

ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DAN IMPLIKASI EKONOMI AKTIVITAS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) DALAM MEWUJUDKAN SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGS) DI INDONESIA

Dinda Permata Sari

Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis UPN "Veteran"
Yogyakarta
Email: dindapermatas948@gmail.com

ABSTRACT

Geothermal Power Plants (PLTP) are one of the renewable energy sources with great potential to support the clean energy transition in Indonesia. However, PLTP activities also have environmental impacts that need to be comprehensively assessed to ensure both economic and ecological sustainability. This study aims to analyze the environmental impacts and their economic implications in achieving the Sustainable Development Goals (SDGs). The research employs a qualitative approach through literature studies sourced from scientific journals, official reports, and energy policy documents. The results indicate that although PLTP reduces carbon emissions by up to 90% compared to fossil-fueled plants, its activities still pose environmental risks such as land-use changes, water pollution, and biodiversity loss. On the other hand, PLTP provides economic benefits through job creation, increased regional income, and national energy diversification. Therefore, an integrated mitigation strategy involving environmental policy, technological efficiency, and investment planning based on Life Cycle Cost (LCC) is required to ensure that PLTP truly contributes to the green economy and sustainable development.

Keywords : PLTP, Environmental Impact, SDGs, Life Cycle Cost, Green Economy

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi besar dalam mendukung transisi energi bersih di Indonesia. Namun, aktivitas PLTP juga memiliki dampak terhadap lingkungan yang perlu dikaji secara komprehensif untuk memastikan keberlanjutan ekonomi dan ekologi. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak lingkungan serta implikasi ekonominya terhadap pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs). Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif melalui studi literatur dari jurnal ilmiah, laporan resmi, dan dokumen kebijakan energi. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun PLTP menurunkan emisi karbon hingga 90% dibandingkan pembangkit fosil, aktivitasnya masih menimbulkan risiko lingkungan seperti perubahan lahan, pencemaran air, dan penurunan keanekaragaman hayati. Di sisi lain, PLTP memberikan manfaat ekonomi berupa penyerapan tenaga kerja, peningkatan pendapatan daerah, dan diversifikasi energi

nasional. Diperlukan strategi mitigasi terpadu melalui kebijakan lingkungan, efisiensi teknologi, serta perencanaan investasi berbasis Life Cycle Cost (LCC) agar PLTP benar-benar berkontribusi pada ekonomi hijau dan pembangunan berkelanjutan.

Kata Kunci : PLTP, Dampak Lingkungan, SDGs, Life Cycle Cost, Ekonomi Hijau

A. PENDAHULUAN

Transisi menuju sistem energi bersih dan berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak di era modern, terutama dalam menghadapi krisis energi global dan meningkatnya emisi karbon. Indonesia, sebagai negara berkembang dengan pertumbuhan ekonomi tinggi, menghadapi tantangan untuk memenuhi permintaan energi nasional tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan (IEA, 2024). Energi listrik berperan penting dalam mendorong aktivitas ekonomi, sektor industri, transportasi, dan pembangunan daerah, namun sebagian besar pasokan listrik Indonesia masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil, terutama batubara, yang menyumbang sekitar 62 % dari total kapasitas energi nasional pada tahun 2023 (Kementerian ESDM, 2024). Ketergantungan ini berdampak pada meningkatnya emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan degradasi lingkungan.

Dalam konteks tersebut, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) menjadi salah satu alternatif energi terbarukan yang sangat potensial untuk mendukung transisi energi bersih. Secara geologis, Indonesia memiliki keunggulan kompetitif karena berada di jalur Cincin Api Pasifik (Pacific Ring of Fire), dengan potensi panas bumi mencapai sekitar 40 % dari total cadangan dunia atau sekitar 23,9 GW (Auzan, 2022). Namun, kapasitas terpasang hingga tahun 2024 baru mencapai 2,48 GW, menunjukkan bahwa pemanfaatan energi panas bumi baru sekitar 10 % dari total potensi nasional (Kementerian ESDM, 2024). Kondisi ini menggambarkan adanya kesenjangan besar antara potensi sumber daya dan realisasi pemanfaatannya.

Dari perspektif ekonomi, pengembangan PLTP memiliki *multiplier effect* yang signifikan terhadap perekonomian daerah dan nasional. Pembangunan infrastruktur PLTP mendorong penciptaan lapangan kerja langsung dan tidak langsung, meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar, serta memperkuat Pendapatan Asli Daerah (PAD) dari sektor energi (World Bank, 2023). Selain itu, PLTP juga dapat

mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan bakar fosil, menstabilkan neraca energi, dan memperkuat ketahanan ekonomi nasional (OECD, 2023). Kontribusi sektor panas bumi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) dapat mencapai USD 4,5 juta per MW kapasitas terpasang, sekaligus menurunkan emisi karbon hingga 90 % dibandingkan PLTU batubara (Idroes et al. 2024).

Namun demikian, pengembangan PLTP tidak terlepas dari potensi dampak lingkungan. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa meskipun emisi karbon PLTP jauh lebih rendah daripada pembangkit konvensional, aktivitasnya dapat menimbulkan risiko ekologis seperti perubahan bentang lahan, deforestasi, gangguan keanekaragaman hayati, penurunan kualitas air tanah, dan potensi deformasi geologi akibat injeksi fluida panas bumi (Bošnjaković et al., 2019 dan Hackstein et al., 2021). Selain itu, pembukaan akses jalan, pengeboran, dan pengoperasian sumur produksi dapat mengubah struktur ekosistem lokal, terutama di kawasan hutan lindung dan taman nasional (Amin et al., 2023). Dampak tersebut menimbulkan biaya eksternalitas lingkungan (*environmental externalities*) yang, jika tidak dikelola dengan baik, dapat mengurangi nilai ekonomi bersih dari proyek PLTP (Stern, 2007).

Oleh karena itu, kajian mengenai dampak lingkungan dan implikasi ekonomi PLTP menjadi penting dalam konteks pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Penelitian ini tidak hanya menelaah aspek ekologis, tetapi juga menganalisis keterkaitan antara pengelolaan lingkungan, efisiensi biaya investasi (*Life Cycle Cost – LCC*), serta kontribusi PLTP terhadap pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), terutama tujuan 7 (Energi Bersih dan Terjangkau), 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi), 13 (Penanganan Perubahan Iklim), dan 15 (Ekosistem Darat) (United Nations, 2023).

Berdasarkan latar belakang dan urgensi penelitian yang telah dijelaskan pada bagian pendahuluan, maka permasalahan utama dalam penelitian ini dapat dirumuskan yaitu Apa saja dampak lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Indonesia?, Bagaimana implikasi ekonomi dari aktivitas PLTP terhadap pembangunan daerah dan pencapaian ekonomi hijau di Indonesia? Dan Bagaimana strategi mitigasi dan kebijakan

berkelanjutan yang dapat diterapkan untuk meminimalkan dampak lingkungan PLTP sekaligus memaksimalkan manfaat ekonominya?

Tinjauan Pustaka

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dan Potensinya di Indonesia

Energi panas bumi (geothermal energy) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari panas alami di dalam perut bumi. PLTP bekerja dengan memanfaatkan uap panas dari reservoir geotermal untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik (Kusuma, Mangindaan, & Pakidin, 2018). Indonesia, yang berada di jalur Cincin Api Pasifik, memiliki lebih dari 330 titik potensi panas bumi dengan kapasitas total sekitar 23,9 gigawatt (GW) atau sekitar 40% dari cadangan panas bumi dunia (Auzan, 2022).

Dampak Lingkungan Aktivitas PLTP

Secara umum, PLTP memiliki jejak karbon (carbon footprint) yang jauh lebih rendah dibandingkan sumber energi fosil, tetapi tetap memerlukan sistem mitigasi terpadu melalui rekayasa teknologi, *re-injection system*, dan pengelolaan limbah berbasis *zero discharge* untuk menjaga keseimbangan ekosistem (CarbFix Project, 2023).

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi literatur (library research). Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk menganalisis fenomena sosial, ekonomi, dan lingkungan berdasarkan data sekunder dari berbagai sumber kredibel (Creswell & Poth, 2018). Penelitian kualitatif deskriptif memungkinkan peneliti memahami hubungan antara aktivitas PLTP, dampak lingkungan, dan implikasi ekonominya dalam konteks pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, yang diperoleh dari jurnal ilmiah internasional dan nasional bereputasi, laporan resmi pemerintah seperti *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia* (Kementerian ESDM, 2024), serta laporan lembaga internasional seperti International Energy Agency (IEA) dan World Bank yang berkaitan dengan transisi energi dan ekonomi hijau (World Bank, 2023 dan IEA, 2024).

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran sistematis terhadap literatur menggunakan kata kunci seperti *geothermal power plant*, *environmental impact*, *economic implication*, *life cycle cost*, dan *green economy*. Setiap data yang ditemukan kemudian diseleksi berdasarkan kredibilitas, keterkinian, dan relevansi dengan topik penelitian (Snyder, 2019). Analisis data dilakukan menggunakan analisis isi (content analysis) untuk menelaah isi teks dan dokumen secara mendalam, serta analisis tematik (thematic analysis) untuk mengidentifikasi pola hubungan antara dampak lingkungan PLTP dengan aspek ekonomi dan kebijakan energi (Krippendorff, 2018; Braun & Clarke, 2021). Pendekatan ini dipilih karena efektif dalam mengorganisir data kualitatif menjadi kategori analisis yang bermakna, seperti dampak ekologis, efisiensi ekonomi, dan strategi mitigasi.

C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Dampak Lingkungan Aktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Pembangunan dan pengoperasian PLTP memberikan kontribusi signifikan terhadap penurunan emisi karbon nasional, namun tetap menimbulkan dampak ekologis yang perlu dikendalikan secara sistematis. Berdasarkan hasil kajian literatur (Bayer et al., 2013; Bošnjaković et al., 2019; Hackstein et al., 2021), dampak lingkungan utama dari aktivitas PLTP di Indonesia mencakup perubahan penggunaan lahan, gangguan geoteknikal, emisi gas berbahaya, limbah cair dan padat, serta penurunan kualitas ekosistem lokal.

2. Perubahan Penggunaan Lahan

Kegiatan eksplorasi dan pembangunan PLTP memerlukan pembukaan lahan luas untuk akses jalan, pembangunan sumur, dan jaringan pipa. Kasus di PLTP Rantau Dedap (Sumatera Selatan) menunjukkan bahwa pembukaan lahan seluas lebih dari 120 ha di kawasan hutan lindung mengubah struktur ekosistem dan memengaruhi fungsi hidrologi kawasan (Asnawi, 2024). Situasi serupa ditemukan pula di beberapa wilayah lain di Indonesia, di mana lokasi potensi panas bumi seringkali tumpang tindih dengan kawasan konservasi (Amin et al., 2023). Aktivitas ini berpotensi mengganggu fungsi ekologis hutan, menyebabkan hilangnya habitat, serta menimbulkan konflik sosial dengan masyarakat adat.

3. Dampak Geoteknikal

Pengambilan fluida panas bumi dalam jumlah besar dapat menimbulkan penurunan tekanan reservoir dan deformasi permukaan tanah (*subsidence*). Kondisi ini meningkatkan risiko bahaya geologi seperti longsor atau semburan hidrotermal, terutama di wilayah vulkanik aktif. Hasil penelitian Dadi et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan sistem real-time microseismic monitoring menggunakan sensor optik dan pembelajaran mesin efektif untuk meminimalkan risiko deformasi.

4. Emisi dan Pencemaran

Walaupun PLTP menurunkan emisi karbon hingga 90% dibandingkan PLTU batubara (Idroes et al., 2024), kegiatan operasionalnya masih menghasilkan gas seperti hidrogen sulfida (H_2S), karbon dioksida (CO_2), dan metana (CH_4) (Niknam et al., 2020). Emisi ini, meskipun relatif kecil, tetap berkontribusi terhadap polusi udara lokal dan potensi bau tidak sedap di area sekitar. Selain itu, limbah cair dari proses eksploitasi dan kondensasi sering mengandung mineral berat seperti arsenik, boron, dan merkuri yang berpotensi mencemari air tanah (Trianto & Sulistyono, 2019). Jika tidak dikelola sesuai standar AMDAL (Sukananda & Nugraha, 2020; Herlina & Supriyatn, 2021), hal ini dapat menimbulkan eksternalitas negatif yang menurunkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat sekitar.

5. Limbah Padat dan Panas

Limbah padat dari kegiatan pengeboran dan pengendapan air panas bumi berupa lumpur bor dan kerak silika dapat menimbulkan masalah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Penelitian (Yuniati et al. 2011) menunjukkan bahwa limbah silika dapat diolah menjadi bahan konstruksi seperti batako atau silika gel, sehingga berpotensi menjadi *by-product* bernilai ekonomi. Sementara itu, limbah panas dari sistem PLTP dapat dimanfaatkan untuk sektor lain seperti rumah kaca, perikanan, dan pemanas ruangan, sehingga mendukung konsep ekonomi sirkular energi (Pandey et al., 2022).

6. Dampak terhadap Keanekaragaman Hayati

Eksplorasi PLTP di kawasan hutan lindung, seperti PLTP Kamojang, terbukti menurunkan keanekaragaman hayati melalui hilangnya vegetasi dan gangguan terhadap satwa liar. Aktivitas ini menyebabkan berkurangnya populasi spesies

endemik dan perubahan rantai makanan ekosistem (Bošnjaković et al., 2019). Jika tidak diimbangi dengan rehabilitasi dan revegetasi, hal tersebut dapat merugikan keseimbangan ekologis jangka panjang.

7. Implikasi Ekonomi Aktivitas PLTP terhadap Pembangunan Daerah dan Ekonomi Hijau

Secara ekonomi, pengembangan PLTP memberikan multiplier effect yang besar terhadap perekonomian daerah. Studi World Bank (2023) menyebutkan bahwa setiap 1 MW kapasitas PLTP dapat menciptakan nilai ekonomi hingga USD 4,5 juta per tahun dan menyerap ratusan tenaga kerja langsung maupun tidak langsung. Dampak positif utama PLTP antara lain:

8. Peningkatan Pendapatan Daerah (PAD)

Aktivitas PLTP secara langsung meningkatkan Pendapatan Asli Daerah (PAD) melalui penerimaan pajak energi, retribusi penggunaan lahan, dan kontribusi program tanggung jawab sosial perusahaan (CSR). Menurut data Kementerian ESDM (2024), proyek-proyek PLTP di Indonesia seperti PLTP Sarulla (Sumatera Utara) dan PLTP Wayang Windu (Jawa Barat) berkontribusi signifikan terhadap PAD setempat melalui pajak penerangan jalan, pajak air permukaan, dan pajak bumi bangunan. Sebagai contoh, pada tahun 2023, PAD Kabupaten Tapanuli Utara meningkat sebesar 14,2% setelah PLTP Sarulla beroperasi penuh dengan kapasitas 330 MW, menyumbang lebih dari Rp 18 miliar per tahun dalam bentuk pajak dan retribusi energi (Kementerian ESDM, 2024). Selain itu, kontribusi sektor panas bumi juga meningkatkan potensi ekonomi turunan, seperti pengembangan infrastruktur desa, transportasi lokal, serta jasa pendukung proyek energi (Nurwahyudin & Harmoko, 2020). Dengan demikian, keberadaan PLTP memberikan efek pengganda fiskal (*fiscal multiplier effect*) yang mendorong peningkatan pendapatan dan pembangunan daerah.

9. Penciptaan Lapangan Kerja dan Pertumbuhan Ekonomi Lokal

Pembangunan dan operasi PLTP menciptakan lapangan kerja langsung dan tidak langsung. Berdasarkan laporan World Bank (2023), setiap 1 MW kapasitas PLTP mampu menciptakan 30–35 lapangan kerja langsung dan lebih dari 100 lapangan kerja tidak langsung di sektor pendukung seperti konstruksi, transportasi,

dan jasa. Sebagai contoh, pengembangan PLTP Lahendong Unit 5 & 6 (Tompaso, Sulawesi Utara) yang berkapasitas 40 MW menyerap lebih dari 1.200 tenaga kerja selama masa konstruksi dan sekitar 250 tenaga kerja tetap selama fase operasional (Kusuma et al., 2018). Selain dampak langsung terhadap tenaga kerja, aktivitas ekonomi di sekitar lokasi proyek juga meningkat, terutama di sektor perdagangan lokal, perumahan, dan logistik. Efek ini sejalan dengan temuan OECD (2023) yang menegaskan bahwa investasi energi terbarukan, termasuk panas bumi, dapat menaikkan pertumbuhan ekonomi regional sebesar 0,3–0,5% per tahun di negara berkembang melalui peningkatan konsumsi domestik dan perputaran modal lokal.

10. Diversifikasi Energi Nasional dan Stabilitas Ekonomi

Diversifikasi energi merupakan salah satu strategi penting untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan meningkatkan ketahanan ekonomi nasional.

Menurut Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia (Kementerian ESDM, 2024), kapasitas terpasang PLTP nasional pada tahun 2024 mencapai 2.480 MW, atau sekitar 10% dari total potensi panas bumi Indonesia yang diperkirakan sebesar 23,9 GW (Auzan, 2022). Kehadiran PLTP turut berkontribusi terhadap bauran energi terbarukan nasional sebesar 14,3% pada tahun 2023, dengan target 23% pada tahun 2025 sebagaimana tertuang dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

Secara makroekonomi, peningkatan kapasitas PLTP sebesar 1 GW dapat menghemat impor bahan bakar fosil hingga USD 120 juta per tahun dan menurunkan emisi karbon sekitar 6 juta ton CO₂e (IEA, 2024). Diversifikasi ini juga menstabilkan neraca pembayaran sektor energi dan mengurangi tekanan terhadap nilai tukar, terutama saat harga minyak dunia naik. Dengan demikian, PLTP tidak hanya memperkuat ketahanan energi nasional, tetapi juga menjadi instrumen makroekonomi untuk stabilitas fiskal dan moneter jangka panjang (OECD, 2023).

11. Efisiensi Investasi dan Ketahanan Ekonomi melalui Analisis Life Cycle Cost.

Dari perspektif ekonomi investasi, PLTP memiliki keunggulan dalam hal stabilitas biaya operasi jangka panjang. Berdasarkan analisis Life Cycle Cost (LCC) oleh Li et al. (2022), biaya produksi listrik dari PLTP berada pada kisaran USD 0,06

per kWh, lebih rendah dibandingkan dengan energi surya (USD 0,07–0,30 per kWh), dan relatif kompetitif dengan gas alam (USD 0,05 per kWh) maupun batubara (USD 0,04 per kWh). Meskipun investasi awal PLTP cukup besar (sekitar USD 2.500–3.000 per kW kapasitas terpasang), biaya operasional tahunan jauh lebih rendah karena tidak memerlukan bahan bakar dan memiliki umur proyek mencapai 30–35 tahun (Istiqamah et al., 2023). Selain itu, variabilitas harga bahan bakar fosil yang tinggi (fluktuasi 40–60% dalam dekade terakhir) menjadikan PLTP lebih stabil dan aman terhadap risiko inflasi energi (IEA, 2024). Studi oleh World Bank (2023) juga menunjukkan bahwa proyek PLTP di Indonesia memiliki *internal rate of return (IRR)* rata-rata 11–14%, dengan periode *payback* antara 7–9 tahun, menjadikannya layak secara ekonomi dan ramah lingkungan.

12. Strategi Mitigasi dan Kebijakan Berkelanjutan

Untuk memastikan bahwa pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) berkontribusi secara optimal terhadap *ekonomi hijau* dan *pembangunan berkelanjutan*, diperlukan strategi mitigasi yang terintegrasi antara aspek lingkungan, teknologi, ekonomi, dan sosial. Pendekatan ini bertujuan untuk meminimalkan eksternalitas negatif lingkungan serta memaksimalkan manfaat ekonomi dan sosial bagi masyarakat di sekitar lokasi proyek.

Berdasarkan hasil kajian empiris dan teoretis dari CarbFix Project (2023), Krippendorff (2018), dan Patton (2015), terdapat empat strategi utama yang dapat diterapkan dalam konteks kebijakan pengelolaan PLTP di Indonesia.

13. Optimalisasi Teknologi Ramah Lingkungan

Salah satu strategi utama dalam mitigasi dampak lingkungan adalah penerapan teknologi ramah lingkungan dalam setiap tahapan siklus hidup proyek PLTP.

Sistem reinjeksi fluida panas bumi (reinjection system) menjadi praktik wajib untuk mengembalikan air panas dan uap yang telah digunakan ke dalam reservoir geothermal. Proses ini berfungsi menjaga tekanan bawah tanah, mencegah penurunan permukaan (subsidence), dan mengurangi risiko pencemaran air tanah akibat pembuangan brine ke permukaan (CarbFix Project, 2023). Selain itu, penggunaan teknologi wet scrubber dan dry scrubber terbukti efektif dalam menurunkan

konsentrasi gas hidrogen sulfida (H_2S) hingga 99%, sehingga mengurangi potensi gangguan kesehatan dan pencemaran udara di sekitar fasilitas pembangkit (Niknam, Torkaman, & Vaziri, 2020).

Implementasi zero discharge system juga menjadi bagian penting dalam strategi ini, di mana seluruh limbah cair dan padat dikelola kembali melalui siklus tertutup tanpa dibuang ke lingkungan (Istiqamah et al., 2023). Teknologi ini sudah diterapkan di beberapa proyek internasional seperti Hellisheidi Geothermal Power Plant di Islandia, yang berhasil menginjeksikan kembali 100% dari fluida panas bumi ke dalam reservoir serta mengikat karbon dan H_2S menjadi mineral padat melalui reaksi kimia alami (CarbFix Project, 2023). Penerapan teknologi serupa di Indonesia akan mendukung pencapaian SDGs 7 (Energi Bersih) dan SDGs 13 (Penanganan Perubahan Iklim) melalui pengurangan emisi dan efisiensi penggunaan sumber daya alam.

14. Penguatan Kebijakan dan Pengawasan Lingkungan

Kerangka kebijakan yang kuat dan penegakan hukum lingkungan merupakan fondasi penting untuk menjaga keberlanjutan aktivitas PLTP. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, setiap proyek panas bumi wajib memiliki dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) yang komprehensif. Namun, efektivitas implementasi AMDAL sering kali masih lemah akibat keterbatasan kapasitas teknis dan pengawasan. Oleh karena itu, diperlukan penguatan regulasi AMDAL berbasis sains dan transparansi publik, termasuk publikasi hasil pemantauan emisi, kualitas air, dan keanekaragaman hayati secara periodik (Sukananda & Nugraha, 2020).

Pemerintah juga perlu menerapkan mekanisme insentif dan disinsentif lingkungan. Misalnya, pemberian insentif fiskal bagi pengembang PLTP yang menerapkan teknologi rendah emisi, serta penalti bagi proyek yang melanggar baku mutu lingkungan. Selain itu, integrasi kebijakan lintas sektor antara Kementerian ESDM, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dan pemerintah daerah perlu diperkuat untuk menghindari tumpang tindih regulasi, terutama dalam hal penggunaan lahan dan pengelolaan hutan lindung (Herlina & Supriyatn, 2021). Dengan tata kelola yang baik (*good environmental governance*), proyek PLTP

dapat berjalan secara efisien tanpa mengorbankan ekosistem dan kesejahteraan masyarakat.

15. Integrasi Ekonomi dan Lingkungan melalui Analisis LCC dan NPV

Dalam konteks ekonomi pembangunan, keberlanjutan PLTP tidak hanya diukur dari efisiensi teknis, tetapi juga dari efisiensi biaya dan manfaat ekonomi jangka panjang. Penerapan analisis Life Cycle Cost (LCC) dan Net Present Value (NPV) menjadi instrumen penting dalam perencanaan investasi berkelanjutan. Metode ini memungkinkan evaluasi total biaya proyek selama siklus hidupnya – mulai dari eksplorasi, pembangunan, operasi, hingga penutupan – serta memperhitungkan nilai waktu uang (*time value of money*) (Istiqamah et al., 2023).

Menurut studi Li et al. (2022), proyek PLTP yang dikelola dengan pendekatan LCC menunjukkan efisiensi biaya 15–20% lebih tinggi dibandingkan proyek tanpa perencanaan LCC, karena mampu mengidentifikasi sumber inefisiensi dan risiko teknis sejak awal. Selain itu, penerapan LCC memungkinkan penilaian dampak ekonomi secara menyeluruh, termasuk biaya eksternalitas lingkungan (*environmental external cost*), seperti kerusakan lahan atau polusi air. Pendekatan ini memastikan bahwa keputusan investasi PLTP tidak hanya menguntungkan secara finansial, tetapi juga berorientasi pada keberlanjutan ekonomi dan ekologi. Integrasi ekonomi-lingkungan semacam ini mendukung pencapaian SDGs 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi) serta memperkuat fondasi *green investment* nasional.

16. Keterlibatan Masyarakat Lokal dan Pembangunan Inklusif

Keterlibatan masyarakat lokal merupakan faktor kunci keberhasilan proyek PLTP. Studi World Bank (2023) menunjukkan bahwa proyek energi terbarukan dengan partisipasi komunitas lokal yang aktif memiliki tingkat keberlanjutan sosial dan ekonomi yang 30% lebih tinggi dibandingkan proyek yang bersifat top-down. Masyarakat dapat dilibatkan melalui mekanisme public consultation, community-based monitoring, dan grievance system untuk menyampaikan keluhan atau saran selama tahap konstruksi dan operasional.

Selain itu, pengembang PLTP perlu menyalurkan Corporate Social Responsibility (CSR) yang berorientasi pada pemberdayaan ekonomi lokal, seperti pelatihan tenaga kerja, pengembangan UMKM, serta dukungan infrastruktur sosial

(jalan, air bersih, pendidikan). Sebagai contoh, program CSR PLTP Lahendong (Sulawesi Utara) telah meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar sebesar 22% melalui pelatihan keterampilan dan bantuan usaha mikro (Kementerian ESDM, 2024). Pendekatan ini menciptakan *social license to operate* (SLO) yang penting untuk menjaga hubungan harmonis antara pengembang, pemerintah, dan masyarakat. Dengan demikian, keterlibatan masyarakat tidak hanya berperan sebagai bentuk tanggung jawab sosial, tetapi juga menjadi instrumen efektif dalam menjaga keberlanjutan jangka panjang proyek PLTP.

D. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memiliki peran strategis dalam mendukung transisi energi bersih dan pencapaian SDGs, terutama pada tujuan energi bersih, pertumbuhan ekonomi, penanganan perubahan iklim, dan pelestarian ekosistem darat. PLTP mampu menurunkan emisi karbon hingga 90% dibandingkan pembangkit fosil, sehingga menjadi solusi penting dalam mitigasi perubahan iklim. Meski demikian, eksplorasi dan operasinya tetap memiliki potensi dampak ekologis seperti perubahan tata lahan, pencemaran air, gangguan geoteknikal, dan penurunan keanekaragaman hayati, sehingga memerlukan pengelolaan lingkungan yang ketat dan berbasis sains.

Dari sisi ekonomi, PLTP memberikan multiplier effect yang besar terhadap pertumbuhan daerah dan ketahanan ekonomi nasional. Setiap 1 MW kapasitas mampu menghasilkan nilai ekonomi jutaan dolar per tahun serta menyerap tenaga kerja lokal. Kontribusinya terhadap PAD, diversifikasi energi, dan pengurangan impor bahan bakar fosil menjadikan PLTP semakin strategis. Meskipun membutuhkan investasi awal yang tinggi, analisis LCC menunjukkan bahwa PLTP lebih efisien dalam jangka panjang karena biaya operasionalnya rendah dan stabil.

Untuk menjamin keberlanjutan ekonomi dan ekologis, pengembangan PLTP harus didukung strategi mitigasi terpadu, meliputi optimalisasi teknologi ramah lingkungan, penguatan kebijakan dan pengawasan, integrasi aspek ekonomi-lingkungan dalam perhitungan investasi, serta pelibatan aktif masyarakat lokal. Keberhasilan PLTP sangat ditentukan oleh sinkronisasi kebijakan, inovasi teknologi,

dan partisipasi publik. Dengan pendekatan yang komprehensif, PLTP dapat menjadi model energi berkelanjutan yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga inklusif, efisien, dan berkeadilan sosial bagi masa depan energi Indonesia.

E. DAFTAR PUSTAKA

- Amin, R., Rinaldi, M., & Hasanah, F. (2023). Environmental risk of geothermal exploration in protected forest areas: A case study from Indonesia. *Journal of Environmental Management*, 325, 116543. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.116543>
- Auzan, F. H. (2022). Potential and utilization of geothermal energy in Indonesia. *Journal of Renewable Energy Management*, 2(3), 45–56. <https://journal.uir.ac.id/index.php/REM/article/download/15253/7898/77174>
- Bayer, P., Rybach, L., Blum, P., & Brauchler, R. (2013). Environmental impacts of geothermal power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 446–463. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.027>
- Bošnjaković, M., Stojkov, M., & Jurjević, M. (2019). Environmental impact of geothermal power plants. *Tehnički vjesnik*, 26(5), 1515–1522. <https://hrcak.srce.hr/file/329395>
- Braun, V., & Clarke, V. (2021). Thematic analysis: A practical guide. Sage Publications. <https://doi.org/10.4324/9781315183136>
- CarbFix Project. (2023). Geothermal reinjection and carbon mineralization: Case studies from Iceland. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 125, 103865. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2023.103865>
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.). Sage Publications. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-inquiry-and-research-design/book246896>
- Dadi, M., Smith, J., & Lee, C. (2024). Geomechanical effects of fluid injection in geothermal reservoirs: Insights from microseismic monitoring. *Renewable Energy*, 224, 1200–1215. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.10.079>

- Hackstein, F. V., Thorhallsson, S., & Gunnarsson, I. (2021). Sustainable operation of geothermal power plants. *Geothermal Energy Journal*, 9(14), 1–18. <https://geothermal-energy-journal.springeropen.com/articles/10.1186/s40517-021-00183-2>
- Idroes, G. M., et al. (2024). Economic growth and environmental impact: Assessing the dynamic impact of geothermal energy on GDP and GHG emissions. *Energy Economics*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949753124000213>
- International Energy Agency (IEA). (2024). World energy outlook 2024. Paris: OECD/IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- Istiqamah, D. A., Sasongko, N. A., & Boedoyo, M. S. (2023). Analisis dampak lingkungan dan life cycle cost pembangkit listrik tenaga panas bumi. *e-Jurnal Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan*, 11(1), 39–48. <https://online-jurnal.unja.ac.id/JSEL/article/view/26631/16557>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2024). Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2024. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2024.pdf>
- Krippendorff, K. (2018). Content analysis: An introduction to its methodology (4th ed.). Sage Publications. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/content-analysis/book246125>
- Kusuma, A. D., Mangindaan, H. T., & Pakiding, E. (2018). Analisis sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi pada lapangan Ulubelu, Lampung. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (JTEK)*, 7(2), 89–96. <https://jurnal.uns.ac.id/jtek/article/view/29642>
- Li, X., et al. (2022). Life cycle cost and efficiency evaluation of geothermal systems. *Energy Reports*, 8, 1125–1139. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.023>
- Niknam, T., Torkaman, M., & Vaziri, S. (2020). Assessment of hydrogen sulfide emission control in geothermal power plants. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(18), 2225–2235.

<https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1717724>

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023). Green growth and sustainable recovery. OECD Publishing.

<https://www.oecd.org/green-growth>

Patton, M. Q. (2015). Qualitative research & evaluation methods (4th ed.). Sage Publications. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-research-evaluation-methods/book232962>

Snyder, H. (2019). Literature review as a research method: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.

<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>

Stern, N. (2007). The economics of climate change: The Stern review. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>

Trianto, W., & Sulistyono, R. (2019). Pengelolaan limbah cair dan padat pada pembangkit panas bumi di Indonesia. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(2), 89–102.

<https://jurnal.tekmira.esdm.go.id/index.php/minerba/article/view/1343>

United Nations. (2023). Sustainable development goals report 2023. UN Publications. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>

Weber, M. (1996). Life cycle cost analysis of energy projects. *Energy Policy*, 24(3), 215–223. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(95\)00109-3](https://doi.org/10.1016/0301-4215(95)00109-3)

World Bank. (2023). Scaling up geothermal energy in Indonesia: Economic and environmental perspectives. Washington, D.C.: World Bank Group. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/702341468294931029>