

BAB 5

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren perkembangan riset panas buang geothermal, mengidentifikasi tema-tema utama serta kontribusi disiplin ilmu dalam pengembangan teknologinya, dan memberikan panduan berbasis data untuk peningkatan efisiensi sistem di masa depan. Pendekatan bibliometrik yang digunakan berhasil mengungkap bahwa penelitian mengenai pemanfaatan panas buang dari sistem panas bumi, khususnya melalui teknologi Organic Rankine Cycle (ORC), mengalami peningkatan pesat sejak awal tahun 2000-an. Kenaikan jumlah publikasi, yang sebagian besar berasal dari bidang ilmu energi dan teknik, mencerminkan meningkatnya urgensi terhadap pengembangan energi terbarukan dan pemanfaatan sumber daya panas bumi secara lebih efisien.

Analisis menunjukkan bahwa publikasi ilmiah pada topik ini tidak hanya tumbuh secara kuantitatif, tetapi juga mengalami perluasan secara tematik dan geografis. Negara-negara seperti Tiongkok, Amerika Serikat, dan Jerman mendominasi dalam hal jumlah publikasi dan kolaborasi internasional. Indeks bibliometrik yang tinggi, termasuk h-index 76 dan total sitasi lebih dari 25.000, menandakan besarnya dampak riset-riset sebelumnya. Meski demikian, terlihat adanya tren penurunan sitasi sejak tahun 2018, yang menunjukkan kebutuhan akan pendekatan baru dan inovasi teknologi agar bidang ini tetap relevan dan berkembang.

Melalui tinjauan pustaka sistematis, penelitian ini berhasil mengidentifikasi tema utama dalam teknologi ORC, terutama berkaitan dengan pemilihan fluida kerja, desain siklus termal, dan strategi peningkatan efisiensi sistem. Beragam jenis fluida, termasuk fluida wet seperti amonia, fluida dry seperti isopentana dan toluena, serta campuran fluida, telah diuji dan menunjukkan performa yang berbeda tergantung pada parameter operasi dan konfigurasi sistem. Beberapa pendekatan modifikasi seperti penambahan Internal Heat Exchanger (IHE), penggunaan ejector, dan

integrasi dengan sistem lain seperti Brayton cycle terbukti mampu meningkatkan efisiensi termal dan eksergi secara signifikan. Penggunaan teknik optimasi seperti NSGA-II, simulasi transien, dan pendekatan numerik lainnya juga memperkaya wawasan dalam desain dan analisis sistem ORC.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam menyusun peta perkembangan riset pemanfaatan panas buang geothermal dan arah strategis untuk pengembangan teknologi ke depan. Pendekatan bibliometrik yang dipadukan dengan tinjauan sistematis menghasilkan panduan berbasis data yang dapat dimanfaatkan oleh peneliti, insinyur, dan pembuat kebijakan. Dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan keberlanjutan, pemanfaatan panas buang geothermal dapat dioptimalkan melalui desain sistem yang tepat, pemilihan fluida kerja yang sesuai, serta kolaborasi lintas disiplin dan negara. Temuan ini menegaskan pentingnya inovasi dan adaptasi teknologi untuk menjawab tantangan energi masa depan yang lebih bersih dan efisien.

Saran

Penelitian lanjutan perlu menitikberatkan pada pengembangan fluida kerja generasi baru yang memiliki Global Warming Potential (GWP) rendah dan Ozone Depletion Potential (ODP) nol, seperti R1234yf dan R1233zd(E), serta melakukan validasi melalui eksperimen skala pilot. Selain itu, penerapan model simulasi multi-fisika yang terintegrasi dengan algoritma kecerdasan buatan (machine learning) akan memperkuat optimasi dinamis parameter siklus ORC dan prediksi performa sistem dalam kondisi transien. Integrasi ORC dengan teknologi lain—seperti sistem desalinasi, produksi hidrogen, atau hybrid geothermal-surya—perlu dieksplorasi untuk memperluas aplikasi energi terbarukan.

Dukungan kolaborasi internasional antara institusi riset dengan infrastruktur laboratorium yang memadai sangat penting untuk memperkuat dampak ilmiah dan aplikasi teknologi secara global maupun lokal. Pemerintah dan industri disarankan untuk menetapkan kebijakan insentif, seperti subsidi, kemudahan perizinan, dan program pilot nasional, guna mendorong adopsi teknologi ORC di lapangan. Terakhir, peningkatan kapasitas sumber daya manusia melalui pelatihan dan