

PROGRAM GEO CIRCLE: PEMANFAATAN ENERGI PANAS BUMI UNTUK EKONOMI SIRKULAR

Edy Sudarmadi¹, Ryan Dwi Gustriandha², Rezal Luthfan³, Tuti Rokmawati⁴, Nurul Hidayatun Nazah⁵
^{1,2,3,4,5} PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Ulubelu, Indonesia

Email Correspondence: tutiokmawati2023@gmail.com

ABSTRAK:

Transisi energi mendorong perusahaan untuk mengembangkan praktik *Environmental, Social, and Governance* (ESG) yang tidak hanya berorientasi pada kepatuhan, tetapi juga pada penciptaan nilai bersama. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak Program Geo Circle (*Geothermal Energy and Filler for Circular Economy*) yang dikembangkan PT Pertamina Geothermal Energy dalam mendukung penerapan ekonomi sirkular berbasis energi panas bumi. Program ini memanfaatkan energi panas bumi dan residu operasional pembangkit sebagai sumber daya untuk mendukung sistem pertanian adaptif dan pemberdayaan masyarakat di wilayah operasional. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif melalui analisis implementasi program yang didukung oleh data lingkungan, sosial, dan kelembagaan, termasuk kajian *Life Cycle Assessment* (LCA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Program Geo Circle mampu mengurangi beban lingkungan melalui pemanfaatan kembali residu operasional, meningkatkan produktivitas pertanian, memperkuat kapasitas ekonomi masyarakat, serta mendorong kolaborasi multipihak yang mendukung keberlanjutan program. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi inovasi teknologi, ekonomi sirkular, dan pemberdayaan masyarakat dapat memperkuat implementasi ESG sekaligus mendukung transisi energi yang inklusif dan berkelanjutan. Program Geo Circle berpotensi menjadi model replikasi bagi pengembangan masyarakat di wilayah pemanfaatan energi terbarukan.

Kata Kunci: Ekonomi Sirkular, Energi Panas Bumi, ESG, Pemberdayaan Masyarakat, Transisi Energi

ABSTRACT:

The energy transition has encouraged companies to adopt *Environmental, Social, and Governance* (ESG) practices that extend beyond regulatory compliance toward the creation of shared value. This study aims to analyze the impact of the Geo Circle (*Geothermal Energy and Filler for Circular Economy*) Program, developed by PT Pertamina Geothermal Energy, in supporting the implementation of a circular economy through the utilization of geothermal resources. The program harnesses geothermal energy and operational by-products from geothermal power generation as valuable resources to support climate-adaptive agriculture and community empowerment within the company's operational area. This study employed a qualitative descriptive approach by analyzing program implementation using environmental, social, and institutional data, complemented by a *Life Cycle Assessment* (LCA). The findings indicate that the Geo Circle Program has reduced environmental impacts through the reuse of operational residues, enhanced agricultural productivity, strengthened local economic capacity, and fostered multi-stakeholder collaboration to ensure program sustainability. These results demonstrate that integrating technological innovation, circular economy principles, and community empowerment can strengthen ESG implementation while supporting an inclusive and sustainable energy transition. The Geo Circle Program also offers a replicable model for community development initiatives in other regions that use renewable energy.

Keywords: Circular Economy, Geothermal Energi, ESG, Community Empowerment, Energy Transition

Article Info

Received	:	02 June 2026
Accepted	:	24 July 2026
Published	:	31 July 2026
DOI	:	https://doi.org/10.30872/psd.v7i2.206

Copyright and License

Authors retain copyright and grant the journal right of first publication with the work simultaneously licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#) that allows others to share the work with an acknowledgment of the work's authorship and initial publication in this journal.



1. PENDAHULUAN

Penerapan ekonomi sirkular, transisi energi, dan *Environmental, Social, and Governance* (ESG) telah menjadi fokus berbagai penelitian dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Berbagai studi telah mengkaji penerapan ekonomi sirkular pada sektor energi melalui pengelolaan limbah industri, peningkatan efisiensi sumber daya, serta pemanfaatan energi terbarukan untuk mengurangi dampak lingkungan. Penelitian lain juga membahas pemanfaatan energi panas bumi sebagai sumber energi bersih, baik untuk pembangkitan listrik maupun pemanfaatan langsung (*direct use*) pada sektor pertanian. Sementara itu, implementasi ESG banyak dianalisis dalam kaitannya dengan tata kelola perusahaan, penciptaan nilai keberlanjutan, dan pengelolaan risiko lingkungan serta sosial.

Transisi energi merupakan proses perubahan sistem energi dari ketergantungan terhadap sumber energi berbasis fosil menuju sistem energi yang lebih rendah karbon, efisien, dan berbasis energi terbarukan. Proses ini tidak hanya berkaitan dengan perubahan teknologi pembangkitan energi, tetapi juga mencakup perubahan sosial, ekonomi, kelembagaan, dan pola pemanfaatan energi sehingga manfaat transisi dapat dirasakan secara lebih luas. Geels et al. (2017) menekankan bahwa transisi menuju sistem energi rendah karbon merupakan proses multidimensional yang melibatkan interaksi antara inovasi teknologi, kebijakan, industri, pasar, dan masyarakat. Dalam konteks tersebut, energi panas bumi memiliki posisi strategis karena dapat dimanfaatkan tidak hanya untuk pembangkitan listrik, tetapi juga secara langsung (*direct use*) untuk memenuhi kebutuhan panas pada berbagai aktivitas produktif.

Sejalan dengan ekonomi sirkular dan transisi energi, pendekatan *Environmental, Social, and Governance* (ESG) semakin digunakan untuk menilai bagaimana aktivitas perusahaan mengintegrasikan dimensi lingkungan, sosial, dan tata kelola dalam proses bisnis dan pengambilan keputusan. Dimensi *environmental* berkaitan dengan pengelolaan dampak lingkungan, efisiensi sumber daya, pengurangan emisi, serta pengelolaan limbah; dimensi *social* mencakup hubungan dengan masyarakat, pemberdayaan, kesejahteraan, dan pengelolaan dampak sosial; sedangkan dimensi *governance* berkaitan dengan tata kelola, transparansi, akuntabilitas, serta pengelolaan risiko. Friede et al. (2015), melalui analisis terhadap lebih dari 2.000 studi empiris, menunjukkan bahwa penerapan aspek ESG memiliki keterkaitan dengan kinerja perusahaan dan mendukung argumentasi bahwa keberlanjutan dapat terintegrasi dengan penciptaan nilai perusahaan. Dalam konteks industri energi, implementasi ESG menjadi semakin penting karena perusahaan tidak hanya dituntut menghasilkan energi rendah karbon, tetapi juga memastikan bahwa pengelolaan sumber daya dan kegiatan operasional memberikan manfaat lingkungan dan sosial serta dilaksanakan melalui tata kelola yang bertanggung jawab.

Namun demikian, kajian mengenai pemanfaatan panas bumi masih cenderung berkembang dalam fokus yang berbeda-beda antara aspek teknis, lingkungan, dan sosial. Sejumlah penelitian menitikberatkan pada aspek teknis dan lingkungan, seperti efisiensi pemanfaatan sumber daya panas bumi, pengelolaan dampak lingkungan, serta pengembangan teknologi untuk meningkatkan keberlanjutan pemanfaatan energi panas bumi. Sementara itu, kajian dari perspektif sosial lebih banyak membahas penerimaan masyarakat, keterlibatan pemangku kepentingan, dan manfaat sosial ekonomi dari pengembangan panas bumi. Sebagai contoh, Anggreta et al. (2022) mengkaji penerimaan sosial dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi di Sumatera Barat dan menunjukkan pentingnya persepsi serta keterlibatan berbagai pemangku kepentingan dalam pengembangan panas bumi. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa keterlibatan masyarakat dan pemahaman terhadap manfaat sosial ekonomi maupun lingkungan merupakan faktor penting dalam membangun penerimaan masyarakat terhadap proyek panas bumi (Komori et al., 2024).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berangkat dari permasalahan mengenai bagaimana pemanfaatan energi panas bumi dan residu operasional pembangkit dapat diintegrasikan untuk mendukung penerapan ekonomi sirkular sekaligus meningkatkan ketahanan pangan, pemberdayaan masyarakat, dan implementasi ESG di wilayah operasional perusahaan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis implementasi dan dampak Program Geo Circle (*Geothermal Energy and Filler for Circular Economy*) sebagai model inovasi sosial berbasis energi panas bumi yang mengintegrasikan inovasi teknologi, ekonomi sirkular, dan pemberdayaan masyarakat dalam mendukung transisi energi yang inklusif dan berkelanjutan. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis yang menghubungkan pemanfaatan energi panas bumi dan residu operasional pembangkit sebagai bagian dari model ekonomi sirkular yang tidak hanya menghasilkan manfaat lingkungan, tetapi juga memperkuat kapasitas kelembagaan masyarakat serta menciptakan nilai sosial dan ekonomi secara berkelanjutan.

2. METODE

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi kasus pada Program Geo Circle (*Geothermal Energy and Filler for Circular Economy*) yang diimplementasikan oleh PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Ulubelu, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Pendekatan studi kasus dipilih karena mampu memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai implementasi program, integrasi pemanfaatan energi panas bumi dan residu operasional pembangkit dalam mendukung ekonomi sirkular, serta dampaknya terhadap aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi masyarakat di wilayah operasional perusahaan.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah Ring 1 operasional PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Ulubelu yang menjadi lokasi implementasi Program Geo Circle. Berdasarkan dokumen pemetaan sosial (*social mapping*) perusahaan, wilayah Ring 1 mencakup delapan pekon/desa yang secara administratif berada di Kecamatan Ulubelu, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Kedelapan pekon tersebut meliputi Datarajan, Air Abang, Gunung Tiga, Karang Rejo, Pagar Alam, Muara Dua, Ngarip, dan Suka Maju. Semua pekon tersebut merupakan wilayah yang menjadi sasaran dan penerima manfaat berbagai kegiatan pemberdayaan masyarakat dalam Program Geo Circle.

Pengumpulan data dilakukan selama periode pelaksanaan program yaitu mulai tahun 2024 sampai tahun 2025 melalui observasi lapangan, dokumentasi program, serta pengumpulan data dari berbagai pemangku kepentingan yang terlibat dalam pelaksanaan program. Pemilihan wilayah penelitian didasarkan pada keterkaitannya dengan wilayah operasional perusahaan serta keberadaan kelompok masyarakat penerima manfaat yang terlibat dalam implementasi Program Geo Circle, khususnya pada kegiatan pemanfaatan residu operasional, pemanfaatan energi panas bumi secara langsung, dan pengembangan kegiatan produktif berbasis pemberdayaan masyarakat.

2.3 Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara mendalam (*in-depth interview*) terhadap 36 informan yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Informan merupakan pihak-pihak yang memiliki keterlibatan dan pengetahuan langsung terhadap implementasi Program Geo Circle, meliputi pengelola Program CSR PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Ulubelu, pengurus dan anggota Kelompok Usaha Perhutanan Sosial (KUPS) Margo Rukun Bestari sebagai penerima manfaat program, pemerintah pekon, serta mitra pendamping program. Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai proses pelaksanaan program, pemanfaatan energi panas bumi dan residu operasional, manfaat yang dirasakan masyarakat, serta perubahan sosial, ekonomi, dan lingkungan yang dihasilkan dari pelaksanaan program.

Sementara itu, data sekunder diperoleh melalui studi dokumentasi yang mencakup dokumen perusahaan, laporan keberlanjutan, dokumen Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER), hasil *Life Cycle Assessment* (LCA), serta laporan monitoring dan evaluasi program. Data sekunder digunakan untuk melengkapi dan memverifikasi informasi yang diperoleh dari hasil observasi dan wawancara, khususnya terkait capaian dan dampak Program Geo Circle.

2.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif menggunakan model analisis interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña yang meliputi tahapan kondensasi data (*data condensation*), penyajian data (*data display*), serta penarikan dan verifikasi kesimpulan (*conclusion drawing and verification*) (Miles et al., 2014). Analisis difokuskan pada identifikasi proses implementasi Program Geo Circle, pemanfaatan energi panas bumi dan residu operasional pembangkit dalam mendukung ekonomi sirkular, perubahan kondisi sosial-ekonomi masyarakat, serta kontribusi program terhadap implementasi ESG dan transisi energi berkelanjutan.

2.5 Keabsahan Data

Keabsahan data dijaga melalui teknik triangulasi sumber dan triangulasi metode. Triangulasi sumber dilakukan dengan membandingkan informasi yang diperoleh dari berbagai informan dan dokumen pendukung,

sedangkan triangulasi metode dilakukan melalui perbandingan hasil observasi, wawancara, dan studi dokumentasi. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kredibilitas dan validitas hasil penelitian sehingga interpretasi yang dihasilkan mencerminkan kondisi implementasi Program Geo Circle secara objektif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Program Geo Circle mampu mengintegrasikan pemanfaatan residu operasional pembangkit panas bumi dan energi panas sisa (*hot brine water*) ke dalam sistem ekonomi sirkular berbasis pemberdayaan masyarakat. Integrasi tersebut menghasilkan manfaat yang tidak hanya berkaitan dengan pengurangan dampak lingkungan, tetapi juga mendukung kegiatan produktif masyarakat, ketahanan pangan, dan penguatan kapasitas kelompok penerima manfaat. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penerapan ekonomi sirkular dalam sektor energi dapat dikembangkan melalui keterhubungan antara pengelolaan residu, optimalisasi energi, dan pemberdayaan masyarakat.

3.1. Pemanfaatan Residu Material

Salah satu bentuk implementasi ekonomi sirkular dalam Program Geo Circle adalah pemanfaatan kembali *filler cooling tower* yang merupakan residu material dari kegiatan operasional pembangkit panas bumi. Sebelum program dilaksanakan, material yang telah melewati masa penggunaannya dalam sistem *cooling tower* memiliki keterbatasan fungsi dalam kegiatan utama pembangkitan. Melalui Program Geo Circle, material tersebut dimanfaatkan kembali sebagai material pendukung infrastruktur produktif masyarakat, antara lain sebagai dinding kolam budidaya ikan, rumah pembibitan, pembatas lahan hortikultura, serta material pendukung rumah produksi pupuk organik.

Pemanfaatan tersebut menunjukkan adanya perubahan pendekatan dari pengelolaan residu yang berorientasi pada akhir masa pakai menjadi pemanfaatan kembali material untuk memperpanjang nilai gunanya. Pendekatan ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular yang dikemukakan Kirchherr et al. (2017), yaitu mempertahankan nilai produk, material, dan sumber daya selama mungkin melalui strategi pengurangan, penggunaan kembali, daur ulang, dan pemulihan. Dalam konteks industri, pendekatan serupa juga terlihat pada penelitian Garrido Arias et al. (2021) yang menunjukkan bahwa aliran residu dari suatu proses industri dapat dikembalikan sebagai sumber daya bagi proses lainnya sehingga mengurangi penggunaan sumber daya baru dan mendukung implementasi ekonomi sirkular.

Pemanfaatan kembali *filler cooling tower* dalam Program Geo Circle juga mempertimbangkan kondisi sosial dan ekologis wilayah. Kondisi topografi Ulubelu yang didominasi lahan miring menyebabkan sebagian kegiatan pertanian menghadapi keterbatasan dalam penyediaan infrastruktur produktif. Penggunaan material tersebut sebagai bagian dari sarana budidaya ikan, pembibitan, hortikultura, dan produksi pupuk menunjukkan bahwa residu industri dapat memperoleh fungsi baru ketika inovasi dirancang berdasarkan kebutuhan lokal. Dengan demikian, inovasi tidak hanya menghasilkan manfaat dari sisi pengurangan material residu, tetapi juga menciptakan nilai guna baru yang dapat mendukung kegiatan ekonomi masyarakat.

Manfaat lingkungan dari pendekatan tersebut juga ditunjukkan melalui hasil *Life Cycle Assessment* (LCA). Pemanfaatan kembali sebanyak 520 lembar *filler cooling tower* mampu mengurangi timbunan material yang memerlukan pengelolaan lebih lanjut serta menurunkan nilai *Global Warming Potential* (GWP) dibandingkan kondisi sebelum implementasi program. Penggunaan LCA dalam program ini memungkinkan dampak lingkungan dari suatu inovasi dinilai berdasarkan siklus hidupnya dan menjadi dasar dalam menentukan alternatif pemanfaatan sumber daya yang lebih berkelanjutan. Temuan tersebut sejalan dengan Finnveden et al. (2009), yang menjelaskan bahwa LCA dapat digunakan sebagai instrumen untuk mengevaluasi dampak lingkungan sekaligus mendukung pengambilan keputusan menuju sistem produksi dan konsumsi yang lebih berkelanjutan.

Dengan demikian, pemanfaatan *filler cooling tower* dalam Geo Circle tidak hanya merepresentasikan praktik penggunaan kembali material, tetapi juga menunjukkan penerapan prinsip ekonomi sirkular melalui transformasi residu operasional menjadi sumber daya produktif yang memiliki manfaat lingkungan, sosial, dan ekonomi.

3.2. Optimalisasi Penggunaan Energi Sisa

Selain pemanfaatan residu material, Program Geo Circle juga mengoptimalkan energi panas dari *hot brine water* melalui pemanfaatan langsung energi panas bumi (*geothermal direct use*) pada kegiatan pertanian. Energi panas tersebut dimanfaatkan melalui sistem pengaturan suhu pada *greenhouse* untuk menciptakan kondisi lingkungan yang lebih sesuai bagi budidaya melon di wilayah dataran tinggi Ulubelu. Inovasi tersebut

memungkinkan energi panas bumi memberikan manfaat tambahan di luar fungsi utamanya dalam proses pembangkitan listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi tersebut menghasilkan produksi melon sebesar 6.800 kg dan berkontribusi terhadap reduksi emisi sebesar 2,32 ton CO₂e. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan energi panas bumi secara langsung dapat meningkatkan produktivitas kegiatan pertanian sekaligus meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber energi yang tersedia. Hasil tersebut sejalan dengan Lund dan Toth (2021), yang menunjukkan bahwa pemanfaatan langsung energi panas bumi telah berkembang dalam berbagai aplikasi, termasuk pemanasan *greenhouse*, akuakultur, pengeringan produk pertanian, pemanasan ruang, dan berbagai proses produktif lainnya.

Dalam perspektif transisi energi, temuan tersebut memperlihatkan bahwa manfaat energi terbarukan tidak harus berhenti pada produksi listrik rendah karbon. Energi panas yang tersedia dapat dikembangkan menjadi sumber energi produktif bagi kegiatan masyarakat sekitar wilayah operasi. Dengan demikian, Program Geo Circle memperluas pemaknaan transisi energi dari sekadar perubahan sumber pembangkitan menuju pemanfaatan energi rendah karbon yang mampu memberikan manfaat ekonomi dan sosial pada tingkat komunitas.

Temuan ini juga menunjukkan adanya hubungan antara optimalisasi energi dan ekonomi sirkular. Jika pemanfaatan *filler cooling tower* memperpanjang siklus manfaat material, pemanfaatan *hot brine water* mengoptimalkan nilai energi panas bumi melalui penggunaan langsung untuk aktivitas produktif. Kedua pendekatan tersebut membentuk sistem yang mengupayakan agar material maupun energi yang tersedia dari kegiatan operasional dapat menghasilkan nilai tambah sebelum kehilangan nilai gunanya.

3.3. Pendekatan Pemberdayaan Masyarakat

Keberhasilan Program Geo Circle tidak hanya dipengaruhi oleh inovasi teknologi, tetapi juga oleh keterlibatan masyarakat dalam proses implementasinya. Program dikembangkan melalui kegiatan pendampingan, pelatihan, transfer pengetahuan, serta penguatan kapasitas kelembagaan kelompok. Pendekatan tersebut menempatkan masyarakat bukan hanya sebagai penerima manfaat teknologi, tetapi juga sebagai pelaku yang terlibat dalam pengelolaan dan pengembangan kegiatan produktif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pemberdayaan tersebut mendorong berkembangnya kapasitas kelompok dalam mengelola kegiatan pertanian, perikanan, pembibitan, dan produksi pupuk organik berbasis pemanfaatan sumber daya yang tersedia. Dampak sosial program juga terlihat dari berkembangnya sistem pangan sehat berbasis masyarakat yang kemudian direplikasi oleh 30 posyandu di wilayah Ulubelu. Replikasi tersebut menunjukkan bahwa manfaat program tidak hanya terbatas pada kelompok penerima manfaat langsung, tetapi mulai berkembang pada kelembagaan masyarakat lainnya.

Temuan tersebut sejalan dengan Laverack (2006), yang menempatkan peningkatan kapasitas, partisipasi, penguatan organisasi masyarakat, serta kemampuan masyarakat dalam mengelola sumber daya sebagai bagian penting dalam proses pemberdayaan. Dalam konteks pengembangan panas bumi di Indonesia, Anggreta et al. (2022) juga menunjukkan bahwa penerimaan masyarakat terhadap proyek panas bumi berkaitan dengan hubungan antara perusahaan dan masyarakat, termasuk ketika masyarakat sekitar ditempatkan sebagai mitra dalam proses pembangunan. Hal ini memperkuat temuan penelitian ini bahwa keberhasilan inovasi berbasis panas bumi tidak cukup hanya melalui penyediaan teknologi, tetapi memerlukan keterlibatan dan peningkatan kapasitas masyarakat sebagai bagian dari proses implementasi.

Penelitian Qorizki et al. (2021) mengenai penerimaan masyarakat terhadap pengembangan panas bumi di kawasan Gunung Slamet juga menunjukkan bahwa pertimbangan terhadap prospek ekonomi, dampak lingkungan, kesejahteraan, dan penghidupan masyarakat menjadi bagian penting dalam membentuk respons masyarakat terhadap pengembangan panas bumi. Dalam konteks Program Geo Circle, pemanfaatan sumber daya panas bumi untuk mendukung aktivitas produktif masyarakat memberikan bentuk manfaat yang lebih langsung sehingga masyarakat tidak hanya berada di sekitar wilayah pengembangan energi, tetapi juga memperoleh peluang untuk terlibat dalam penciptaan nilai dari keberadaan sumber daya tersebut.

Pendekatan ini memperlihatkan keterkaitan Program Geo Circle dengan konsep transisi energi yang inklusif. Transisi menuju energi rendah karbon tidak hanya berkaitan dengan teknologi dan penurunan emisi, tetapi juga perlu memperhatikan distribusi manfaat kepada masyarakat sekitar. Melalui integrasi antara pemanfaatan energi panas bumi, ekonomi sirkular, dan pemberdayaan masyarakat, program menghasilkan *shared value* berupa manfaat lingkungan bagi perusahaan sekaligus manfaat sosial dan ekonomi bagi masyarakat.

3.4. Keterbatasan Program

Meskipun menghasilkan berbagai manfaat, penelitian menemukan bahwa implementasi Program Geo Circle masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan maupun replikasi program. Pertama, pemanfaatan *hot brine water* sangat bergantung pada karakteristik sumber daya panas bumi, ketersediaan infrastruktur, jarak antara sumber panas dengan lokasi pemanfaatan, serta kebutuhan teknologi untuk mengalirkan dan mengendalikan panas. Oleh karena itu, model pemanfaatan langsung yang diterapkan di Ulubelu tidak dapat direplikasi secara identik pada seluruh wilayah pengembangan panas bumi tanpa kajian teknis terlebih dahulu.

Kedua, ketersediaan *filler cooling tower* sebagai material yang dimanfaatkan kembali bergantung pada siklus pemeliharaan dan penggantian material pada kegiatan operasional pembangkit. Kondisi tersebut menyebabkan volume material yang tersedia tidak selalu sama pada setiap periode. Oleh karena itu, pemanfaatan material perlu disesuaikan dengan ketersediaan residu serta tetap memperhatikan kelayakan teknis, aspek keselamatan, dan kebutuhan masyarakat penerima manfaat.

Ketiga, keberlanjutan program masih dipengaruhi oleh kapasitas kelembagaan masyarakat. Pendampingan, regenerasi anggota kelompok, kemampuan pengelolaan usaha, serta perluasan akses pasar menjadi faktor yang perlu diperkuat agar manfaat ekonomi program dapat dipertahankan setelah intensitas pendampingan perusahaan berkurang. Temuan ini relevan dengan Anggreta et al. (2022), yang menunjukkan pentingnya hubungan kemitraan dengan masyarakat dalam mendukung penerimaan sosial pengembangan panas bumi. Qorizki et al. (2021) juga memperlihatkan bahwa manfaat ekonomi, kondisi penghidupan masyarakat, dan persepsi terhadap dampak lingkungan menjadi faktor penting dalam membentuk penerimaan masyarakat terhadap proyek panas bumi.

Keterbatasan tersebut menunjukkan bahwa replikasi Program Geo Circle tidak dapat dilakukan hanya dengan menduplikasi teknologi yang digunakan. Replikasi perlu didahului dengan identifikasi karakteristik sumber daya panas bumi, jenis dan ketersediaan residu operasional, kondisi sosial-ekonomi masyarakat, kapasitas kelembagaan, serta kebutuhan lokal. Dengan demikian, model Program Geo Circle lebih tepat dipahami sebagai kerangka integrasi antara sumber daya perusahaan dan potensi masyarakat yang implementasinya perlu disesuaikan dengan karakteristik masing-masing wilayah.

Secara teoretis, hasil penelitian memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian ekonomi sirkular pada sektor energi dengan menunjukkan bahwa residu operasional dan energi panas bumi dapat diintegrasikan dengan pemberdayaan masyarakat dalam satu model inovasi sosial. Berbeda dengan pendekatan yang hanya menempatkan ekonomi sirkular sebagai strategi efisiensi material atau energi, Program Geo Circle menunjukkan bahwa pemanfaatan sumber daya tersebut dapat diperluas menjadi instrumen penciptaan nilai sosial dan ekonomi pada tingkat komunitas. Integrasi pemanfaatan *filler cooling tower*, *geothermal direct use*, dan pemberdayaan masyarakat menunjukkan keterhubungan antara dimensi *environmental* melalui efisiensi sumber daya dan reduksi dampak lingkungan, dimensi *social* melalui peningkatan kapasitas dan manfaat ekonomi masyarakat, serta dimensi *governance* melalui pengelolaan program secara kolaboratif. Dengan demikian, Program Geo Circle menawarkan model integratif yang menghubungkan ekonomi sirkular, transisi energi, ESG, dan pemberdayaan masyarakat dalam konteks pengembangan energi panas bumi.

4. KESIMPULAN

Program Geo Circle (*Geothermal Energy and Filler for Circular Economy*) merupakan model inovasi sosial berbasis energi panas bumi yang mengintegrasikan pemanfaatan residu operasional pembangkit (*filler cooling tower*) dan energi panas sisa (*hot brine water*) dalam mendukung penerapan ekonomi sirkular. Melalui pendekatan tersebut, program tidak hanya mampu mengurangi timbulan limbah dan menekan dampak lingkungan, tetapi juga meningkatkan produktivitas pertanian, memperkuat ketahanan pangan, serta meningkatkan kapasitas ekonomi masyarakat di wilayah operasional PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Area Ulubelu. Ketahanan pangan berkelanjutan membutuhkan pendekatan yang mengintegrasikan akses, ketersediaan, pemanfaatan, dan stabilitas pangan dalam jangka panjang (FAO, 2023). Temuan penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan Program Geo Circle tidak hanya ditentukan oleh inovasi teknologi, tetapi juga oleh penguatan kelembagaan masyarakat, kolaborasi multipihak, dan proses pemberdayaan yang mendorong masyarakat menjadi pelaku utama pembangunan. Dengan demikian, Program Geo Circle menunjukkan bahwa implementasi ekonomi sirkular pada sektor energi panas bumi dapat menjadi strategi yang mendukung transisi energi, penguatan implementasi ESG (*environmental, social, and governance*), serta penciptaan nilai bersama (*shared value*) bagi perusahaan, masyarakat, dan lingkungan.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi bahwa pendekatan serupa berpotensi dikembangkan pada wilayah pengembangan energi panas bumi maupun sektor energi terbarukan lainnya yang memiliki

karakteristik sumber daya serupa. Oleh karena itu, pemerintah diharapkan dapat mendorong kebijakan yang mendukung pemanfaatan residu operasional dan energi sisa sebagai bagian dari implementasi ekonomi sirkular, sekaligus memperkuat kolaborasi antara pemerintah, dunia usaha, perguruan tinggi, dan masyarakat dalam mengembangkan inovasi sosial berbasis potensi lokal. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji efektivitas model ini secara kuantitatif, termasuk analisis manfaat ekonomi, pengurangan emisi, dan dampak sosial jangka panjang sehingga dapat memperkuat bukti empiris mengenai kontribusi ekonomi sirkular terhadap pencapaian pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggreta, D. K., Somantri, G. R., & Purwanto, S. A. (2022). Social acceptance: Mapping the perspectives of stakeholder in the development of geothermal power plants in West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(4), 1053–1065.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Tanggamus. (2024). *Kabupaten Tanggamus Dalam Angka 2024*. Tanggamus: BPS Kabupaten Tanggamus.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation.
- FAO. (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- Friede, G., Busch, T., & Bassen, A. (2015). ESG and financial performance: Aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 5(4), 210–233. <https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917>
- Garrido Arias, B., Merayo, N., Millán, A., & Negro, C. (2021). Sustainable recovery of wastewater to be reused in cooling towers: Towards circular economy approach. *Journal of Water Process Engineering*, 41, 102064. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102064>
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). Sociotechnical transitions for deep decarbonization. *Science*, 357(6357), 1242–1244. <https://doi.org/10.1126/science.aao3760>
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. Paris: IEA.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Komori, Y., Kioka, A., & Nakagawa, M. (2023). Predictive model for history matching of social acceptance in geothermal energy projects. *Renewable Energy Focus*, 45, 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.04.003>
- Laverack, G. (2006). Improving health outcomes through community empowerment: A review of the literature. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 24(1), 113–120.
- Lund, J. W., & Toth, A. N. (2021). Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. *Geothermics*, 90, 101915.
- Pertamina Geothermal Energy. (2024). *Laporan Keberlanjutan PT Pertamina Geothermal Energy Tbk Tahun 2024*. Jakarta: PT Pertamina Geothermal Energy Tbk.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Qorizki, D., Permadi, D. B., Yuwono, T., & Rohman, R. (2021). Should drill or shouldn't drill? Urban and rural dwellers' acceptance of geothermal power plant in Mount Slamet protection forest, Indonesia. *Forest and Society*, 5(2), 575–590. <https://doi.org/10.24259/fs.v5i2.13400>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Zimmerman, M. A. (2000). Empowerment theory: Psychological, organizational, and community levels of analysis. In J. Rappaport & E. Seidman (Eds.), *Handbook of community psychology* (pp. 43–63). Springer.