

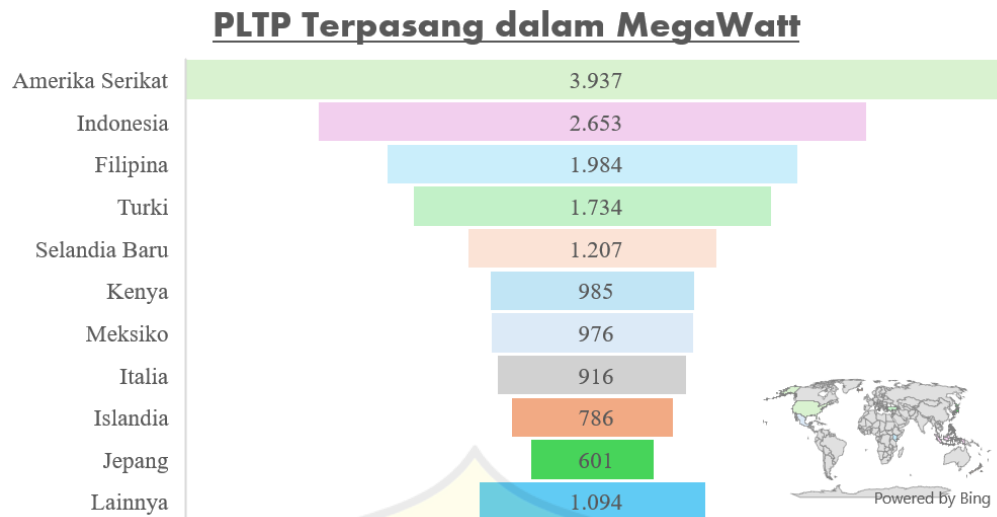
# BAB 1

## Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, air, dan geothermal, menjadi kunci utama dalam mewujudkan keberlanjutan energi di masa depan. Sumber-sumber energi ini melimpah dan dapat diperbarui secara alami, menjadikannya pilihan yang sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi global yang terus berkembang [1]. Dalam beberapa periode terakhir, riset mengenai pemanfaatan energi geothermal berikut peningkatan efisiensi sistem geothermal semakin berkembang sebagai strategi yang efektif untuk menghadapi tantangan energi global, terutama dalam konteks upaya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [2].

Geothermal memiliki keunggulan sebagai sumber energi *baseload* yang dapat diandalkan sepanjang waktu, berbeda dengan sumber energi terbarukan lainnya seperti tenaga surya dan angin yang sifatnya *intermittent* [3]. Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi geothermal terbesar di dunia, dengan kapasitas terpasang lebih dari 2,65 GW sebagaimana terlihat pada Gambar 1 yang dapat mendukung pemenuhan kebutuhan energi domestik serta berkontribusi pada target *net-zero emissions* pada tahun 2060. Namun, pengembangan geothermal di Indonesia tidak lepas dari berbagai tantangan teknis dan finansial, termasuk hal efisiensi sistem pembangkitan listrik.



**Gambar 1** Kapasitas terpasang PLTP di dunia [4]

Lempengan tektonik dan vulkanik Indonesia menjadikannya sebagai negara dengan potensi geothermal terbesar di dunia, yang diperkirakan mencapai 23.357 MW. Potensi ini tersebar di 356 lokasi pada tujuh pulau utama, yaitu Jawa, Bali, Sumatra, Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku, Papua, dan Kalimantan. Pulau Sumatra memiliki potensi terbesar, yakni 9,5 GW atau sekitar 40,5% dari total cadangan panas bumi nasional. Jawa menempati posisi kedua dengan 7,9 GW, diikuti oleh Sulawesi dengan 3,0 GW. Sementara itu, potensi di wilayah lainnya mencakup Bali-Nusa Tenggara (1,6 GW), Maluku (1,1 GW), Papua (75 MW), dan Kalimantan (175 MW) [5].

Parameter utama dari PLTP di Indonesia pada periode 2021 – 2023 dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

**Tabel 1** Parameter PLTP di Indonesia

Lapangan Geothermal yang beroperasi	18
Sumur Produksi	520
Produksi ( <i>Generation</i> ) in GWh	16,588
<i>Capacity Factor</i> (%)	79,4
Rata-rata produksi per sumur (MWh)	3,63

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) mengonversi energi panas yang terdapat dalam fluida geothermal menjadi energi listrik. Fluida geothermal yang

diekstraksi dari *reservoir* berupa uap atau cairan dengan suhu tinggi digunakan untuk memutar turbin, yang kemudian menghasilkan listrik. Setelah proses ini, fluida harus didinginkan di kondensor untuk mengubahnya menjadi kondensat, yang kemudian dikembalikan ke dalam *reservoir* [6]. Namun, meskipun proses pendinginan ini telah mengurangi sebagian besar panas, masih ada panas yang berpotensi untuk dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi. Misalnya, panas tersebut di negara yang memiliki musim dingin dapat digunakan untuk pemanasan ruangan, dalam sektor pertanian dapat digunakan untuk pengeringan produk pertanian seperti biji kopi dan cabai, serta mendukung berbagai proses industri yang membutuhkan energi pada suhu rendah hingga menengah. Dengan memanfaatkan panas buang tersebut, tidak hanya efisiensi energi dapat ditingkatkan, tetapi juga dapat memberikan dampak ekonomi positif bagi masyarakat sekitar, terutama dalam pengembangan usaha berbasis geothermal seperti sektor agrikultur [7], [8].

Tren terkini dalam pemanfaatan panas buang mencakup berbagai inovasi teknologi yang semakin meningkatkan efisiensi dalam prosesnya. Sebagai contoh, sistem *Organic Rankine Cycle (ORC)* yang mampu meningkatkan hasil produksi listrik sebuah PLTP. Teknologi ORC, baik yang sederhana maupun rekuperatif, kini banyak digunakan untuk mengubah panas bersuhu rendah menjadi listrik dengan peningkatan efisiensi yang signifikan [9].

Teknologi *Thermoelectric Generators (TEG)* juga menawarkan solusi berkelanjutan dalam mengonversi panas buang langsung menjadi listrik, memberi peluang baru untuk aplikasi industri yang lebih ramah lingkungan. Lebih lanjut, pemulihan panas buang dengan pendekatan multi-tahap, baik secara paralel maupun seri, juga membuka peluang besar untuk menghasilkan berbagai produk seperti listrik, pendinginan, air tawar, dan hidrogen dengan efisiensi yang lebih tinggi [10][11].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren dan perkembangan terkini dalam pemanfaatan panas buang dari PLTP. Pendekatan analisis bibliometrik dan tinjauan pustaka sistematis digunakan untuk mengevaluasi dan menyajikan pemahaman komprehensif mengenai inovasi teknologi, tantangan, dan peluang dalam optimalisasi pemanfaatan panas buang untuk mendukung keberlanjutan energi

global. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh wawasan yang berguna bagi pengembangan kebijakan energi dan pemanfaatan penuh energi geothermal secara lebih efisien dan ramah lingkungan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Fluida geothermal yang akan direinjeksi masih memiliki temperatur yang yang dapat dimanfaatkan namun belum banyak diaplikasikan. Panas buang tersebut berpotensi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi tambahan sebagaimana disebutkan sebelumnya. Namun, pemanfaatan panas buang ini memerlukan teknologi yang sesuai dan efektif agar layak secara teknis dan ekonomi. Selain itu, masih terdapat keterbatasan literatur yang mendokumentasikan implementasi teknologi pemanfaatan panas buang PLTP serta tren dan pola penelitian terkait dalam beberapa tahun terakhir.

Oleh karena itu, beberapa pertanyaan kunci muncul dalam penelitian ini:

- Bagaimana tren penelitian panas buang geothermal berkembang dari waktu ke waktu berdasarkan analisis bibliometrik?
- Apa saja tema utama yang mendominasi penelitian terkait, dan bagaimana relevansi serta kontribusinya terhadap efisiensi energi?
- Jenis teknologi yang digunakan saat ini dalam optimalisasi panas buang geothermal untuk membangkitkan listrik dan bagaimana perkembangan kedepannya?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis tren perkembangan penelitian panas buang geothermal selama lima dekade terakhir menggunakan pendekatan bibliometrik.
2. Mengidentifikasi tema-tema utama dan kontribusi disiplin ilmu dalam pengembangan teknologi panas buang geothermal.
3. Memberikan panduan berbasis data untuk meningkatkan efisiensi teknologi mendatang dalam pemanfaatan panas buang geothermal.

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dataset dari Scopus, salah satu basis data literatur ilmiah yang bereputasi tinggi, untuk memastikan kualitas data yang digunakan, Ruang lingkup analisis meliputi:

- Data mencakup publikasi yang diterbitkan selama periode tertentu untuk menangkap evolusi historis dan perkembangan terkini dalam penelitian panas buang geothermal.
- Hanya dokumen terpilih seperti artikel jurnal dan prosiding konferensi yang disertakan dalam analisis untuk menjaga relevansi dan kualitas hasil.
- Pendekatan analisis bibliometrik menggunakan perangkat lunak VOSviewer dan macro-excel BiblioMagika by Aidi Ahmi untuk mengidentifikasi tren publikasi, jaringan kolaborasi antarpengarang, dan distribusi bidang penelitian. Sedangkan tinjauan pustaka sistematis untuk mengelaborasi hasil bibliometrik dengan ulasan mendalam mengenai teknologi dan pendekatan yang sering digunakan seperti sistem ORC.

## 1.5 Hipotesis

- **Hipotesis 1:** Teknologi pemanfaatan panas buang yang tepat dapat memberikan kontribusi signifikan pada penghematan energi dan pengurangan emisi.
- **Hipotesis 2:** Tren penelitian terkait pemanfaatan panas buang di PLTP menunjukkan peningkatan fokus pada inovasi teknologi yang lebih efektif dan efisien, serta peningkatan kesadaran akan pentingnya pemanfaatan panas buang dalam konteks energi berkelanjutan.

## 1.6 Batasan Penelitian

- Panas buang geothermal adalah energi panas yang tersisa dari proses konversi energi utama di PLTP. Panas buang ini dapat berupa fase cair (brine dan/atau kondensat) maupun fase uap.
- Pemanfaatan panas buang yang dibahas dalam penelitian ini terbatas hanya untuk menghasilkan energi listrik.