



OPTIMALISASI TURBIN UAP PANAS BUMI SKALA KECIL SEBAGAI INOVASI TEKNOLOGI ENERGI BERSIH DI INDONESIA

Riki Irfan¹, Cecep Nana Nasuha², Hilmansyah Safari³

^{1,2})Teknik Mesin Universitas Islam Al-Ihya Kuningan, ³)Praktisi Teknologi Geothermal-PT IREI

¹)rikiirfan@yahoo.com, ²)cephy.lucky81@gmail.com ³)hilmansyah.safari@inpex.co.jp

Abstrak

Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang sangat besar, namun pemanfaatannya masih didominasi oleh pembangkit skala besar. Padahal, terdapat ratusan lokasi dengan potensi energi bersuhu sedang hingga rendah yang belum tergarap, khususnya di wilayah terpencil. Studi ini bertujuan menganalisis potensi pengembangan dan penerapan teknologi turbin uap panas bumi skala kecil (<20 MW) sebagai solusi penyedia energi bersih yang efisien, fleksibel, dan aplikatif. Melalui pendekatan studi literatur dan analisis teknis terhadap sistem pembangkitan, ditemukan bahwa turbin skala kecil mampu diintegrasikan di lokasi dengan cadangan terbatas, serta dapat digunakan sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa teknik untuk terlibat dalam inovasi energi terbarukan. Kajian ini juga membandingkan hasil riset sebelumnya, seperti proyek MiniGeo dan sistem termoelektrik skala mikro, yang menunjukkan keberhasilan implementasi teknologi kecil di wilayah non-interkoneksi. Dengan demikian, teknologi ini berpeluang mempercepat transisi energi bersih nasional secara inklusif dan berkelanjutan.

Kata kunci: turbin uap, panas bumi, skala kecil, energi terbarukan, transisi energi.

Abstract

Indonesia has enormous geothermal energy potential, but its utilization is still dominated by large-scale power plants. In fact, there are hundreds of locations with medium to low temperature energy potential that have not been explored, especially in remote areas. This study aims to analyze the potential for the development and application of small-scale geothermal steam turbine technology (<20 MW) as a solution for providing efficient, flexible, and applicable clean energy. Through a literature study approach and technical analysis of the generation system, it was found that small-scale turbines can be integrated in locations with limited reserves, and can be used as a learning medium for engineering students to get involved in renewable energy innovation. This study also compares the results of previous research, such as the MiniGeo project and micro-scale thermoelectric systems, which show the successful implementation of small technology in non-interconnected areas. Thus, this technology has the potential to accelerate the national clean energy transition in an inclusive and sustainable manner.

Keywords: steam turbine, geothermal, small scale, renewable energy, energy transition.

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan potensi energi panas bumi yang sangat besar, menempati peringkat kedua dunia dalam kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga panas bumi. Dengan estimasi potensi sebesar 23 GW atau sekitar 40% dari total cadangan dunia, panas bumi menjadi sumber energi terbarukan yang strategis dan bersifat insitu, sehingga ideal untuk dimanfaatkan secara domestik. Namun, pemanfaatan energi ini masih didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) berskala besar, sedangkan lebih dari 160 lokasi prospek dengan potensi di bawah 20 MW belum tersentuh pengembangan.

Sebagian besar prospek tersebut berada pada sistem panas bumi bersuhu sedang (125–225°C), yang lebih sesuai dikembangkan dengan teknologi turbin skala kecil. Saat ini, hanya sedikit PLTP berskala kecil yang dikembangkan di Indonesia, seperti PLTP Sokoria di Flores. Ketimpangan ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak akan teknologi turbin uap skala kecil yang mampu menjangkau sumber daya panas bumi berkapasitas rendah.

Beberapa studi telah menunjukkan bahwa pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) skala kecil memiliki potensi besar dalam mendukung elektrifikasi di wilayah terpencil Indonesia. Misalnya, proyek MiniGeo yang dikembangkan melalui program GEOCAP antara Indonesia dan Belanda, dirancang untuk menyediakan listrik di daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik nasional. Dengan kapasitas sekitar 500 kW, MiniGeo memanfaatkan gradien panas bumi yang tinggi untuk menghasilkan listrik dengan biaya yang kompetitif dibandingkan dengan pembangkit diesel atau sistem fotovoltaik off-grid. Proyek percontohan pertama MiniGeo direncanakan di Indonesia, menandai langkah awal dalam

pemanfaatan teknologi ini untuk daerah-daerah terpencil (Richter, 2017).

Selain itu, penelitian oleh Marpaung dkk. (2024) mengembangkan dan menguji unit pembangkit listrik termolektrik berbasis panas bumi suhu rendah (Lotemg-TPG) di Pemandian Air Panas Sari Ater, Ciater, Jawa Barat. Unit ini berhasil menghasilkan daya listrik sekitar 9,10 W dengan memanfaatkan sumber panas alami bersuhu sekitar 45°C. Meskipun output daya relatif kecil, penelitian ini menunjukkan bahwa sumber panas bumi suhu rendah yang sebelumnya hanya dimanfaatkan untuk pariwisata dapat diubah menjadi sumber energi listrik alternatif, terutama untuk kebutuhan lokal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengenalkan konsep dan manfaat turbin uap panas bumi skala kecil sebagai alternatif penyokong transisi energi bersih serta sebagai bahan edukasi bagi mahasiswa teknik.

Turbin Uap Panas Bumi Skala Kecil

Sistem kerja PLTP pada prinsipnya sama dengan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yaitu memanfaatkan uap panas untuk memutar turbin sehingga menghasilkan listrik. Perbedaannya adalah PLTP memanfaatkan uap alami yang keluar dari sumur panas bumi. Turbin Uap adalah mesin konversi energi untuk mengubah energi panas dari uap menjadi energi mekanis, mesin ini di pembangkit listrik biasanya digunakan untuk memutar generator untuk menghasilkan Listrik.

Bidang Panas Bumi, Turbin Uap adalah peralatan utama untuk mengubah energi uap dari reservoir panas bumi menjadi energi mekanis untuk memutar generator untuk membangkitkan energi listrik. Secara umum kapasitas turbin uap pembangkitan panas bumi (PLTP) dapat diklasifikasikan menjadi: 1) Kapasitas Kecil: Turbin Uap dibawah 20 MW, 2) Kapasitas Menengah: 20 MW sampai dengan 55 M, dan 3) Kapasita Besar: 55 MW sampai dengan 90 MW. Dari

pembagian tersebut, maka Turbin uap skala kecil adalah semua turbin yang dapat memanfaatkan energi uap dari dalam bumi dengan kapasitas pembangkitan tidak lebih dari 20 MW per unit nya.

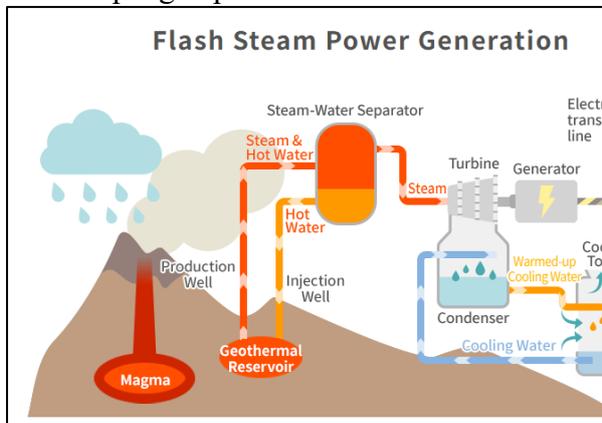
Selain turbin uap, peralatan utama lainnya pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah Condenser, Cooling Tower, dan Generator. Siklus sederhana bagaimana energi panas bumi dari dalam bumi di ubah menjadi energi listrik, dapat dilihat pada Gambar 1. Pada gambar 2 hingga gambar 5 diperlihatkan contoh foto foto dari Turbin uap, Generator, Rotor, Cooling tower dan condenser yang ada di lapangan panas bumi.



Gambar 4. Cooling Tower (foto pribadi Hilmansyah)



Gambar 5. Condenser (foto pribadi Hilmansyah)



Gambar 1 Siklus PLTP (Flash Steam) (<https://www.iwatec.co.jp>)



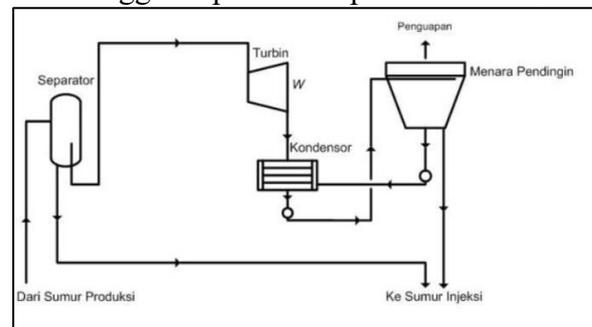
Gambar 2. Turbine Uap dan Generator (foto pribadi Hilmansyah)



Gambar 3. Rotor dari Turbin Uap (foto pribadi Hilmansyah)

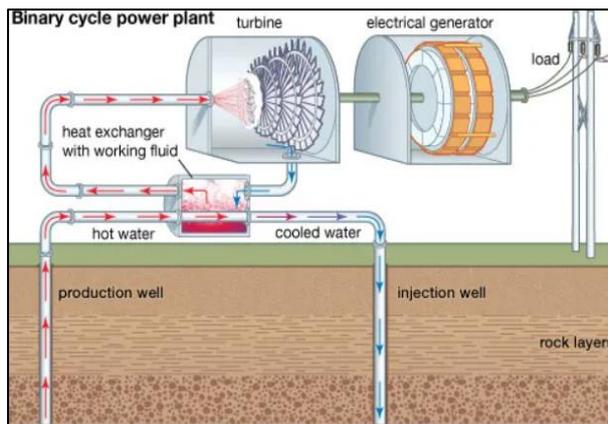
Jika dilihat dari siklus termodinamika pembangkitnya, PLTP dibedakan menjadi dua jenis siklus, yaitu:

1. Siklus Penguapan Tunggal (*Single Flash*) yaitu pemanfaatan uap panas bumi dilakukan secara langsung, dimana uap panas diarahkan langsung ke sisi inlet turbin untuk memutar sudu turbin. Sketsa siklus penguapan tunggal dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Siklus Penguapan Tunggal (Utama, et al, 2012)

2. Siklus Biner (*Binary*), pemanfaatan secara tidak langsung, dimana uap atau brine dari panas bumi digunakan untuk memanaskan fluida yang memiliki titik didih dibawah uap panas bumi. Setelah dipanaskan hingga mendidih, selanjutnya fluida ini diarahkan langsung ke sisi inlet masukan turbin untuk memutar sudu turbin. Sketsa siklus Biner dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Siklus Biner
(<https://www.britannica.com>)

Metode

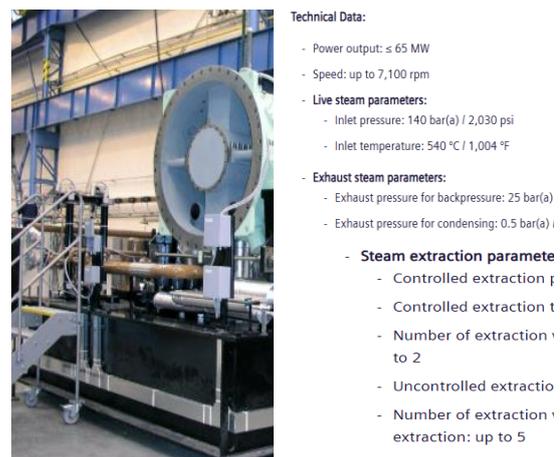
Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka (*literature review*) yang berfokus pada telaah dokumen, laporan teknis, dan referensi ilmiah mengenai teknologi turbin uap panas bumi skala kecil. Sumber data utama berasal dari publikasi akademik, laporan pemerintah (ESDM), serta dokumentasi lapangan dan studi kasus dari PLTP skala kecil yang telah beroperasi. Analisis dilakukan terhadap prinsip kerja turbin uap, klasifikasi kapasitas, serta efisiensi termal dari masing-masing siklus pembangkitan (*single flash dan binary cycle*). Tujuan pendekatan ini adalah untuk menyusun kajian komprehensif mengenai peran dan prospek turbin skala kecil dalam mendukung pemanfaatan sumber daya panas bumi berpotensi rendah di Indonesia.

Hasil dan Pembahasan

Terdapat tantangan untuk kapasitas skala kecil dibawah 20 MW menggunakan metode penguapan, selain karena uap yang dihasilkan dari dalam bumi pada medium enthalpy sistem mempunyai energi yang tidak sebesar high enthalpy, juga karena adanya keterbatasan dari jenis atau type Turbin uap skala kecil yang ada dijual pasaran. Hingga saat ini, hanya ada beberapa produk yang tersedia dan bisa di pesan untuk membangkitkan energi listrik dari energi panas bumi skala kecil secara konvensional single flash, yaitu diantaranya

SST 400 buatan Jerman dan GXP-X buatan Jepang.

SST 400 merupakan Turbin uap casing tunggal yang dirancang untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi dan aplikasi industri lainnya. Turbin ini dapat dikonfigurasi untuk penggerak langsung atau penggerak roda gigi ke generator, atau untuk penggerak mekanis seperti pompa dan kompresor. Turbin ini dapat disesuaikan untuk aplikasi kondensasi (*Condensing*) dan tekanan balik (*back pressure*). Turbin SST 400 dikenal karena efisiensinya yang tinggi, fleksibilitasnya, dan keandalannya, yang memungkinkan waktu penyalaan yang singkat dan perubahan beban yang cepat. Foto Turbin SST 400 dan spesifikasi nya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Siemens SST-400 buatan Jerman
(<https://www.siemens-energy.com>)

GXP-X merupakan produk Jepang yang mampu mengkonversi energi dari uap panas bumi pada skala kecil yaitu cakupan 10-20 MW. Teknologi ini adalah tipe *Condensing Turbine* yang mampu memanfaatkan tekanan uap panas bumi medium ke high enthalpy dan termasuk pembangkit listrik panas bumi konvensional skala kecil. Teknologi yang dipakai mampu mengoptimalkan energi uap dari dalam bumi dan juga diharapkan memaksimalkan efektivitas biaya bagi pengembang panas bumi untuk menghasilkan setiap MW listrik. Foto

Turbin GXP-X dan spesifikasi nya dapat dilihat pada Gambar 9.



GXP-X (Condensing Type)

Single Casing Axial Flow

Toshiba's GXP-X type geothermal steam turbine is the highest capacity from Geoportable™ line-up, providing output of up to 20 MW. GXP-X) highest flexibility for steam path design to fit any type of steam con compared to other Geoportable™ steam turbines.

FEATURES

- High efficiency oriented design
 - Axial exhaust
 - High steam path design flexibility
- Wide capacity range 6 to 20 MW
- Skid-mounted equipment
- High reliability based on BFP turbine* design

* Boiler Feed water Pump driving Turbine in Conventional Thermal Power Plant, which Toshiba supplied to hundreds of plant.

Size chart



Gambar 9. Toshiba GXP-X buatan Manufaktur Jepang

(<https://www.toshiba.com/taes/geothermal>)

Di beberapa kasus, Turbin uap skala kecil harus dibuat secara khusus menyesuaikan spesifikasi kondisi reservoir panas bumi yang cenderung bervariasi dibandingkan lapangan lainnya, misalnya temperature yang terlalu rendah atau permeabilitas yang terlalu rendah. Kondisi ini membuat harga Turbin uap skala kecil masih sangat tinggi per MW nya apabila dibandingkan dengan Turbin Uap skala menengah atau besar yang sudah cukup kompetitif harganya di pasaran dunia.

Di Indonesia, proyek PLTP Turbin skala kecil (< 20 MW per unit) telah mulai diterapkan sejak tahun 2014 yaitu 4 unit masing-masing 2,5 MW di lapangan Panas bumi Ulumbu NTT milik PT PLN yang bertipe suhu reservoir tinggi. Selanjutnya pada tahun 2019 di lapangan Panas bumi Sokoria NTT juga dipasang 2 unit masing-masing 5 MW milik KS ORKA dengan tipe suhu reservoir sedang. Pada tahun 2020 di lapangan panas bumi Dieng milik PT. Geodipa di Jawa Tengah juga dipasang 1 unit 10 MW dari lapangan dengan tipe suhu reservoir tinggi. Contoh PLTP skala kecil di

Dieng Jawa Tengah dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. PLTP skala kecil di daerah Jawa Tengah yang menggunakan Turbin Uap jenis GXP-X sebesar 12,6 MW. (<https://www.toshiba.com>)

Pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) skala kecil telah menunjukkan potensi signifikan dalam mendukung elektrifikasi di wilayah terpencil Indonesia. Proyek MiniGeo, yang dikembangkan melalui kerja sama antara Indonesia dan Belanda, dirancang untuk menyediakan listrik di daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik nasional. Dengan kapasitas sekitar 500 kW, MiniGeo memanfaatkan gradien panas bumi yang tinggi untuk menghasilkan listrik dengan biaya yang kompetitif dibandingkan dengan pembangkit diesel atau sistem *fotovoltaik off-grid*. Proyek percontohan pertama MiniGeo direncanakan di Indonesia, menandai langkah awal dalam pemanfaatan teknologi ini untuk daerah-daerah terpencil.

Selain itu, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) telah mengembangkan dan mengoperasikan PLTP skala kecil berkapasitas 3 MW di Kamojang, Jawa Barat (Prasetyo, et al., 2020). Pembangkit ini merupakan prototipe pertama yang dirancang dan dibangun oleh perusahaan nasional, menggunakan teknologi turbin kondensasi. Desain pembangkit didasarkan pada data karakteristik sumur uap KMJ-68 milik Pertamina Geothermal Energy, dengan spesifikasi turbin yang dirancang melalui rekayasa balik. Proyek ini menjadi tahap awal dalam pengembangan teknologi PLTP

tipe wellhead di Indonesia, yang dapat mendukung kemandirian energi nasional di masa depan (Prasetyo, et al., 2020).

Studi kasus di PLTP Ulumbu, Nusa Tenggara Timur, menunjukkan bahwa integrasi teknologi Organic Rankine Cycle (ORC) dapat meningkatkan efisiensi pembangkit (Suyanto, et al., 2020). Dengan memanfaatkan air panas sisa dari proses utama, sistem ORC menghasilkan tambahan daya listrik sekitar 1,2 MW, meningkatkan efisiensi termal keseluruhan pembangkit. Pendekatan ini menunjukkan bahwa teknologi turbin skala kecil dapat dioptimalkan melalui integrasi sistem untuk memaksimalkan pemanfaatan energi panas bumi.

Namun, pengembangan PLTP skala kecil di Indonesia menghadapi tantangan finansial dan sosial. Biaya eksplorasi awal yang tinggi dan risiko investasi menjadi hambatan utama dalam menarik pendanaan. Selain itu, resistensi dari masyarakat lokal terhadap proyek panas bumi, seperti yang terjadi di wilayah Mataloko, menunjukkan pentingnya pendekatan partisipatif dan edukasi masyarakat dalam pengembangan proyek. Keterlibatan komunitas lokal dan transparansi dalam proses pengembangan sangat penting untuk memastikan keberhasilan dan keberlanjutan proyek PLTP skala kecil (AP News, 2024).

Kesimpulan

Pengembangan teknologi turbin uap panas bumi skala kecil memiliki prospek strategis dalam mendukung transisi energi bersih di Indonesia, terutama dalam menjangkau wilayah dengan potensi panas bumi bersuhu sedang hingga rendah. Fleksibilitas instalasi, biaya pembangunan yang relatif rendah, serta kemampuan untuk memanfaatkan sumber daya lokal menjadikan teknologi ini cocok untuk diterapkan di lokasi terpencil yang belum terlayani jaringan listrik utama. Selain itu, pengembangan teknologi ini juga mendukung penguatan kapasitas akademik

dan inovasi mahasiswa teknik dalam bidang energi terbarukan.

Berdasarkan studi literatur dan analisis teknis yang dilakukan, turbin uap skala kecil terbukti mampu memberikan kontribusi nyata dalam elektrifikasi desa, diversifikasi energi, dan pengurangan emisi karbon. Penelitian sebelumnya seperti proyek MiniGeo dan sistem Lotemg-TPG menunjukkan bahwa meskipun skalanya kecil, output listrik yang dihasilkan mampu dimanfaatkan untuk kebutuhan lokal secara efektif. Oleh karena itu, dukungan regulasi, pendanaan, serta kemitraan akademik dan industri menjadi kunci dalam mempercepat implementasi teknologi ini sebagai pilar energi bersih masa depan Indonesia.

Daftar Pustaka

- AP News. (2024). Financial and community hurdles slow geothermal energy development in Southeast Asia. *AP News*. [https://apnews.com/article/6de912a0a2911f3cb96a875aac3c6c95:contentReference\[oaicite:66\]{index=66}](https://apnews.com/article/6de912a0a2911f3cb96a875aac3c6c95:contentReference[oaicite:66]{index=66})
- Hochstein, M.P., Browne, P.R.L. (2000). *Surface Manifestation of Panas Bumi Systems With Volcanic Heat Sources*. Editors: Haraldur Sigurdsson, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press. <https://www.britannica.com/science/binary-cycle-geothermal-power>
<https://www.iwatec.co.jp/en/services/geothermal-power-generation>
<https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/industrial-steam-turbines.html#Description-tab-8>
https://www.toshiba.com/taes/cms_files/Small Scale Geothermal Power Plant Catalogue.pdf
- KESDM. (2017). Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1 & 2, Kementerian

- Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Marpaung, H., Supriyadi, Lasmi, N. K., Singarimbun, A., & Srigutomo, W. (2024). *Design and Application of Low-Temperature Geothermal Thermoelectric Power Generation (Lotemg-TPG) in Sari Ater Hot Spring, Ciater, Subang, West Java, Indonesia*. *Designs*, 8(3), 60. <https://doi.org/10.3390/designs8030060>
- Prasetyo, Bambang T., et al. (2020). *Lesson learned – The operation of the pilot scale geothermal power plant 3MW – Kamojang, Indonesia*. *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650520303175ScienceDirect+1ResearchGate+1>
- Richter, Alexander. (2017). *Indonesia increasingly sees a realistic use of smaller-scale geothermal power plants in Indonesia for remote areas in the country*. *ThinkGeoEnergy*. <https://www.thinkgeoenergy.com/small-scale-geothermal-plant-technology-explored-for-indonesias-remote-areas/>
- Suyanto, S. et al. (2024). *The integrative use of binary cycle technology to improve thermal efficiency and efficiency in geothermal power plants: A case study of Ulumbu geothermal power plant in Indonesia*. *ScienceDirect*. [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890424009749:contentReference\[oaicite:63\]{index=63}](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890424009749:contentReference[oaicite:63]{index=63})
- Utama, A. P., Dwinanto, A., Situmorang, J., Hikmi, M., dan Irsamukti, R. (2012), 'Green Field Geothermal Systems in Java Indonesia', Proceedings of ITB Geothermal Workshop, Bandung.