihan terbaik untuk digunakan sebagai fluida kerja di binary power plant (Zeyghami, 2015).

Tabel 1. Batas Suhu Fluida Kerja

(Sumber : Zeyghami, 2015)

Name	T _{max} [°C]	Name	T _{max} [°C]
Acetone	213	Isopentane	177.87
Benzene	273.35	Neopentane	152.27
Butane	137.36	Pentane	186.82
Butene	126.01	Propyne	119.23
Perfluorobutane (C4F10)	107.14	R-123	166.05
Perfluoropentane (C5F12)	144.21	R-124	102.78
Cis-butene	140.46	R-152a	103
Cyclohexane	274.5	R-236ea	132.69
Cyclopropane (HC-270)	115	R236fa	108
Difluoromethane (R32)	67	R-245ca	158.13
Heptane	261.56	R-245fa	139.38
Hexane	226	R-365mfc	177.21
Isobutene	126.05	R-C138	106.54
Isobutane	120.32	Toluene	307.46
Isohexane	216.88	Trans-butene	136

Menurut (Rahbar,dkk, 2017), Menyimpulkan bahwa efisiensi termal tertinggi diperoleh dari fluida kering dengan suhu didih tinggi dalam sebuah recuperator ORC dimana pentane menunjukkan efisiensi termal tertinggi hingga 13%.

IV. KESIMPULAN

1. Pembangkit listrik panas bumi di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar. Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan untuk menghasilkan listrik dengan energi panas yang berada pada kisaran < 200°C. Fluida sekunder dalam hal ini pentane yang memiliki titik didih rendah berkisar 36°C dapat berubah dari fasa likuid menjadi gas pada suhu yang rendah sehingga tekanan vapor yang dihasilkan dapat digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik pada generator.
2. Teknologi Ormat Energy Converter dapat dikembangkan dan digunakan di pembangkit listrik panas bumi di Indonesia yang memiliki energi panas dari uap sisa keluaran dari *steam turbine generator* dengan memanfaatkan teknologi *heat recovery*. Energi panas yang biasanya langsung di injeksi kembali ke dalam bumi melalui *reinjection well* sudah dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan listrik kapasitas kecil. PLTP di Indonesia secara keseluruhan masih belum menerapkan teknologi binary power plant. Hal ini dapat menjadi pertimbangan dalam memaksimalkan energi panas bumi yang telah ada saat ini untuk meningkatkan efisiensi dan menghasilkan listrik kembali.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, A., el Haj Assad, M., Jamali, D. H., Kumar, R., Li, Z. X., Salameh, T., Al-shabi, M., & Ehyaei, M. A. (2020). Applications of Geothermal Organic Rankine Cycle for Electricity Production. *Cleaner Production*.
- Anastasovski, A., Raskovic, P., & Guzovic, Z. (2020). A Review of Heat Integration Approaches for Organic Rankine Cycle With Waste Heat in Production Processes. *Energy Conversion and Management*.
- Gunderson, R. P., Dobson, P. F., Sharp, W. D., Pudjianto, R., & Hasibuan, A. (1995). Geology and Thermal Features of the Sarulla Contract Area, North Sumatra, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress*, 687–692. https://www.geothermal-energy.org/cpdb/record_detail.php?id=4610
- Hijriawan, M., Pambudi, N. A., Biddinika, M. K., Wijayanto, D. S., Kuncoro, I. W., Rudiyanto, B., & Wibowo, K. M. (2019). Organic Rankine Cycle (ORC) in geothermal power plants. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/4/044064>
- Kavathia, K., & Prajapati, P. (2021). A Review om Biomass-fired CHP System Using Fruit and Vegetable Waste with Regenerative Organic Rankine Cycle (RORC). *Material Today : Proceedings*.
- KESDM. (2021). *Capaian Kinerja 2020 & Program 2021*. www.esdm.go.id
- Loni, R., Najafi, G., Bellos, E., Rajaei, F., Said, Z., & Mazlan, M. (2021). A Review of Industrial Waste Heat Recovery System for Power Generation With Organic Rankine Cycle: Recent Challenges and Future Outlook. *Cleaner Production*.
- Mohammadzadeh Bina, S., Jalilinasrabad, S., Fujii, H., & Pambudi, N. A. (2018). Classification of geothermal resources in Indonesia by applying exergy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93(June), 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.018>
- Nasruddin, Idrus Alhamid, M., Daud, Y., Surachman, A., Sugiyono, A., Aditya, H. B., & Mahlia, T. M. I. (2016). Potential of geothermal energy for electricity generation in Indonesia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53(2016), 733–740. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.032>
- Nasruddin, N., Dwi Saputra, I., Mentari, T., Bardow, A., Marcelina, O., & Berlin, S. (2020). Exergy, exergoeconomic, and exergoenvironmental optimization of the geothermal binary cycle power plant at Ampallas, West Sulawesi, Indonesia. *Thermal Science and Engineering Progress*, 19 (November 2019), 100625. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100625>
- Pambudi, N. A. (2018). Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(April 2016), 2893–2901. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.096>
- Rahbar, K., Mahmoud, S., Al-dadah, R. K., Moazami, N., & Mirhadizadeh, S. A. (2017). Review of Organic Rankine Cycle for Small-scale Applications. *Energy Conversion and Management*.
- Rakhmadi, R. (2015). Using Private Finance to Accelerate Geothermal Deployment : Sarulla Geothermal Power Plant, Indonesia. *Climate Policy Initiative*, June, 30. <http://climatepolicyinitiative.org/publication/using-private-finance-to-accelerate-geothermal-deployment-sarulla-geothermal-power-plant-indonesia/>
- Sorgulu, F., Akgul, M. B., Cebeci, E., Yilmaz, T. O., & Dincer, I. (2021). A New Experimentally Develop Integrated Organic Rankine Cycle Plant. *Applied Thermal Engineering*.
- Wolf, N. (2015). Sarulla 330 MW geothermal project key success factors in development. *Transactions - Geothermal Resources Council*, 39, 907–912.
- Zeyghami, M. (2015). Performance analysis and binary working fluid selection of combined flash-binary geothermal cycle. *Energy*, 88, 765–774. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.092>