

PANAS BUMI SEBAGAI SOLUSI ENERGI BERKELANJUTAN: POTENSI, TEKNOLOGI, DAN PENGEMBANGAN GLOBAL

Demas Khoironi¹, Ferdianto Desta Saputra^{1,2}, Satria Bayu Nugraha^{1,3}, Abel Fisabilah Khansa^{1,4}, Priyo Heru Adiwibowo^{1,5}

¹Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya Kampus Unesa 1, Jalan Kampus Unesa Ketintang, Surabaya 60231

Email : demas.23149@mhs.unesa.ac.id (D.K), ferdianto.23143@mhs.unesa.ac.id (F.D.S),
satriabayu.23133@mhs.unesa.ac.id (S.B.N), abel.23142@mhs.unesa.ac.id (A.F.K),
priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id (P.H.A)

Abstrak : Peningkatan kebutuhan energi global dan dampak negatif dari penggunaan bahan bakar fosil telah mendorong pencarian sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan. Energi panas bumi menjadi salah satu solusi yang menjanjikan karena ketersediaannya yang melimpah, emisi karbon yang rendah, serta kemampuannya dalam menyediakan listrik secara kontinu. Artikel ini bertujuan untuk menjelaskan potensi, teknologi, dan strategi pengembangan energi panas bumi di tingkat global. Artikel ini menggunakan metode studi literatur dan analisis data sekunder dari laporan industri, jurnal ilmiah, serta kebijakan pemerintah terkait pengembangan panas bumi. Artikel ini juga menjelaskan teknologi pembangkitan listrik panas bumi, seperti dry steam, flash steam, binary cycle, dan *Enhanced Geothermal Systems (EGS)*. Artikel ini menunjukkan mengenai potensi energi panas bumi yang tersebar luas di berbagai negara dengan aktivitas vulkanik tinggi, seperti Indonesia, Amerika Serikat, Turki, Selandia Baru, dan Filipina. Namun, tantangan utama dalam pengembangannya mencakup biaya eksplorasi yang tinggi, risiko geologi, serta keterbatasan dalam infrastruktur dan regulasi. Artikel ini menegaskan bahwa meskipun terdapat berbagai tantangan, energi panas bumi tetap menjadi solusi energi yang strategis dalam mendukung transisi energi global. Dukungan kebijakan, kemajuan teknologi, serta investasi yang berkelanjutan menjadi faktor kunci dalam mempercepat pemanfaatan energi panas bumi untuk memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan.

Kata Kunci : Energi Panas Bumi, Teknologi Pembangkit; Potensi Energi; Pengembangan Energi Global; Energi Berkelanjutan.

Abstract : The increasing global energy demand and the negative impacts of fossil fuel use have driven the search for more sustainable alternative energy sources. Geothermal energy is one of the promising solutions due to its abundant availability, low carbon emissions, and its ability to provide electricity continuously. This article aims to explain the potential, technology, and development strategies for

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2025, Vol. 6, No. 2, pp 1 – 10

Received : 28 Mei 2025

Accepted : 2 Juli 2025

Published : 20 Juli 2025



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

geothermal energy at the global level. This article uses literature study methods and secondary data analysis from industry reports, scientific journals, and government policies related to geothermal development. This article also explains geothermal electricity generation technologies, such as dry steam, flash steam, binary cycles, and Enhanced Geothermal Systems (EGS). This article shows the potential for geothermal energy which is widespread in various countries with high volcanic activity, such as Indonesia, the United States, Turkey, New Zealand, and the Philippines. However, the main challenges in its development include high exploration costs, geological risks, and limitations in infrastructure and regulations. This article states that despite various challenges, geothermal energy remains a strategic energy solution in supporting the global energy transition. Policy support, technological advances, and sustainable investment are key factors in accelerating the use of geothermal energy to meet energy needs sustainably.

Keywords : Geothermal Energy, Generator Technology; Energy Potential; Global Energy Development; Sustainable Energy.

1. Pendahuluan

Energi panas bumi telah menjadi salah satu solusi utama dalam upaya global untuk mencapai transisi energi yang berkelanjutan. Sebagai sumber energi terbarukan yang berasal dari panas alami di dalam inti bumi, energi panas bumi memiliki potensi besar untuk menyediakan listrik yang mumpuni dan ramah lingkungan. Menurut Badan Energi Internasional (IEA), energi panas bumi memiliki potensi untuk memenuhi sekitar 8% dari kebutuhan listrik global pada tahun 2050 jika dimanfaatkan secara optimal (IEA, 2023). Dengan perkembangan teknologi yang pesat, sumber daya ini dapat dieksplorasi lebih dalam dan lebih luas, memungkinkan lebih banyak negara untuk mengadopsinya sebagai bagian dari bauran energi nasional mereka.

Penelitian mengenai energi panas bumi sangat penting mengingat kebutuhan dunia akan sumber energi bersih yang stabil dan berkelanjutan. Seiring meningkatnya permintaan energi dan tekanan untuk mengurangi emisi karbon, eksplorasi serta pengembangan teknologi energi panas bumi menjadi semakin relevan. Menurut Tester et al. (2022), energi panas bumi menawarkan solusi unik sebagai sumber daya energi yang dapat diandalkan dan bebas emisi jika dimanfaatkan secara efisien. Oleh karena itu, artikel ini dibuat untuk mengeksplorasi potensi, teknologi, tantangan, serta solusi dalam pengembangan energi panas bumi secara global. Selain itu, artikel ini juga penting untuk memahami bagaimana kebijakan, teknologi, dan tantangan eksplorasi dapat diatasi guna meningkatkan adopsi energi panas bumi di berbagai negara. Seperti yang dikemukakan oleh Richter (2023), kolaborasi global adalah kunci untuk mempercepat pengembangan energi panas bumi dan menjadikannya bagian integral dari transisi energi bersih.

Meskipun energi panas bumi memiliki potensi besar, pengembangannya masih menghadapi beberapa kendala utama. Beberapa permasalahan yang dihadapi meliputi biaya eksplorasi yang tinggi, regulasi dan kebijakan yang kompleks, kurangnya infrastruktur dan teknologi, serta rendahnya kesadaran dan investasi. Pengeboran sumur panas bumi yang dalam membutuhkan investasi awal yang besar. Seperti yang dikemukakan oleh McLennan (2021), salah satu tantangan utama dalam pengembangan panas bumi adalah ketidakpastian geologi yang menyebabkan biaya eksplorasi meningkat. Selain itu, di banyak negara, regulasi yang rumit memperlambat proses perizinan dan investasi dalam sektor panas bumi (Bianchi, 2023). Beberapa wilayah yang memiliki potensi panas bumi tinggi juga belum memiliki infrastruktur yang memadai untuk pengembangannya (DOE, 2022). Lebih jauh, banyak investor dan pemerintah masih lebih condong ke energi terbarukan lain seperti tenaga

surya dan angin, meskipun panas bumi menawarkan keunggulan dalam hal kestabilan pasokan energi (Granholm, 2022).

Penelitian mengenai energi panas bumi telah berkembang dalam beberapa dekade terakhir dengan berbagai pendekatan teknologi dan kebijakan. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dalam mendukung pembuatan artikel ini mencakup teori panas bumi dan potensinya, perkembangan teknologi dalam pemanfaatan energi panas bumi, serta pengembangannya secara global. Menurut Muffler & Cataldi (1978), energi panas bumi berasal dari peluruhan radioaktif di dalam bumi dan dapat dimanfaatkan dengan berbagai teknologi. Kolker et al. (2023) menyatakan bahwa energi panas bumi merupakan sumber daya yang memiliki tiga manfaat utama, yaitu sebagai sumber energi untuk pemanasan, pendinginan, dan pembangkitan listrik; sebagai sumber daya penyimpanan energi; serta sebagai sumber mineral berharga. Dalam hal teknologi, sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi konvensional telah dikembangkan sejak abad ke-20 (DiPippo, 2012). Kemajuan teknologi juga telah memungkinkan pengembangan Enhanced Geothermal Systems (EGS) yang dapat mengekstraksi energi panas bumi di lokasi yang sebelumnya tidak ekonomis (Tester et al., 2006). Selain itu, teknik fracking yang berasal dari industri minyak dan gas mulai diterapkan dalam eksplorasi panas bumi untuk meningkatkan efisiensi pengeboran dan pemanfaatan energi (FT, 2023).

Dari perspektif pengembangan global, berbagai negara telah mengambil langkah-langkah berbeda dalam memanfaatkan energi panas bumi. Studi oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM, 2023) menunjukkan bahwa Indonesia memiliki 40% dari total potensi panas bumi dunia, tetapi masih menghadapi tantangan dalam eksplorasi dan investasi. Sementara itu, Islandia telah berhasil mengintegrasikan energi panas bumi secara luas untuk kebutuhan listrik dan pemanas distrik (Orkustofnun, 2022). Amerika Serikat berinvestasi dalam proyek Enhanced Geothermal Shot untuk mengurangi biaya pengembangan panas bumi dan mempercepat adopsinya secara luas (DOE, 2022). Filipina juga menjadi salah satu produsen utama panas bumi di dunia dan telah menunjukkan keberhasilan dalam pemanfaatannya sebagai bagian dari bauran energi nasional (EDC, 2023).

Dengan mempertimbangkan berbagai aspek teknis, ekonomi, dan kebijakan, artikel ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai potensi energi panas bumi serta strategi yang dapat diterapkan untuk mengatasi tantangan yang ada. Dengan investasi yang tepat, inovasi teknologi, serta dukungan kebijakan yang kuat, energi panas bumi dapat menjadi salah satu solusi utama dalam menyediakan listrik bersih dan berkelanjutan bagi dunia.

2. Metode

Artikel ini menggunakan pendekatan studi literatur atau literatur review untuk mengeksplorasi dan menganalisis potensi energi panas bumi sebagai solusi energi berkelanjutan, termasuk teknologi yang digunakan serta tantangan dan strategi pengembangannya secara global. Metode ini dipilih karena memungkinkan penulis untuk menghimpun berbagai data dan informasi dari sumber-sumber sekunder yang relevan dan terkini guna memperoleh pemahaman yang komprehensif terhadap isu yang dikaji.

Data dikumpulkan melalui proses analisis terhadap berbagai literatur ilmiah seperti jurnal internasional, laporan lembaga resmi (seperti International Energy Agency, Kementerian ESDM, dan Department of Energy AS), buku akademik, serta artikel terdahulu yang berfokus pada energi terbarukan. Literatur yang dipilih memiliki relevansi dengan topik penelitian dan berisi data empiris.

Analisis dilakukan secara kualitatif-deskriptif, yaitu dengan mengklasifikasikan temuan literatur berdasarkan tiga fokus utama:

1. potensi dan persebaran sumber daya panas bumi secara global,
2. perkembangan teknologi dalam eksplorasi dan pemanfaatannya, serta
3. kebijakan dan tantangan yang memengaruhi pengembangan energi panas bumi di berbagai 5 negara yaitu Amerika Serikat, Indonesia, Filipina Turki, dan Selandia Baru.

Dengan pendekatan ini, artikel diharapkan mampu memberikan aspek pemahaman yang menyeluruh tentang posisi energi panas bumi dalam lanskap transisi energi bersih global, serta merumuskan strategi yang dapat mengatasi permasalahan eksplorasi dan implementasinya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Potensi Energi Panas Bumi

Energi panas bumi adalah sumber energi terbarukan yang berasal dari panas di dalam bumi. Potensi ini sangat besar, terutama di wilayah yang berada di "Ring of Fire". Potensinya diperkirakan mencapai 119,3 GW secara global, namun baru sekitar 9,67% (11,5 GW) yang dimanfaatkan. Negara-negara dengan potensi besar antara lain Amerika Serikat, Indonesia, Filipina, Turki, dan Islandia. Secara global, energi panas bumi dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dan kebutuhan panas langsung.

3.1.1 Potensi Energi Panas Bumi di Amerika Serikat

Mengutip data dari *Thinkgeoenergy*, Amerika Serikat tercatat memiliki kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) hingga ± 3.967 Mega Watt (MW). Oleh sebab itulah, Amerika Serikat menjadi negara pertama yang memanfaatkan PLTP terbanyak di dunia Pada tahun 2022.

Sebagian besar pembangkit berada di California, terutama di kawasan The Geysers, yang merupakan kompleks pembangkit panas bumi terbesar di dunia. AS terus mengembangkan teknologi dan eksplorasi untuk meningkatkan kontribusi energi panas bumi dalam bauran energinya.

Tabel 1.

Kandungan Panas Bumi di Amerika Serikat (*Thinkgeoenergy*, 2022).

| No | Pulau | Jumlah Titik Potensi | Total (Mwe) |
|----|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1. | California | 1 | 1.517 |
| 2. | Nevada | 1 | 1.176 |
| 3. | Utah | 1 | 92 |
| 4. | Hawaii | 1 | 25,7 |
| 5. | Oregon | 1 | 50 |
| 6. | Idaho | 1 | 27 |
| 7. | Lainnya | ± 52 | ± 1.000 |
| 8. | Total | ± 58 | ± 3.967 |

3.1.2 Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia

Menurut data Badan Geologi Kementerian ESDM, Indonesia memiliki potensi energi panas bumi sekitar $\pm 23.965,5$ MW, yang merupakan sekitar 40% dari total cadangan dunia, menjadikannya negara dengan potensi terbesar kedua di dunia setelah Amerika Serikat.

Didukung dengan letak Indonesia yang berada di cincin vulkanik, potensi sumber panas bumi ini tersebar di 70 lokasi di seluruh Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar fosil di antaranya yaitu berada di Pulau Sumatera, Maluku, Kalimantan, Jawa, Sulawesi, dan Papua, sehingga akses untuk menggali dan memproduksi sumber energi panas bumi di Indonesia sangat luas dan tidak terbatas dengan sistem hidrotermal bersuhu tinggi yang ideal untuk pembangkit listrik. Sehingga Indonesia dapat menjadi center of excellent di bidang panas bumi sebagai pusat perhatian bagi investasi, sumber daya manusia, dan teknologi.

Tabel 2.
Kandungan Panas Bumi di Indonesia (KESDM, 2019).

| No | Pulau | Jumlah Titik Potensi | Total (Mwe) |
|----|---------------|----------------------|------------------|
| 1. | Sumatra | 101 | 9679 |
| 2. | Jawa | 73 | 8107 |
| 3. | Bali | 6 | 355 |
| 4. | Nusa Tenggara | 31 | 1.363,5 |
| 5. | Kalimantan | 14 | 182 |
| 6. | Sulawesi | 90 | 3068 |
| 7. | Maluku | 33 | 1156 |
| 8. | Papua | 3 | 75 |
| 9. | Total | 351 | ±23.965,5 |

3.1.3 Potensi Energi Panas Bumi di Filipina

Mengutip data dari *statistika.com*, total kapasitas energi panas bumi di Filipina berjumlah sekitar ± 1.951,8 MW pada tahun 2021. Angka ini sedikit meningkat jika dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Filipina juga memiliki salah satu pembangkit listrik tenaga panas bumi terbesar di dunia yang juga sekaligus menjadikan Filipina menempati posisi ketiga sebagai negara produsen listrik dari panas bumi terbesar di dunia.

Tabel 3.
Kandungan Panas Bumi di Filipina (Philippine Energy Situationer and Key Energy Statistics, 2021).

| No | Pulau | Jumlah Titik Potensi | Total (Mwe) |
|----|----------------------|----------------------|---------------------|
| 1. | Leyte | 1 | 716 |
| 2. | Laguna & Batangas | 1 | 458 |
| 3. | Albay | 1 | 234 |
| 4. | Negros Oriental | 1 | 192,5 |
| 5. | Sorsogon | 1 | 130 |
| 6. | Cotabato (Mindanao) | 1 | 106 |
| 7. | Negros Occidentol | 1 | 49 |
| 8. | Lainnya (eksplorasi) | ±134 | ±1.114,3 |
| 9. | Total | ±141 | ± 1.951,8 MW |

3.1.4 Potensi Energi Panas Bumi di Turki

Dilansir dari *Thinkgeoenergy*, sebagai negara produsen listrik dari panas bumi terbesar keempat di dunia, melalui pembangkit listrik yang beroperasi di enam provinsi di kawasan Aegean Turki memiliki pembangkit listrik terpasang dengan kapasitas mencapai ±1.691,4 Mega Watt (MW).

Tabel 4.
Kandungan Panas Bumi di Turki (*Thinkgeoenergy*, 2022).

| No | Pulau | Jumlah Titik Potensi | Total (Mwe) |
|----|----------------|----------------------|--------------------|
| 1. | Aydin | 1 | 887,98 |
| 2. | Denizli | 1 | 379,43 |
| 3. | Manisa | 1 | 378,74 |
| 4. | Canakkale | 1 | 30,45 |
| 5. | Izmir | 1 | 12 |
| 6. | Afyonkarahisar | 1 | 2,76 |
| 7. | Lainnya | ±57 | ±1.000 |
| 8. | Total | ±63 | ±1.691,4 MW |

3.1.5 Potensi Energi Panas Bumi di Selandia Baru

Selandia Baru menempati posisi kelima sebagai negara produsen pembangkit listrik tenaga panas bumi terbesar di dunia. Negara ini secara total memiliki ± 1.160 Mega Watt (MW) kapasitas energi panas bumi.

Tabel 5.

Kandungan Panas Bumi di Selandia Baru (International Geothermal Association, 2023).

| No | Pulau | Jumlah Titik Potensi | Total (Mwe) |
|----|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1. | Taupō Volcanic Zone | 8 | ± 1.033 MW |
| 2. | Ngāwhā (Northland) | 1 | 57 MW |
| 3. | Ohaaki (Waikato) | 1 | 70 MW |
| 4. | Total | ± 10 lokasi | ± 1.160 MW |

Energi panas bumi merupakan solusi potensial terhadap permasalahan kebutuhan sumber energi yang ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan potensi yang dimilikinya, energi ini dapat membantu mengurangi, bahkan mengatasi dampak negatif yang ditimbulkan oleh penggunaan energi fosil secara berlebihan yang mana dapat menimbulkan kerusakan ekosistem, perubahan iklim, pencemaran lingkungan, serta gangguan terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Diantara potensi energi panas bumi adalah;

- Membantu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil
- Energi panas bumi yang menyediakan energi dalam tingkat konstan dan tidak tergantung pada cuaca atau musim.
- Menghasilkan lebih sedikit polusi dan emisi gas rumah kaca dari pada energi fosil
- Dampak buruk yang ditimbulkan baik terhadap lingkungan, manusia, maupun makhluk hidup cukup kecil.
- Energi panas bumi membantu mendukung tercapainya SDGs

Namun tidak dapat dipungkiri bahwa energi panas bumi juga memiliki beberapa permasalahan atau risiko dalam proses mendapatkan sumber energi dan pemanfaatannya diantaranya adalah;

- Jika diambil secara terus menerus dalam skala besar, dapat menimbulkan risiko seismik.
- Risiko eksplorasi cukup tinggi yang meliputi biaya eksplorasi dan ketidakpastian terhadap lokasinya yang dapat menyebabkan gagalnya temuan sumber energi
- Memerlukan sumber daya manusia dengan kompetensi khusus untuk mengerjakan proyek panas bumi.
- Kemungkinan memiliki resiko penolakan dari warga yang tinggal di sekitar lokasi proyek pembangkit panas bumi.

3.2 Teknologi Energi Panas Bumi

Secara global, pemanfaatan energi panas bumi telah berkembang melalui berbagai teknologi utama, seperti pembangkit listrik uap kering (dry steam), pembangkit listrik flash steam, dan pembangkit listrik siklus biner (binary cycle). Setiap jenis pembangkit ini dikembangkan untuk menyesuaikan dengan kondisi suhu dan karakteristik reservoir panas bumi di berbagai wilayah. Laporan dari International Energy Agency (IEA) menyebutkan bahwa penggunaan teknologi binary cycle menjadi semakin populer karena mampu memanfaatkan sumber panas bumi dengan suhu sedang hingga rendah, yang sebelumnya dianggap tidak ekonomis (IEA, 2021).

Beberapa negara telah menjadi pemimpin dalam pemanfaatan teknologi panas bumi, seperti Amerika Serikat, Filipina, Islandia, dan Indonesia. Sebagai contoh, Islandia memenuhi hampir 90% kebutuhan pemanasannya menggunakan energi panas bumi (National Energy Authority of Iceland, 2020). Sementara itu, Indonesia, yang memiliki potensi panas bumi terbesar kedua di dunia, terus mendorong pengembangan teknologi panas bumi untuk mencapai target bauran energi nasional berbasis energi baru dan terbarukan.

Di tengah meningkatnya kebutuhan akan energi bersih untuk mengatasi perubahan iklim global, pengembangan dan inovasi dalam teknologi panas bumi menjadi semakin penting. Selain pembangkit listrik konvensional, teknologi *Enhanced Geothermal Systems (EGS)* kini juga mulai dikembangkan untuk memungkinkan pemanfaatan panas bumi di wilayah yang tidak memiliki reservoir alami, memperluas potensi pemanfaatan energi ini di seluruh dunia (U.S. Department of Energy, 2023).

3.2.1 Pembangkit Listrik Uap Kering (*Dry Steam*)

Pada teknologi pembangkit tipe ini, uap panas (*steam*) akan langsung diarahkan ke turbin, sehingga mengaktifkan generator untuk menghasilkan listrik. Sisa panas yang datang dari sumur produksi (*production well*) dialirkan kembali ke dalam reservoir (batuan di bawah permukaan yang mampu menyimpan dan mengalirkan uap atau air panas) panas bumi berupa uap dengan suhu lebih besar dari 370°C melalui sumur *injection well* (Alisafa, ESDM, 2010).

3.2.2 Pembangkit Listrik Uap kilat (*Flash Steam*)

Teknologi flash steam memanfaatkan air panas bertekanan tinggi dari dalam bumi yang, saat mencapai permukaan dan tekanan menurun, sebagian air tersebut berubah menjadi uap (*flash*) yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Sisa air dan uap yang telah digunakan kemudian dikondensasikan dan disuntikkan kembali ke dalam bumi.

Tangki flash berada pada suhu yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan cairan bertekanan tinggi, menyebabkannya berubah menjadi uap. Ini pada gilirannya akan memberi daya pada turbin dan ketika didinginkan dan dikondensasi kembali ke air, dipompa kembali ke tanah melalui sumur injeksi.

Panas bumi dalam bentuk fluida, misalnya air panas alami (*hot spring*) dengan suhu di atas 175°C, dapat digunakan sebagai sumber pembangkit Flash Steam Power Plants. Fluida panas dialirkan ke dalam tangki flash dengan tekanan rendah sehingga terjadi uap panas secara cepat. Uap panas (*flash*) inilah yang akan menggerakkan turbin, sehingga mengaktifkan generator untuk menghasilkan sumber energi listrik. Sisa panas yang tidak terpakai akan masuk kembali ke reservoir panas bumi dalam bentuk air dengan suhu antara 170°C – 370°C melalui *injection well* (Alisafa, ESDM, 2010).

3.2.3 Pembangkit Listrik Siklus Biner (*Binary Cycle*)

Pada teknologi pembangkit listrik siklus biner menggunakan teknologi pembangkit yang berbeda dari kedua teknologi pembangkit sebelumnya yaitu *dry steam* dan *flash steam*. Uap panas yang berasal dari sumur produksi (*production well*) tidak pernah menyentuh turbin secara langsung. Air panas digunakan untuk memanaskan *working fluid* pada *heat exchanger*. *Working fluid* kemudian menjadi panas dan menghasilkan uap berupa flash. Uap yang dihasilkan pada *heat exchanger* akan dialirkan untuk memutar turbin, sehingga menggerakkan generator untuk menghasilkan sumber energi listrik. Uap panas yang dihasilkan pada *heat exchanger* disebut sebagai *secondary (binary) fluid*. Pembangkit listrik siklus biner merupakan sistem tertutup, sehingga tidak ada suhu yang dilepas ke atmosfer. Keunggulan dari pembangkit listrik siklus biner ialah dapat dioperasikan pada suhu rendah yaitu 90-175°C (ESDM, 2010).

3.2.4 Teknologi Enhanced Geothermal Systems (EGS)

EGS adalah teknologi yang memungkinkan pemanfaatan energi panas bumi di lokasi yang tidak memiliki sumber air panas alami. Teknologi ini melibatkan pengeboran ke dalam batuan panas, kemudian menciptakan atau memperluas retakan melalui injeksi air bertekanan tinggi. Air yang disirkulasikan melalui retakan ini menyerap panas dari batuan dan kembali ke permukaan untuk menghasilkan listrik.

Teknologi Enhanced Geothermal Systems (EGS) adalah salah satu terobosan signifikan yang memungkinkan eksplorasi di lokasi dengan suhu tinggi namun akses panas bumi yang terbatas. Berdasarkan laporan DOE tahun 2023, EGS berhasil menurunkan biaya pengeboran hingga 30%, sehingga memungkinkan penghematan hingga ratusan juta dolar per proyek besar. Sebuah studi oleh MIT (2022) menemukan bahwa penerapan EGS dapat memperluas potensi panas bumi hingga tiga kali lipat, terutama di lokasi dengan temperatur rendah hingga sedang.

3.3 Pengembangan Energi Panas Bumi Secara Global

Pengembangan energi panas bumi secara global terus menunjukkan pertumbuhan positif. Perkembangan teknologi, seperti penggunaan teknik pengeboran horizontal dan fraktur hidrolik dari industri migas, membuka potensi besar untuk ekspansi panas bumi. Reuters melaporkan bahwa pendekatan ini memungkinkan energi panas bumi dikembangkan hampir di semua wilayah, tidak hanya di area vulkanik (Reuters, 2024). Menurut International Energy Agency (IEA), dengan investasi global sebesar \$2,8 triliun hingga 2050, panas bumi dapat memenuhi 15% pertumbuhan permintaan listrik dunia (Economic Times Energy, 2024).

Seperti yang telah dilakukan PT Pertamina Geothermal Energy (PGE), yang mana telah menandatangani Nota Kesepahaman (MoU) dengan Ecolab, perusahaan asal Amerika Serikat (AS) untuk mengembangkan lebih lanjut, memproduksi, dan mendistribusikan Flow2Max ke pasar global, sehingga memberikan manfaat yang lebih luas bagi industri geothermal dunia. Flow2Max merupakan alat ukur aliran dua fasa pertama di dunia yang mampu memberikan hasil pengukuran yang lebih andal, mudah, real-time, akurat, fleksibel, dan dapat diandalkan dibandingkan teknologi yang ada saat ini dan merupakan sebuah terobosan dalam pengukuran aliran fluida dua fasa untuk sektor panas bumi sehingga meningkatkan efisiensi pembangkit panas bumi, sebagai bagian dari komitmen inovasi berkelanjutan di seluruh dunia.

Meskipun potensinya besar, pengembangan energi panas bumi masih menghadapi tantangan regulasi dan investasi. Hanya sekitar 30 negara yang memiliki kebijakan khusus untuk mendorong panas bumi, dibandingkan lebih dari 100 negara untuk energi angin dan surya (Invezz, 2024). Di sisi lain, keterlibatan industri minyak dan gas dalam panas bumi dinilai strategis karena sekitar 80% keterampilan dan teknologi dari industri ini dapat diaplikasikan langsung dalam proyek panas bumi, mempercepat transisi energi bersih (Economic Times Energy, 2024). Pengembangan energi panas bumi kini semakin mengandalkan teknologi canggih untuk mengatasi tantangan biaya eksplorasi dan efisiensi, sekaligus memperluas potensi sumber daya yang dapat dimanfaatkan secara ramah lingkungan dan berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Energi panas bumi merupakan salah satu solusi energi berkelanjutan yang sangat potensial karena ketersediaannya yang melimpah, emisi karbon yang rendah, dan kemampuannya menyediakan listrik secara kontinu. Potensi energi ini tersebar luas di negara-negara dengan aktivitas vulkanik tinggi seperti Indonesia, Amerika Serikat, Filipina, Turki, dan Selandia Baru.

Teknologi pemanfaatannya meliputi pembangkit listrik dry steam, flash steam, binary cycle, hingga Enhanced Geothermal Systems (EGS), yang semakin berkembang untuk mengeksplorasi sumber energi di wilayah dengan karakteristik berbeda.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, pengembangan energi panas bumi menghadapi tantangan berupa biaya eksplorasi tinggi, risiko geologi, keterbatasan infrastruktur, serta hambatan regulasi. Sehingga pengembangan energi panas bumi kini semakin mengandalkan teknologi canggih untuk mengatasi tantangan biaya eksplorasi dan efisiensi, sekaligus memperluas potensi sumber daya yang dapat dimanfaatkan secara ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dukungan dari sisi kebijakan, inovasi teknologi, dan investasi berkelanjutan sangat diperlukan untuk mempercepat adopsi energi panas bumi sebagai bagian penting dari transisi energi global menuju sumber energi yang bersih dan stabil.

Daftar Pustaka

- Bianchi, M. (2023). *Geothermal regulation: Challenges and opportunities*. ThinkGeoEnergy. <https://www.thinkgeoenergy.com>
- DiPippo, R. (2012). *Geothermal power plants: Principles, applications, case studies and environmental impact* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann, Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/geothermal-power-plants/dipippo/978-0-08-098206-9>
- Economic Times Energy. (2024). *Global investments in geothermal energy to reach \$2.8 trillion by 2050*. Economic Times India. <https://energy.economictimes.indiatimes.com>
- Energy Development Corporation. (2023). *Philippines geothermal energy projects*. <https://www.energy.com.ph>
- Financial Times. (2023). *Fracking and its application to geothermal energy*. Financial Times. <https://www.ft.com>
- Granholm, J. (2022). *Department of Energy initiatives on renewable energy*. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov>
- Invezz. (2024). *Geothermal energy policy and market outlook 2024*. <https://invezz.com>
- International Energy Agency. (2023). *Geothermal energy: A sustainable and reliable source of energy*. <https://www.iea.org/reports/geothermal-energy>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). *Potensi energi panas bumi di Indonesia*. <https://www.esdm.go.id>
- Kolker, A., et al. (2023). *The role of geothermal resources in the energy transition*. U.S. Geological Survey.
- Massachusetts Institute of Technology. (2022). *Future of geothermal energy report*. <https://mitei.mit.edu/reports/the-future-of-geothermal-energy/>
- McLennan, J. (2021). *Challenges in geothermal exploration: A review* [Dokumen internal].
- Muffler, L. J. P., & Cataldi, R. (1978). *Methods for regional assessment of geothermal resources* (Geological Survey Professional Paper 1044-G). U.S. Geological Survey. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1044G>
- National Energy Authority of Iceland. (2020). *Overview of geothermal energy use in Iceland*. <https://nea.is>
- Orkustofnun. (2022). *Geothermal utilization in Iceland*. National Energy Authority of Iceland. <https://nea.is/geothermal/>
- Reuters. (2024). *Hydraulic fracturing: A new era for geothermal energy*. Reuters Energy News. <https://www.reuters.com/business/energy/>
- Richter, A. (2023). *ThinkGeoEnergy: Geothermal energy news and market intelligence*. <https://www.thinkgeoenergy.com>
- Statista Research Department. (2021). *Geothermal power capacity in the Philippines (2011–2021)*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/871223/philippines-geothermal-capacity/>

- Tester, J. W., et al. (2006). *The future of geothermal energy: Impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st century*. MIT Energy Initiative. <https://mitei.mit.edu/reports/the-future-of-geothermal-energy/>
- Tester, J. W., et al. (2022). *Geothermal energy journal*. SpringerOpen. <https://geothermal-energy-journal.springeropen.com/>
- ThinkGeoEnergy. (2023). *Global geothermal energy data and market insights*. <https://www.thinkgeoenergy.com>
- U.S. Department of Energy. (2022). *Geothermal energy in the United States*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. <https://www.energy.gov/eere/geothermal/geothermal-energy-united-states>
- U.S. Department of Energy. (2023). *Enhanced geothermal systems (EGS) overview*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. <https://www.energy.gov/eere/geothermal/enhanced-geothermal-systems-egs>