



## Tinjauan Singkat Sistem PLTP Siklus Gabungan Sarulla Menggunakan *Ormat Energy Converter*

Jonius Christian Harefa\*<sup>1</sup>, Nazaruddin Sinaga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang  
e-mail: \*<sup>1</sup>[joniuschristian@students.undip.ac.id](mailto:joniuschristian@students.undip.ac.id), <sup>2</sup>[nazarsinaga@lecturer.undip.ac.id](mailto:nazarsinaga@lecturer.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. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa fluida panas bumi dengan suhu <math>200^{\circ}\text{C}</math> mampu dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan fluida sekunder pentane yang memiliki titik didih <math>36,1^{\circ}\text{C}</math>.*

**Kata kunci**—Panas Bumi, Siklus Gabungan, OEC, Sarulla, PLTP

### **Abstract**

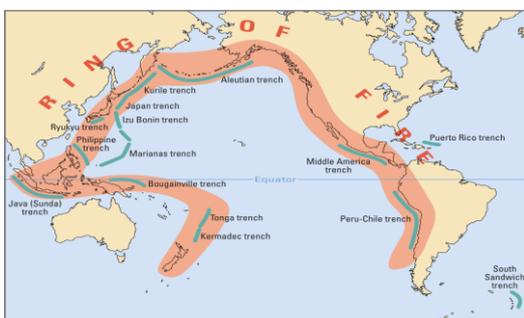
*Geothermal energy is not fully utilized in Indonesia. Until 2020, the realization of geothermal development into electricity is 2,130.7 MW. One of the geothermal power plants (PLTP) in Indonesia that has been operating is the Sarulla Geothermal Power Plant. The total capacity produced by Sarulla is 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 results of this study conclude that geothermal fluid with a temperature of <math>200^{\circ}\text{C}</math> can be used to generate electricity using a pentane secondary fluid which has a boiling point of <math>36.1^{\circ}\text{C}</math>.*

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

## 1. 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 [1].

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 [2], 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.



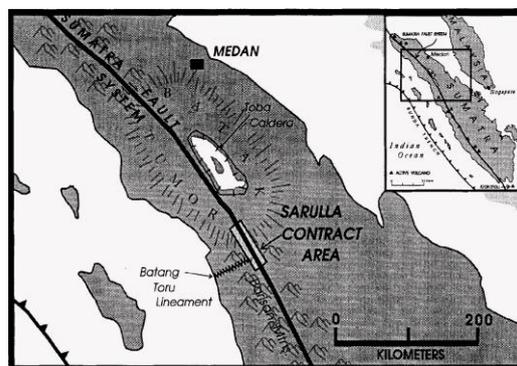
**Gambar 1.** *Ring of Fire* [3]

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 [4]

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* [5].

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 [6].



**Gambar 2.** Peta Lokasi Area Kontrak

Sarulla [7]

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 [6], Sarulla GPP menjadi Pembangkit listrik tenaga 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.

## 2. METODE PENELITIAN

Pada paper ini, penulis menggunakan metode studi pustaka, deskriptif dan obesrvasi sebagai berikut :

### 1. Metode Pustaka

Metode ini dilakukan dengan menghimpun sumber data dan memahami data sekunder yang berupa data dari jurnal ilmiah, buku, dan

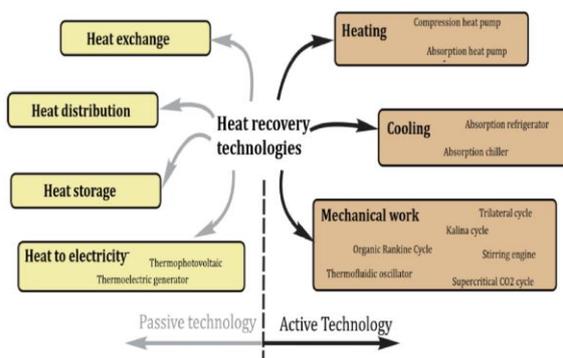
artikel ilmiah kredibel yang berkaitan dengan Sarulla berupa teknologi *geothermal combined cycle unit*, *organic rankine cycle*, *orpat energy converter*.

## 2. Metode Studi Observasi Lapangan

Metode ini dilakukan penulis dengan melakukan pengamatan dan pengumpulan data yang diperlukan berupa data suhu, tekanan, laju aliran, proses pembangkit secara keseluruhan serta data kapasitas listrik yang dihasilkan langsung di lapangan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi Sarulla.

## 3. 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 [8]

Pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa *Organic Rankine Cycle* (ORC) merupakan

salah satu dari teknologi pemulihan panas. Menurut [9], 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 CO<sub>2</sub> dan merancang sistem energi alternatif dan berkelanjutan [10].

Sebuah ORC diintegrasikan ke dalam sistem ke dalam sistem untuk menghasilkan listrik dengan cara yang efisien. Menggunakan cairan organik sebagai pengganti air merupakan teknologi yang menjanjikan [11].

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* :

1. Tekanan uap keluaran hanya diatas tekanan atmosfer.
2. Tidak membutuhkan sistem vakum yang besar, canggih dan mengkonsumsi 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)*:

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* :

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.

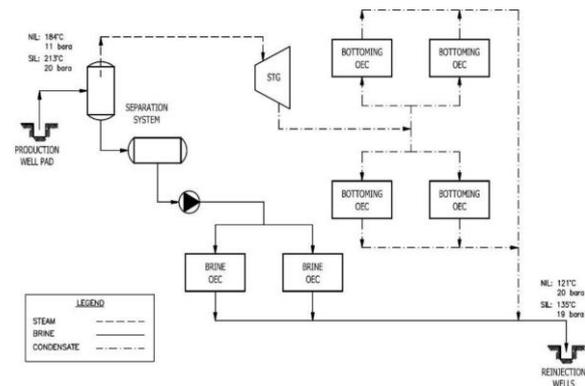
Proyek dikembangkan terbagi menjadi tiga unit, setiap unit menggunakan teknologi *combined cycle*, sebuah kombinasi *single flash* dan *Binary ORC* teknologi yang dikembangkan oleh ORMAT Internasional untuk memanfaatkan *steam* dan *brine* dari lapangan Namora I Langit dan Silangkitang [6].

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 [12].

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 [13].

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 [5]

*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 100-200°C dapat dimaksimalkan dengan teknologi *binary ORC*. Menurut [14], *Organic Rankine Cycle* yang memanfaatkan *Geothermal Fluid* dengan suhu 100-200°C paling banyak digunakan untuk menghasilkan listrik.



**Tabel 1.** Batas Suhu Fluida Kerja [15]

Name	T <sub>max</sub> [°C]	Name	T <sub>max</sub> [°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
Diffuoromethane (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 [16], 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%.

#### 4. 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.

#### 5. SARAN

Pengembangan energi panas bumi di Indonesia sebagian besar masih menggunakan PLTP konvensional. PLTP *combined cycle* menjadi teknologi baru di sektor energi *geothermal*. Energi sisa panas bumi dari PLTP *combined cycle* juga masih dapat dimanfaatkan untuk pengembangan selanjutnya dalam bentuk pemanfaatan langsung maupun tidak langsung.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Redaksi Jurnal TEKNIKA Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberi kesempatan, sehingga artikel ilmiah ini dapat diterbitkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. A. Pambudi, "Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, no. April 2016, pp. 2893–2901, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.06.096.
- [2] Nasruddin *et al.*, "Potential of geothermal energy for electricity generation in Indonesia: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, no. 2016, pp. 733–740, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.09.032.
- [3] S. Mohammadzadeh Bina, S. Jalilinasrabady, H. Fujii, and N. A. Pambudi, "Classification of geothermal resources in Indonesia by applying exergy concept," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.

- 93, no. June, pp. 499–506, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.018.
- [4] Kementerian ESDM, “Jakarta, 7 Januari 2021,” 2021.
- [5] N. Wolf and A. Gabbay, “Sarulla 330 MW geothermal project key success factors in development,” *Transactions - Geothermal Resources Council*, vol. 39, pp. 907–912, 2015.
- [6] R. Rakhmadi and G. Sutiyono, “Using Private Finance to Accelerate Geothermal Deployment: Sarulla Geothermal Power Plant, Indonesia,” *Climate Policy Initiative*, no. June, p. 30, 2015, [Online]. Available: <http://climatepolicyinitiative.org/publication/using-private-finance-to-accelerate-geothermal-deployment-sarulla-geothermal-power-plant-indonesia/>.
- [7] R. P. Gunderson, P. F. Dobson, W. D. Sharp, R. Pudjianto, and A. Hasibuan, “Geology and Thermal Features of the Sarulla Contract Area, North Sumatra, Indonesia,” *Proceedings World Geothermal Congress*, pp. 687–692, 1995, [Online]. Available: [https://www.geothermal-energy.org/cpdb/record\\_detail.php?id=4610](https://www.geothermal-energy.org/cpdb/record_detail.php?id=4610).
- [8] “A-review-of-heat-integration-approaches-for-organic-ra\_2020\_Energy-Conversion.pdf.” .
- [9] K. Kavathia and P. Prajapati, “A Review on Biomass-fired CHP System Using Fruit and Vegetable Waste with Regenerative Organic Rankine Cycle (RORC),” *Material Today: Proceedings*, 2021.
- [10] “A-review-of-industrial-waste-heat-recovery-system-for-powe\_2021\_Journal-of-C.pdf.” .
- [11] “A-new-experimentally-developed-integrated-organic-R\_2021\_Applied-Thermal-Eng.pdf.” .
- [12] M. Hijriawan *et al.*, “Organic Rankine Cycle (ORC) in geothermal power plants,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1402, no. 4, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1402/4/044064.
- [13] N. Nasruddin, I. Dwi Saputra, T. Mentari, A. Bardow, O. Marcelina, and S. Berlin, “Exergy, exergoeconomic, and exergoenvironmental optimization of the geothermal binary cycle power plant at Ampallas, West Sulawesi, Indonesia,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 19, no. November 2019, p. 100625, 2020, doi: 10.1016/j.tsep.2020.100625.
- [14] “Applications-of-geothermal-organic-Rankine-Cycle-fo\_2020\_Journal-of-Cleaner-.pdf.” .
- [15] M. Zeyghami, “Performance analysis and binary working fluid selection of combined flash-binary geothermal cycle,” *Energy*, vol. 88, pp. 765–774, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.05.092.
- [16] K. Rahbar, S. Mahmoud, R. K. Al-dadah, N. Moazami, and S. A. Mirhadizadeh, “Review of Organic Rankine Cycle for Small-scale Applications,” *Energy Conversion and Management*, 2017.