

# Development of Binary Cycle Geothermal Power Plant at Lahendong Geothermal Field, North Sulawesi

Lina Agustina dan Suyanto

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

\*Corresponding author: lina.agustina@bppt.go.id

**Abstract.** Development of small scale geothermal power plant (GeoPP) is one of national priority program in BPPT which involves national industries. Aim of the program is to support Government programs in accelerating geothermal energy development. One of the program is development of binary cycle GeoPP which is already installed in 2015 at Lahendong geothermal field, North Sulawesi. The pilot plant is built under collaboration Indonesia and German Government. The pilot plant has capacity 500 kW (gross power) and it is designed to utilize waste hot water (so called brine) from temperature 170°C and reinjected at 140°C. The power plant has operated since September 2017 and generated electricity more than 1.9 GWh which is distributed to grid 20 kV belongs to PT PLN. On January 2019, the pilot plant had been handed-over from German government to Indonesia government and it is expected to be research and education center. With this collaboration, we expect that binary cycle technology can be mastered and manufactured by national industries so that local content can be maximized. Furthermore, the using of geothermal energy can substitute and save fossil fuel and it can contribute in national electrification program.

**Abstrak.** Salah satu program prioritas nasional BPPT adalah program pengembangan PLTP skala kecil yang melibatkan industri dalam negeri. Program tersebut bertujuan untuk mendukung program Pemerintah dalam percepatan pengembangan energi panas bumi. Salah satu programnya adalah pengembangan PLTP binary cycle yang dibangun pada tahun 2015 di lapangan panas bumi Lahendong, Sulawesi Utara. Pilot plant ini merupakan hasil kerjasama antara Pemerintah Indonesia dengan Pemerintah Jerman. Pilot plant ini berkapasitas 500 kW dan didesain untuk memanfaatkan panas brine (air panas buangan) dari suhu 170°C dan direinjeksi kembali pada suhu 140°C. Plant ini telah beroperasi sejak September 2017, dan menghasilkan energi lebih dari 1,9 GWh yang disalurkan ke jaringan 20 kV PLN. Pada Januari 2019, pilot plant ini telah diserahkan dari Pemerintah Jerman (GFZ) ke Pemerintah Indonesia (BPPT) dan diharapkan dapat berfungsi sebagai pendidikan dan penelitian. Dengan adanya kerjasama ini, diharapkan teknologi binary cycle dapat dikuasai dan dimanufaktur oleh industri dalam negeri sehingga mampu mencapai TKDN secara maksimal dalam rangka substitusi dan penghematan BBM untuk berkontribusi dalam program peningkatan elektrifikasi oleh Pemerintah.

**Kata kunci:** geothermal, brine, binary cycle, Lahendong, TKDN.

---

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Saat ini, energy panas bumi merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang sedang dipercepat pengembangannya oleh Pemerintah, baik melalui program pembangunan pembangkit listrik 10.000 MW tahap kedua, maupun program diversifikasi energi. Untuk mendukung program tersebut, BPPT saat ini telah menjadikan energi panas bumi sebagai program prioritas nasional melalui pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) skala kecil yang melibatkan industri dalam negeri untuk menghasilkan Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) secara maksimal.

Menurut hasil studi yang telah dilakukan oleh BPPT bersama-sama dengan Kementerian RISTEK di provinsi NTB, NTT, Maluku dan Maluku Utara pada tahun 2009 yang lalu, terdapat PLTD dengan unit-unit kecil dengan kapasitas <5MW dengan total kapasitas 200 MW lebih yang dapat disubstitusi oleh PLTP skala kecil, karena di provinsi-provinsi tersebut terdapat sumber panas bumi yang sangat melimpah tetapi belum dikembangkan secara maksimal. Substitusi ini dapat menghemat penggunaan BBM sebesar lebih dari Rp. 1,1 Trilyun per tahun. [6]

Di dalam Rencana Umum Pengusahaan Tenaga Listrik oleh PLN Tahun 2019- 2028, Pengembangan PLTP Skala Kecil menunjukkan bahwa PLTP skala kecil 5 MW banyak tersebar di 10 propinsi yaitu: Jambi, Bengkulu, Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara, Sulawesi Barat, Gorontalo, Maluku dan NTT. Sedangkan PLTP binary cycle juga disebutkan ada potensi di Gunung Salak Jawa Barat dengan potensi total 15 MW dan Lahendong, Sulawesi Utara potensi 10 MW. Tabel 1 dibawah ini menunjukkan kapasitas total yang dapat dikembangkan dengan PLTP Skala Kecil.

**Tabel 1.** List PLTP Skala Kecil 2019-2030 (EBTKE 2019) [2]

No.	PLTP	Pengembang	Kapasitas (MW)	Tahun
1	Sokoria #1	PT Sokoria Geothermal Indonesia	5	2019
2	Sokoria #2	PT Sokoria Geothermal Indonesia	5	2020
3	Sokoria #3	PT Sokoria Geothermal Indonesia	5	2020
4	Jaboi #1	PT Sabang Geothermal Energy	5,5	2021
5	Dieng Small Scale	PT Geo Dipa Energy (Persero)	10	2021
6	Tulehu #1	PT PLN (Persero)	2	2021
7	Tulehu #2	PT PLN (Persero)	5	2022
8	Sokoria #4	PT Sokoria Geothermal Indonesia	5	2022
9	Jaboi #2	PT Sabang Geothermal Energy	5	2023
10	Sokoria #5	PT Sokoria Geothermal Indonesia	5	2023
11	Ulubelu Small Scale	PT PGE	20	2023
12	Lahendong Small Scale #1	PT PGE	5	2023
13	Lumut Balai Small Scale	PT PGE	5	2024
14	Lahendong Small Scale #2	PT PGE	5	2024
15	Hululais Small Scale #2	PT PGE	10	2025
16	Kamojang Small Scale #1	PT PGE	10	2025
17	Kamojang Small Scale #2	PT PGE	10	2025
18	Sungai Penuh Small Scale	PT PGE	5	2025
19	Lahendong Small Scale #3	PT PGE	5	2025
20	Atadei #1	PT PLN (Persero)	5	2025
21	Sokoria #6	PT Sokoria Geothermal Indonesia	5	2025
22	Gn. Sirung	PT PLN (Persero)	5	2025
23	Wapsalit	-	6	2025
24	Atadei #2	PT PLN (Persero)	5	2027
<b>TOTAL</b>			<b>154,5</b>	

Di Indonesia banyak terdapat lapangan panas bumi dengan karakteristik dominasi air (*water dominated reservoir*), dimana sampai saat ini air panas buangan hasil separasi (*brine*) belum dimanfaatkan sama sekali. Pemanfaatan brine melalui teknologi *binary cycle* akan sangat penting dalam upaya meningkatkan produksi listrik maupun dalam rangka konservasi energi.

#### **Pemanfaatan Brine untuk PLTP Binary Cycle di Lahendong, Sulawesi Utara**

Energi panas bumi merupakan salah satu program prioritas nasional BPPT yang dilakukan melalui pengembangan PLTP skala kecil dengan melibatkan industri dalam negeri dengan tujuan untuk mendukung program percepatan pengembangan energi panas bumi yang dilakukan Pemerintah.

Untuk mempercepat pengembangan energi panas bumi di Indonesia, Pemerintah Indonesia

Sampai saat ini industri ketenagalistrikan nasional, terutama untuk energi panas bumi, belum berkembang dengan baik sehingga teknologi PLTP yang ada di Indonesia saat ini, baik teknologi sistem pembangkitnya dan terutama teknologi manufaktur komponen pembangkit seperti turbin, generator, kondensor, dll merupakan teknologi yang diimpor dari luar. Program percepatan pembangunan pembangkit listrik 10.000 MW tahap kedua di atas ditargetkan tidak hanya dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik nasional, tetapi juga menjadi suatu sarana untuk mengembangkan industri ketenagalistrikan nasional.

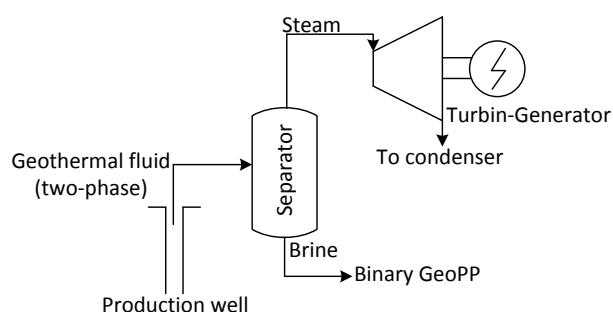
dan Pemerintah Jerman berkolaborasi dalam sebuah kerjasama di bidang energi panas bumi. Pihak-pihak yang mewakili dalam kerjasama tersebut adalah BPPT, PT. Geothermal Energi (PT. PGE) dan GFZ (lembaga riset Jerman). Ketiga pihak bekerjasama untuk mengembangkan PLTP *binary cycle* yang berlokasi di lapangan panas bumi Lahendong, Sulawesi Utara. Lapangan panas bumi Lahendong saat ini dikelola oleh PT. PGE. PLTP ini memiliki kapasitas desain 500 kW.

Kerjasama riset & teknologi yang dilakukan bersama-sama oleh BPPT, PT. PGE dan GFZ meliputi *engineering design, planning & testing* pembangkit, instalasi & *commissioning* serta riset dan *demo-operation*. Ketiga pihak juga telah memiliki perjanjian kerjasama dimana dalam perjanjian kerjasama disebutkan tugas dari masing-masing pihak. BPPT bertugas untuk menyediakan lahan serta kontribusi dalam *engineering design*. PT. PGE bertugas untuk menyediakan suplai *brine*

serta pemipaan *brine* dari kluster wellpad ke area pembangkit *binary cycle* sedangkan GFZ bertugas untuk menyediakan modular PLTP *binary cycle* serta kontribusi dalam *engineering design*.

Lapangan panas bumi Lahendong terletak di provinsi Sulawesi Utara, sekitar 30 km arah selatan dari Manado. Lapangan ini adalah salah satu lapangan panas bumi yang mempunya sistem dua fasa dengan permeabilitas relatif kecil dan memiliki temperatur reservoar 350°C. Area bagian utara lapangan panas bumi Lahendong memproduksi dua fase fluida panas bumi dengan *dryness* 30 s.d 50% sedangkan area selatan memproduksi fluida yang hampir berupa uap kering dengan *dryness* diatas 80%. [5]

Saat ini terdapat 6 unit PLTP komersial di Lahendong dengan total kapasitas 120 MW. Semua unit PLTP tersebut menggunakan teknologi *condensing turbine*, dimana air dan uap panas yang dihasilkan dari sumur produksi dipisahkan terlebih dahulu di dalam separator. Uap tersebut selanjutnya dialirkan untuk menggerakkan turbin-generator dan menghasilkan listrik. *Brine* ini masih memiliki temperatur yang cukup tinggi dan bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui teknologi *binary cycle*.



Gambar 1. Penerapan fluida panas bumi untuk PLTP

PLTP *binary cycle* ini merupakan *pilot plant* yang memanfaatkan air panas buangan (*brine*) dari hasil separasi uap di lapangan panas bumi Lahendong yang dikembangkan oleh PT. PGE, yaitu kluster 5 (gambar 1). PLTP *binary cycle* ini menggunakan prinsip kerja *Organic Rankine Cycle* (ORC), dimana *brine* ini dimanfaatkan sebagai sumber panas melalui sebuah *intermediate cycle*. Temperatur *brine* yang digunakan 170°C dan dikembalikan lagi pada kondisi temperatur 140°C. Temperatur *brine* masuk ke sistem PLTP *binary cycle* sesuai dengan temperatur *brine* keluar dari

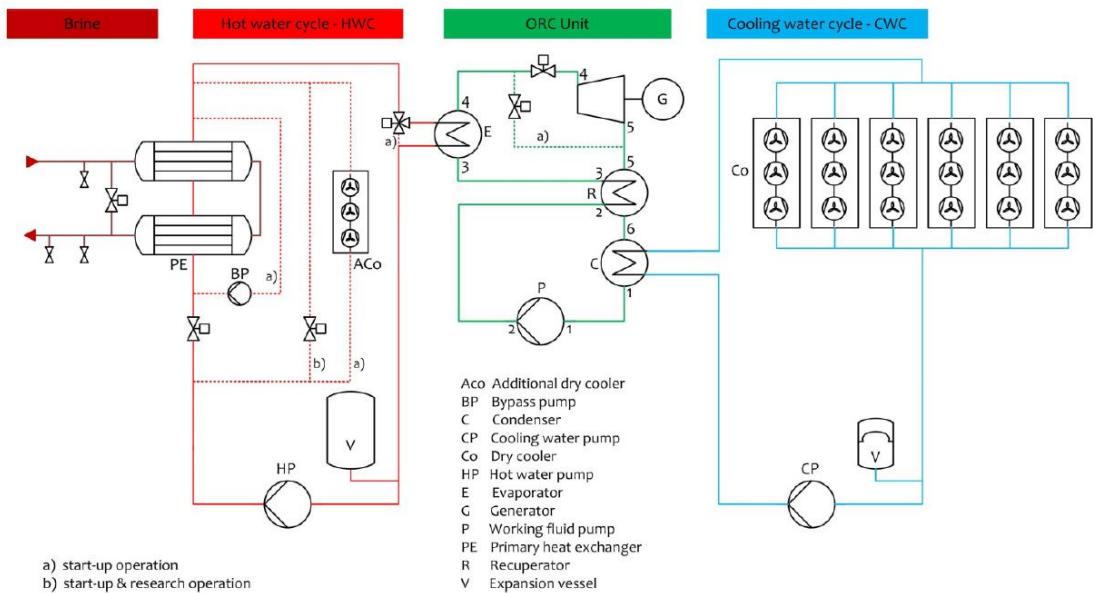
separator di kluster 5. Pertimbangan penentuan angka 140°C sebagai temperatur keluar adalah untuk menghindari terjadinya *silica scaling*. Kapan terjadinya *silica scaling* bisa ditentukan dari perhitungan *Silica Saturation Index* (SSI). Dari hasil perhitungan SSI, *silica scaling* diperkirakan dapat terjadi pada suhu di bawah 140°C. Oleh karena itu, temperatur *brine* keluar ditetapkan 140°C.

*Brine* akan dialirkan ke *heat exchanger* (*primary heat exchanger*) untuk memanaskan *fresh water*. *Fresh water* ini disirkulasikan dalam siklus tertutup. Pada saat operasi, *fresh water* ini mengalir dalam *shell primary heat exchanger*, sedangkan *brine* berada di dalam *tube*. *Fresh water* ini kemudian dilewatkan ke *evaporator-preheater* untuk menguapkan fluida kerja yang *boiling point*nya lebih rendah dari air. PLTP *binary cycle* ini menggunakan fluida kerja n-pentane. Uap n-pentane selanjutnya dialirkan ke turbin-generator untuk menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dari PLTP ini dialirkan ke jaringan 20 kV milik PT. PLN.

Keluar turbin, uap n-pentane sebelum dikondensasikan di kondensor, dialirkan terlebih dahulu ke rekuperator untuk memanaskan fluida n-pentane sebelum masuk *evaporator-preheater*. Tujuan penambahan rekuperator ini adalah untuk mengurangi beban kerja *evaporator-preheater* dan kondensor. Sebagai tambahan, dengan adanya penambahan rekuperator ini dapat meningkatkan efisiensi pembangkit.

N-pentane dikondensasikan di dalam kondensor dengan menggunakan air pendingin. Air pendingin keluar kondensor ini, sebelum disirkulasikan kembali ke kondensor didinginkan terlebih dulu dengan menggunakan udara dalam *air cooler*.

Gambar 2 merupakan diagram alir proses PLTP *binary cycle* 500 kW. Jalur *by-pass* digunakan saat *pilot plant start up* dengan tujuan untuk menjaga kenaikan temperatur. *Cooler* yang ada dalam siklus *fresh water* ini memiliki fungsi penting untuk mendinginkan air panas pada *re-start* saat temperatur tinggi. *Expansion vessel* dengan Nitrogen dipasang untuk mengkompensasi adanya perubahan massa jenis/density dalam siklus air panas. Pembangkit ini dapat beroperasi dan dijalankan secara otomatis sehingga tidak perlu menggunakan banyak *man-power* untuk mengoperasikannya. [2]



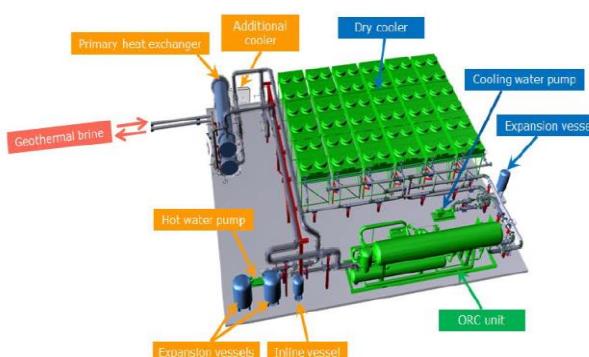
Gambar 2. Diagram alir proses PLTP *binary cycle* 500 kW [4]

*Modular ORC* dari PLTP *binary cycle* ini dimanufaktur oleh perusahaan Jerman, Durr Cyplan sedangkan untuk *heating* dan *cooling system*-nya dimanufaktur oleh industri dalam negeri. *Primary heat exchanger* dimanufaktur oleh PT. Kalorindo sedangkan *air cooler* dimanufaktur oleh PT. Guntner Indonesia. Dengan adanya kontribusi dari industri dalam negeri, TKDN PLTP *binary cycle* ini adalah sekitar 30%.

PLTP *binary cycle* ini telah selesai dibangun (konstruksi dan instalasi) pada tahun 2016. Sejak September 2017, PLTP ini telah mulai beroperasi dan menghasilkan listrik sekitar 300 kW. Nilai ini masih di bawah nilai kapasitas desain. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa hal, yaitu PLTP *binary*

*cycle* ini masih beroperasi di bawah *design setting point*, adanya beberapa modifikasi sistem dan jaringan 20 kV PLN yang tidak stabil (sering mati lampu). Sejak *commissioning*, beberapa modifikasi teknis telah direalisasikan yang menghasilkan peningkatan kehandalan pembangkit. *Layout* dan PLTP *binary cycle* terpasang dapat dilihat di gambar 3.

Hingga saat ini PLTP *binary cycle* 500 kW telah mendistribusikan listrik lebih dari 1,9 GWh ke jaringan 20 kV PT. PLN. Pada Januari 2019, *pilot plant* ini telah diserah-terimakan dari Pemerintah Jerman (GFZ) ke Pemerintah Indonesia (BPPT) dan diharapkan dapat berfungsi sebagai pendidikan dan penelitian.



Gambar 3. Layout PLTP *binary cycle* 500 kW dan terpasang

## Manfaat Kegiatan

Hasil dari pengembangan PLTP *binary cycle* ini diharapkan dapat memberikan manfaat sbb:

1. Hasil pengembangan PLTP *binary cycle* ini diharapkan ada *transfer-knowledge*

antara Jerman dan Indonesia, sehingga kedepannya Indonesia dapat mengembangkan PLTP *binary cycle* sendiri dimana PLTP-PLTP ini akan dapat diterapkan di sebagian besar lapangan panas bumi di Indonesia sehingga air

- panas buangan yang ada dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik.
2. Pada dasarnya teknologi PLTP *binary cycle* adalah teknologi yang relatif sederhana, sehingga teknologinya akan mudah dikuasai dengan cepat dan bisa dikembangkan oleh industri dalam negeri. Dengan adanya *transfer-knowledge* dari Jerman ke Indonesia, maka seluruh komponen utama PLTP *binary cycle* ini akan mampu dimanufaktur oleh industri dalam negeri, sehingga penerapan PLTP *binary cycle* ini akan menunjang kemandirian nasional di bidang ketenagalistrikan.
  3. Multiplier effect: mengembangkan industri komponen dan industri pendukung dalam negeri (UKM) dan membuka kesempatan kerja yang luas.
  4. Membantu pemanfaatan sumber energi lokal sebesar-besarnya, mencegah pencemaran lingkungan karena emisi / limbah panas bumi sangat kecil (ramah lingkungan).
  5. Dengan adanya penyaluran listrik dari pembangkit listrik baru di suatu daerah, kegiatan perekonomian masyarakat akan terpacu sehingga tingkat kesejahteraan masyarakat akan semakin meningkat. [1]

## Kesimpulan

Energi panas bumi merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan sangat potensial untuk dikembangkan dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia. Teknologi *binary cycle* merupakan salah satu teknologi yang dapat diaplikasikan untuk pembangkitan listrik dari energi panas bumi terutama dari brine yang selama ini belum ada pemanfaatannya untuk pembangkitan listrik padahal memiliki potensi panas yang cukup besar.

PLTP *binary cycle* di Lahendong, Sulawesi Utara yang dikembangkan melalui kerjasama antara Pemerintah Indonesia dan Jerman bertujuan untuk mengembangkan dan menguasai teknologi PLTP skala kecil terutama teknologi *binary cycle* oleh SDM dan industri dalam negeri, sehingga mampu mencapai TKDN secara maksimal dalam rangka substitusi dan penghematan BBM untuk berkontribusi dalam program peningkatan elektrifikasi oleh Pemerintah serta mewujudkan ketahanan energi nasional dan kemandirian bangsa.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada GFZ dan PT. PGE serta industry-industry yang terlibat dan turut andil dalam pengembangan PLTP *binary*

cycle 500 kW, yaitu PT. Kalorindo, Durr Cyplan Ltd., serta PT Guntner Indonesia.

## Referensi

- [1] Agustina, L. dkk., 2014. Engineering Design Heating & Cooling System di Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP) Binary Cycle. Laporan akhir kegiatan Insentif Riset SINAS 2014, Jakarta.
- [2] Frick, S., et al., 2017. Manual for the Geothermal Binary Demonstration Plant in Lahendong. Internal Report, North Sulawesi.
- [3] Kementerian ESDM-EBTKE, 2019. Sinergi dalam Pengembangan Panas Bumi Skala Kecil di Indonesia. Materi Presentasi dalam rapat pembahasan anggaran flagship BPPT untuk 2010, Jakarta.
- [4] Kranz, S., 2019. Make Use of Geothermal Brine in Indonesia – Binary Demonstration Power Plant Lahendong/Pangolombian. 5<sup>th</sup> Proceeding of International Seminar on ORC Power Systems, Yunani.
- [5] Sumantoro, Z.Z., et al., 2015. Reservoir Modelling of Lahendong Geothermal Field, Sulawesi-Indonesia. Proceeding 37<sup>th</sup> New Zealand Geothermal Workshop, New Zealand.
- [6] Surana, T., 2013. Pengembangan PLTP Skala Kecil “Merah Putih” untuk Meningkatkan Kemampuan SDM dan Industri Dalam NEegri. Buletin Mining & Energy, Vol 11 No.2, Jakarta.