

Perlindungan Hukum terhadap Lingkungan Hidup dalam Pemanfaatan Panas Bumi di Kawasan Songgoriti Kota Batu Jawa Timur

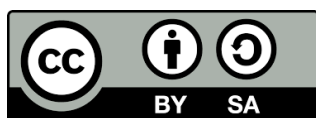
Dufan Octa Ardiansyah*, Sofyan Arief, Achmad Daffa Meilana Rifqi

Universitas Muhammadiyah Malang, Indonesia

Email: dufanocta5@gmail.com*

Keywords:

Environmental Protection; Law; Geothermal Energy; Songgoriti; Batu City.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2026 by Author.
Published by
Riviera Publishing

Kata Kunci:

Perlindungan Lingkungan;
Hukum; Panas Bumi; Songgoriti;
Kota Batu.

Abstract

Geothermal energy is one of the renewable energy resources that can support national energy security while reducing dependence on fossil fuels. Songgoriti, Batu City, East Java, is an area with geothermal manifestations in the form of hot springs and has been the subject of various studies concerning geothermal potential. However, geothermal utilization may potentially affect environmental conditions if it is not conducted in accordance with environmental protection and management principles. This study aims to analyze civil law protection of the environment in geothermal utilization in the Songgoriti area and to examine civil liability mechanisms when geothermal activities cause environmental or community losses. This research applies a normative juridical method using statutory and conceptual approaches. Primary legal materials consist of laws and regulations concerning geothermal activities, environmental protection and management, and environmental dispute settlement. The study finds that environmental protection in geothermal activities is not merely administrative in nature but also has a civil law dimension through liability mechanisms for environmental and community losses. Geothermal operators have obligations to prevent environmental pollution and/or damage and to undertake environmental restoration when their activities cause losses. Therefore, geothermal development in Songgoriti should integrate energy interests, ecosystem protection, and the rights of surrounding communities.

Abstrak

Panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi untuk mendukung ketahanan energi nasional sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Kawasan Songgoriti, Kota Batu, Jawa Timur merupakan salah satu wilayah yang memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan telah menjadi objek penelitian mengenai potensi geothermal. Di sisi lain, pemanfaatan sumber daya panas bumi berpotensi menimbulkan perubahan terhadap kondisi lingkungan apabila tidak dilaksanakan berdasarkan prinsip perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bentuk perlindungan hukum perdata terhadap lingkungan hidup dalam pemanfaatan panas bumi di kawasan Songgoriti serta menganalisis bentuk pertanggungjawaban perdata apabila kegiatan pemanfaatan panas bumi menimbulkan kerugian terhadap lingkungan dan masyarakat. Penelitian ini menggunakan metode penelitian hukum yuridis normatif dengan pendekatan perundang-undangan dan pendekatan konseptual. Bahan hukum primer berupa peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan panas bumi, perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, serta ketentuan mengenai penyelesaian sengketa lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlindungan hukum

terhadap lingkungan dalam kegiatan panas bumi tidak hanya bersifat administratif, tetapi juga memiliki dimensi keberdayaan melalui mekanisme pertanggungjawaban atas kerugian lingkungan dan kerugian masyarakat. Pengelola kegiatan panas bumi memiliki kewajiban untuk mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan serta melakukan pemulihan apabila kegiatan yang dilakukan menimbulkan kerugian. Oleh karena itu, pengembangan panas bumi di Songgoriti perlu dilaksanakan dengan mengintegrasikan kepentingan energi, perlindungan ekosistem, dan hak masyarakat sekitar.

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap energi terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk, aktivitas ekonomi, perkembangan industri, serta peningkatan kebutuhan masyarakat. Kondisi tersebut mendorong pemerintah untuk mengembangkan sumber energi alternatif yang mampu memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan. Salah satu sumber energi yang memiliki potensi untuk dikembangkan adalah panas bumi (Agustin & Wibawa, 2022; Daud et al., 2023; Hanatha & Hamid, 2024).

Panas bumi merupakan sumber daya alam yang dapat diperbarui dan memiliki karakteristik berbeda dengan sumber energi fosil. Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi menempatkan panas bumi sebagai sumber daya alam yang memiliki peranan penting dalam pembangunan nasional yang berkelanjutan. Undang-undang tersebut mengatur antara lain mengenai penyelenggaraan panas bumi, pengusahaan panas bumi, penggunaan lahan, hak dan kewajiban, pembinaan dan pengawasan, serta peran serta masyarakat (Ibrahim et al., 2022; Lestari et al., 2023; Maryadi et al., 2024; Massinai et al., 2026; Novianti et al., 2024).

Salah satu wilayah yang memiliki manifestasi panas bumi adalah kawasan Songgoriti di Kota Batu, Jawa Timur. Penelitian mengenai kondisi geologi dan geokimia kawasan tersebut menemukan adanya lima zona keluaran mata air panas dengan temperatur sekitar 31,2–48,2°C serta pH antara 6,66–7,29. Penelitian tersebut juga menginterpretasikan keberadaan sistem panas bumi dengan temperatur reservoir yang diperkirakan berada pada kisaran 200–220°C berdasarkan analisis geokimia.

Penelitian lain mengenai pemetaan geologi dan manifestasi panas bumi di Songgoriti menemukan beberapa mata air panas dengan karakteristik pH netral dan menginterpretasikan kawasan tersebut sebagai sistem panas bumi dominan air panas.

Songgoriti tidak hanya memiliki nilai dari sisi sumber daya energi, tetapi juga memiliki nilai sosial, ekonomi, pariwisata, dan lingkungan. Kawasan tersebut dikenal sebagai kawasan wisata dengan keberadaan mata air panas yang telah dimanfaatkan masyarakat (Nurohman et al., 2026; Pambudi & Ulfa, 2024; Pratama et al., 2024). Penelitian mengenai potensi geothermal di kawasan Candi Songgoriti juga mencatat keberadaan mata air panas yang dimanfaatkan dalam aktivitas pemandian.

Pada sisi kebijakan, pemerintah telah menetapkan Wilayah Kerja Panas Bumi di daerah Songgoriti yang meliputi Kabupaten Malang, Kabupaten Blitar, dan Kota Batu melalui Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2776 K/30/MEM/2014.

Kondisi tersebut menunjukkan adanya kepentingan untuk mengembangkan sumber energi panas bumi di satu sisi, namun terdapat pula kepentingan untuk mempertahankan fungsi lingkungan dan melindungi masyarakat di sekitar kawasan. Dengan demikian, pengembangan panas bumi tidak dapat hanya dilihat dari aspek energi dan ekonomi, tetapi juga harus dikaji

dari perspektif hukum lingkungan (Pratiwi et al., 2026; Setiawan et al., 2022; Zulaikah et al., 2023).

Dalam konteks hukum Indonesia, perlindungan lingkungan hidup telah memperoleh landasan melalui Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup sebagaimana telah mengalami perubahan melalui peraturan perundang-undangan terkait. Undang-undang tersebut mengatur berbagai aspek, termasuk hak dan kewajiban, peran masyarakat, pengawasan, sanksi administratif, serta penyelesaian sengketa lingkungan.

Persoalan kemudian muncul apabila kegiatan pemanfaatan panas bumi menyebabkan pencemaran atau kerusakan lingkungan yang menimbulkan kerugian terhadap masyarakat. Dalam keadaan demikian, persoalan tidak hanya berkaitan dengan kepatuhan administratif terhadap izin atau persyaratan lingkungan, tetapi juga berkaitan dengan pertanggungjawaban perdata, termasuk kemungkinan tuntutan ganti kerugian dan tindakan pemulihan lingkungan.

Oleh karena itu, penting untuk mengkaji bagaimana hukum memberikan perlindungan terhadap lingkungan dan masyarakat dalam kegiatan pemanfaatan panas bumi di kawasan Songgoriti, khususnya dari perspektif hukum perdata lingkungan.

Berdasarkan telaah terhadap penelitian sebelumnya, terdapat kesenjangan penelitian yang menjadi dasar urgensi penelitian ini. Pertama, belum ada penelitian yang secara khusus menganalisis perlindungan hukum perdata terhadap lingkungan hidup dalam pemanfaatan panas bumi di kawasan Songgoriti. Kedua, belum ada penelitian yang mengintegrasikan analisis perlindungan lingkungan dengan analisis pertanggungjawaban perdata dalam konteks kegiatan panas bumi. Ketiga, belum ada penelitian yang memberikan rekomendasi spesifik untuk perbaikan perlindungan hukum perdata dalam kegiatan panas bumi di kawasan Songgoriti. Penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) dengan menganalisis secara komprehensif dimensi keperdataan dari perlindungan lingkungan dalam kegiatan panas bumi, serta dengan memberikan rekomendasi untuk memperkuat perlindungan hukum perdata terhadap lingkungan dan masyarakat di kawasan Songgoriti.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: 1) Bagaimana pengaturan hukum mengenai perlindungan lingkungan dalam kegiatan pemanfaatan panas bumi di Indonesia? 2) Bagaimana bentuk perlindungan hukum perdata terhadap lingkungan dan masyarakat di kawasan Songgoriti, Kota Batu? 3) Bagaimana bentuk pertanggungjawaban perdata apabila kegiatan pemanfaatan panas bumi menyebabkan kerugian terhadap lingkungan dan masyarakat?

Penelitian ini bertujuan: 1) Menganalisis pengaturan hukum mengenai perlindungan lingkungan dalam kegiatan pemanfaatan panas bumi. 2) Menganalisis bentuk perlindungan hukum perdata terhadap lingkungan dan masyarakat di kawasan Songgoriti. 3) Menganalisis bentuk pertanggungjawaban perdata terhadap pihak yang menyebabkan kerugian akibat kegiatan pemanfaatan panas bumi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode yuridis normatif, yaitu penelitian hukum yang dilakukan dengan mengkaji norma hukum, asas hukum, konsep hukum, dan peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan objek penelitian.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas pendekatan perundang-undangan (*statute approach*) dan pendekatan konseptual (*conceptual approach*).

Pendekatan perundang-undangan digunakan untuk menganalisis berbagai ketentuan hukum yang berkaitan dengan panas bumi, perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, serta penyelesaian sengketa lingkungan. Sementara itu, pendekatan konseptual digunakan untuk menganalisis konsep pertanggungjawaban perdata, kerugian lingkungan, perlindungan masyarakat, dan prinsip pembangunan berkelanjutan.

Bahan hukum primer dalam penelitian ini meliputi Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi dan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup beserta perubahan dan peraturan pelaksanaannya. UU Panas Bumi secara khusus mengatur penyelenggaraan panas bumi, penggunaan lahan, hak dan kewajiban, pengawasan, serta peran serta masyarakat.

Bahan hukum sekunder diperoleh dari buku hukum, jurnal ilmiah, hasil penelitian, serta karya ilmiah yang relevan dengan panas bumi dan hukum lingkungan. Penelitian terdahulu mengenai kondisi geologi dan potensi panas bumi Songgoriti digunakan sebagai data pendukung untuk memberikan konteks terhadap objek penelitian.

Analisis dilakukan secara kualitatif dengan menghubungkan ketentuan hukum yang berlaku dengan permasalahan perlindungan lingkungan dalam kegiatan pemanfaatan panas bumi di kawasan Songgoriti.

HASIL PEMBAHASAN

Karakteristik Potensi Panas Bumi Kawasan Songgoriti

Songgoriti merupakan kawasan yang memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Keberadaan manifestasi tersebut telah menjadi objek berbagai penelitian ilmiah.

Penelitian geokimia yang dilakukan di wilayah Songgoriti menemukan lima zona keluaran mata air panas dengan temperatur antara 31,2–48,2°C dan pH 6,66–7,29. Hasil penelitian tersebut menunjukkan karakteristik geokimia yang mengindikasikan keberadaan sistem panas bumi di kawasan tersebut.

Penelitian lain menggunakan metode gravitasi untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan kawasan Songgoriti. Hasil penelitian tersebut mengidentifikasi beberapa lapisan batuan bawah permukaan dan struktur geologi yang berkaitan dengan sistem panas bumi. Namun, penelitian tersebut menyimpulkan bahwa berdasarkan model yang digunakan, potensi geothermal pada area penelitian relatif kecil.

Perbedaan hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kajian mengenai Songgoriti masih memiliki ruang untuk dikembangkan. Dalam konteks penelitian hukum, perbedaan tersebut tidak menjadi persoalan utama karena fokus penelitian bukan menentukan besarnya cadangan geothermal, melainkan menganalisis konsekuensi hukum dari pemanfaatannya.

Keberadaan sumber panas bumi perlu ditempatkan dalam kerangka pembangunan berkelanjutan. Pemanfaatan sumber daya alam tidak seharusnya hanya mempertimbangkan keuntungan ekonomi, tetapi juga harus mempertimbangkan keberlanjutan fungsi lingkungan dan kepentingan masyarakat.

Pengaturan Hukum Pemanfaatan Panas Bumi

Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2014 merupakan salah satu dasar utama penyelenggaraan panas bumi di Indonesia. Peraturan tersebut mengatur penyelenggaraan panas bumi, pengusahaan panas bumi untuk pemanfaatan langsung maupun tidak langsung, penggunaan lahan, hak dan kewajiban, pembinaan, pengawasan, serta partisipasi masyarakat.

Dari perspektif hukum lingkungan, pengusahaan panas bumi harus ditempatkan dalam kerangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 mengatur aspek perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, hak dan kewajiban, peran masyarakat, pengawasan, sanksi administratif, serta penyelesaian sengketa lingkungan.

Dengan demikian, terdapat dua kepentingan hukum yang harus diseimbangkan. Pertama, negara memiliki kepentingan untuk mengembangkan panas bumi sebagai sumber energi. Kedua, negara memiliki kewajiban untuk menjamin perlindungan lingkungan hidup dan kepentingan masyarakat.

Keseimbangan tersebut menjadi penting bagi kawasan Songgoriti karena kawasan tersebut memiliki fungsi lingkungan sekaligus fungsi sosial dan pariwisata.

Perlindungan Hukum Perdata terhadap Lingkungan dan Masyarakat

Perlindungan hukum perdata memiliki karakteristik berbeda dengan sanksi administratif maupun pidana. Dalam konteks lingkungan hidup, hukum perdata berfungsi memberikan mekanisme bagi pihak yang mengalami kerugian untuk memperoleh pemulihan atau ganti kerugian.

Apabila suatu kegiatan panas bumi menimbulkan pencemaran atau kerusakan lingkungan dan menyebabkan kerugian terhadap masyarakat, pihak yang mengalami kerugian pada prinsipnya membutuhkan mekanisme hukum untuk menuntut pertanggungjawaban pihak yang menyebabkan kerugian tersebut.

Kerugian dapat berbentuk kerugian ekonomi secara langsung maupun kerugian yang berkaitan dengan terganggunya pemanfaatan sumber daya lingkungan. Misalnya, apabila terjadi perubahan kualitas air yang dapat dibuktikan secara ilmiah dan perubahan tersebut menyebabkan masyarakat kehilangan manfaat ekonomi atau sosial tertentu, maka persoalan tersebut dapat memiliki dimensi keperdataan.

Namun, tuntutan perdata tidak dapat hanya didasarkan pada asumsi bahwa kegiatan panas bumi pasti menimbulkan kerusakan. Harus terdapat dasar pembuktian mengenai adanya perbuatan, kerugian, dan hubungan sebab akibat sesuai dengan dasar pertanggungjawaban yang digunakan.

Dengan demikian, perlindungan hukum perdata berfungsi sebagai instrumen remedial, yaitu memberikan jalan untuk memperoleh pemulihan atau kompensasi ketika kerugian lingkungan atau kerugian masyarakat benar-benar terjadi.

Pertanggungjawaban Perdata dalam Kegiatan Panas Bumi

Pertanggungjawaban perdata dalam kegiatan pemanfaatan panas bumi dapat dianalisis melalui beberapa konstruksi hukum.

Pertama, pertanggungjawaban berdasarkan perbuatan melawan hukum. Apabila suatu tindakan dalam kegiatan usaha terbukti memenuhi unsur perbuatan melawan hukum dan menyebabkan kerugian terhadap pihak lain, maka pihak yang dirugikan dapat menggunakan mekanisme gugatan perdata.

Kedua, pertanggungjawaban dapat dikaitkan dengan kewajiban pengelolaan dan perlindungan lingkungan. Kegiatan usaha tidak hanya dituntut menghasilkan manfaat ekonomi, tetapi juga harus memenuhi kewajiban lingkungan yang ditetapkan oleh peraturan perundang-undangan.

Ketiga, terdapat aspek pemulihan lingkungan. Dalam perspektif hukum lingkungan modern, penyelesaian kerugian tidak selalu cukup dilakukan dengan pembayaran uang kepada korban. Apabila terjadi kerusakan lingkungan, tindakan pemulihan terhadap lingkungan menjadi bagian penting dari penyelesaian.

Dengan demikian, apabila kegiatan panas bumi di Songgoriti pada masa mendatang menimbulkan kerusakan lingkungan yang dapat dibuktikan secara ilmiah, mekanisme pertanggungjawaban harus diarahkan bukan hanya pada kompensasi kepada masyarakat yang dirugikan, tetapi juga pada pemulihan fungsi lingkungan yang mengalami kerusakan.

Perlindungan terhadap Hak Masyarakat Sekitar

Masyarakat merupakan salah satu pihak yang berpotensi terdampak oleh kegiatan pemanfaatan sumber daya alam. Oleh karena itu, partisipasi masyarakat menjadi salah satu aspek penting dalam pengelolaan panas bumi.

UU Nomor 21 Tahun 2014 secara eksplisit memasukkan peran serta masyarakat dalam ruang lingkup pengaturan panas bumi.

Dalam konteks Songgoriti, partisipasi masyarakat menjadi semakin penting karena kawasan tersebut memiliki aktivitas sosial dan pariwisata yang berkaitan dengan keberadaan sumber mata air panas.

Masyarakat seharusnya memperoleh informasi yang memadai mengenai kegiatan pemanfaatan panas bumi, potensi dampaknya, serta langkah-langkah mitigasi yang disiapkan oleh pengelola.

Partisipasi masyarakat juga memiliki fungsi preventif. Dengan keterlibatan masyarakat sejak tahap perencanaan dan pengawasan, potensi konflik lingkungan dapat diidentifikasi lebih awal.

Dari perspektif hukum perdata, keterlibatan masyarakat juga penting karena masyarakat yang mengalami kerugian harus memiliki akses terhadap mekanisme penyelesaian sengketa yang efektif.

Keseimbangan antara Pengembangan Energi dan Perlindungan Lingkungan

Pengembangan panas bumi pada dasarnya tidak bertentangan dengan perlindungan lingkungan. Sebaliknya, energi panas bumi dapat menjadi bagian dari transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

Namun, predikat sebagai energi terbarukan tidak berarti kegiatan panas bumi bebas dari risiko lingkungan.

Setiap kegiatan eksploitasi sumber daya alam berpotensi menimbulkan perubahan terhadap lingkungan apabila tidak dikelola secara tepat. Oleh sebab itu, prinsip pembangunan berkelanjutan perlu ditempatkan sebagai dasar dalam pengembangan panas bumi di Songgoriti. Dalam konteks tersebut, terdapat tiga kepentingan yang perlu diseimbangkan:

1. Kepentingan energi, yaitu pemanfaatan panas bumi sebagai sumber energi terbarukan.
2. Kepentingan lingkungan, yaitu mempertahankan kualitas air, tanah, ekosistem, dan fungsi lingkungan.
3. Kepentingan masyarakat, yaitu menjamin keamanan, kesehatan, hak ekonomi, dan akses masyarakat terhadap lingkungan hidup yang baik dan sehat.

Ketiga kepentingan tersebut tidak seharusnya diposisikan sebagai kepentingan yang saling bertentangan. Pengelolaan yang baik justru harus menghasilkan model pemanfaatan panas bumi yang memberikan manfaat ekonomi sekaligus mempertahankan fungsi lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dikemukakan bahwa perlindungan hukum terhadap lingkungan dalam pengembangan panas bumi di Songgoriti harus dilakukan melalui pendekatan preventif dan represif.

Pendekatan preventif dilakukan sebelum terjadinya kerusakan melalui perencanaan, pengawasan, pemenuhan kewajiban lingkungan, pemantauan kualitas lingkungan, serta partisipasi masyarakat.

Sementara itu, pendekatan represif dilakukan ketika telah terjadi pelanggaran atau kerugian. Instrumen hukum perdata memiliki peranan penting pada tahap ini karena memungkinkan pihak yang mengalami kerugian untuk memperoleh pemulihan dan/atau ganti kerugian sesuai dengan dasar hukum yang berlaku.

Khusus untuk Songgoriti, aspek perlindungan air perlu mendapat perhatian khusus karena manifestasi panas bumi di kawasan tersebut berupa mata air panas yang juga memiliki fungsi sosial dan pariwisata. Penelitian sebelumnya mencatat bahwa mata air panas merupakan salah satu manifestasi utama sistem panas bumi Songgoriti.

Oleh karena itu, pemantauan terhadap kualitas dan kuantitas air perlu menjadi salah satu instrumen penting dalam pengelolaan kawasan.

Dalam konteks pertanggungjawaban, hubungan kausalitas juga menjadi aspek yang sangat penting. Tidak setiap perubahan lingkungan dapat secara otomatis dikaitkan dengan kegiatan panas bumi. Diperlukan data ilmiah yang dapat menunjukkan hubungan antara kegiatan tertentu dengan perubahan atau kerusakan lingkungan.

Hal tersebut menunjukkan pentingnya integrasi antara ilmu hukum dan ilmu lingkungan/geologi dalam penyelesaian sengketa. Data mengenai kualitas air, kondisi hidrogeologi, kondisi geologi, serta perubahan lingkungan dapat berfungsi sebagai bukti ilmiah dalam menentukan apakah suatu kegiatan benar-benar menyebabkan kerugian.

Dengan demikian, pendekatan hukum terhadap pengembangan panas bumi Songgoriti sebaiknya tidak hanya bersifat normatif, tetapi juga didukung oleh sistem pemantauan lingkungan yang dapat menghasilkan data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan.

KESIMPULAN

Pemanfaatan panas bumi di kawasan Songgoriti, Kota Batu, memiliki dasar pengembangan yang berkaitan dengan potensi sumber daya panas bumi yang telah diteliti melalui berbagai pendekatan ilmiah. Kawasan tersebut memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan telah ditetapkan sebagai bagian dari Wilayah Kerja Panas Bumi Songgoriti.

Perlindungan terhadap lingkungan dalam kegiatan pemanfaatan panas bumi tidak hanya dilakukan melalui instrumen administratif, tetapi juga memiliki dimensi hukum perdata. Apabila kegiatan panas bumi terbukti menyebabkan pencemaran, kerusakan lingkungan, atau kerugian terhadap masyarakat, mekanisme pertanggungjawaban perdata dapat digunakan sesuai dengan dasar hukum dan unsur pertanggungjawaban yang terpenuhi.

Pertanggungjawaban tersebut tidak semata-mata diarahkan pada pemberian ganti kerugian, tetapi juga perlu memperhatikan aspek pemulihan lingkungan. Dengan demikian, prinsip pemulihan lingkungan harus menjadi bagian penting dalam penyelesaian sengketa yang timbul akibat kegiatan pemanfaatan panas bumi.

Pengembangan panas bumi di Songgoriti perlu dilaksanakan dengan pendekatan pembangunan berkelanjutan yang menyeimbangkan kepentingan energi, perlindungan lingkungan, dan kepentingan masyarakat. Pengawasan kualitas lingkungan, transparansi informasi, partisipasi masyarakat, serta ketersediaan data ilmiah merupakan instrumen penting untuk mencegah dan menyelesaikan potensi konflik lingkungan.

REFERENSI

- Agustin, N., & Wibawa, A. (2022). Analisis data gravitasi untuk identifikasi struktur bawah permukaan daerah potensi panas bumi Cipari. *Jambura Geoscience Review*, 4(1), 22–32. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i1.12114>
- Daud, Y., Nuqramadha, W. A., Fitriastuti, A., Darmawan, D., Fahmi, F., Tifani, M. A., Tarmidi, S., Iskandar, C., & Ibrahim, R. F. (2023). Investigation of deep-seated heat source through 3-D magnetotelluric inversion in Arjuno-Welirang volcanic complex (East Java). *Geothermics*, 113, 102768. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102768>
- Hanatha, F. D., & Hamid, H. (2024). Integrasi metode gravity dan metode geomagnetik menggunakan dekonvolusi Euler untuk delineasi struktur pada sistem panas bumi di Kawasan Candi Umbul-Telomoyo, Magelang, Jawa Tengah. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 7(1), 19–28. <https://doi.org/10.14710/jgt.7.1.2024.19-28>
- Ibrahim, M. M., Utami, P., & Raharjo, I. B. (2022). Analisis struktur geologi berdasarkan data gravitasi menggunakan metode second vertical derivative (SVD) pada lapangan panas bumi “X.” *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 3(2), 59. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i2.76>
- Lestari, N. A. G., Maryanto, S., & Santoso, D. R. (2023). Derivative analysis for estimating subsurface structures in the Kawi-Songgoriti geothermal area. *AIP Conference Proceedings*, 2540, 60006. <https://doi.org/10.1063/5.0106820>
- Maryadi, M., Sari, E. K., Zarkasyi, A., & Mizunaga, H. (2024). Three-dimensional magnetotelluric and gravimetric imaging of Mount Lawu geothermal prospect area, Indonesia. *Geothermics*, 118, 102917. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2024.102917>
- Massinai, M. A., Grandis, H., Arisbaya, I., Wajedy, M. F., Fahrudin, F., & Massinai, M. F. I. (2026). Unveiling geothermal potential in Pinrang regency, Indonesia: Integrated geochemical and geoelectrical characterization. *Geothermics*, 136, 103565. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2025.103565>
- Novianti, E., Prastowo, T., & Realita, A. (2024). Analisis dan interpretasi anomali gravitasi untuk identifikasi potensi sumber panas bumi di Gunung Arjuno-Welirang. *Inovasi Fisika Indonesia*, 13(2), 13–24. <https://doi.org/10.26740/ifi.v13n2.p13-24>
- Nurohman, H., Nugraha, E. D., Sudrajat, Y., Iskandarsyah, T. Y. W. M., & Hendarmawan, H. (2026). Integrated geochemical, radon, and magnetotelluric approaches to assessing the Tampomas geothermal system, Indonesia: Implications for direct-use potential. *Geothermics*, 135, 103538. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2025.103538>
- Pambudi, N. A., & Ulfa, D. K. (2024). The geothermal energy landscape in Indonesia: A comprehensive 2023 update on power generation, policies, risks, phase and the role of education. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 114008. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114008>
- Pratama, H. B., Koike, K., Pratama, A. B., & Ashat, A. (2024). Model of a post-caldera volcano-hosted and vapor-dominated system through a numerical simulation study of the Bedugul geothermal field, Bali Island, Indonesia. *Geothermics*, 116, 102848. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102848>
- Pratiwi, R. N. J., Martha, A. A., Hartono, H., Wijayanti, R., Muckharom, A. A., Kinanti, A. S. A., & Ngaeni, N. P. N. (2026). Identification of subsurface geological structures of the Arjuno-Welirang geothermal potential area using the gravity method. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 22(1), 90–101. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v22n1.4573>
- Setiawan, A. D., Dewi, M. P., Jafino, B. A., & Hidayatno, A. (2022). Evaluating feed-in tariff policies on enhancing geothermal development in Indonesia. *Energy Policy*, 168,

113164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113164>
Zulaikah, S., Damayanti, C. S., Hafiz, Hapsoro, C. A., Laksono, Y. A., Iswanto, B. H., Herrin, J. S., & Hasan, M. F. R. (2023). Magnetic signature and element content of upflow and outflow hot spring in Arjuno-Welirang geothermal system. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(3), 1202–1209. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.3.18009>