

[BRIEFER] GEOTHERMAL DI INDONESIA: ILUSI ENERGI HIJAU BERKELANJUTAN

Suci Fitriah Tanjung



official.aksiforjustice



official.aksiforjustice



Aksi! for Justice



aksiforjustice.id

KATA PENGANTAR

Indonesia terletak di jalur Cincin Api Pasifik, memiliki sedikitnya 127 gunung berapi dan 40% cadangan geothermal dunia. Kapasitas yang ada di Indonesia meliputi kapasitas 11.998 Megawatt (MW) dan cadangan mencapai 17.546 MW. Akibatnya, Indonesia menjadi target investasi pengembangan energi geothermal dengan dukungan masif dari lembaga-lembaga keuangan internasional seperti Bank Dunia, Bank Pembangunan Asia, dan investasi perusahaan-perusahaan besar dunia. Alasan pengembangan ini adalah asumsi bahwa geothermal merupakan energi bersih yang rendah karbon dan berkelanjutan secara lingkungan. Apakah asumsi ini benar dengan melihat pengalaman komunitas-komunitas yang wilayahnya menjadi lokasi eksplorasi dan eksploitasi geothermal, merupakan salah satu fokus dari briefer ini. Briefer ini bertujuan memberi gambaran komprehensif mengenai geothermal dari sisi alasan pemanfaatannya, teknologi yang digunakan, dan dampaknya terhadap lingkungan dan komunitas yang berada wilayah lokasi pengembangan geothermal sebagai sumber energi.

Bagian awal briefer ini menjelaskan alasan menjadikan geothermal sebagai salah satu sumber energi untuk memenuhi komitmen Indonesia mencapai net carbon neutrality di tahun 2050. Kemudian dilanjutkan dengan pengenalan pengembangan geothermal sebagai s

umber energi, termasuk sejarah, cara kerja, serta teknologi yang digunakan. Diskursus kritis mengenai dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan dari pengembangan

geothermal sebagai sumber energi juga disajikan melalui pengalaman sejumlah proyek geothermal di Indonesia.

Pemanfaatan geothermal sebagai sumber energi di Indonesia yang dikatakan sebagai salah satu alternatif energi rendah karbon dan bersih, perlu dipertimbangkan lebih lanjut dengan belajar dari pengalaman masyarakat terdampak. Kami berharap bahwa briefer ini dapat menjadi rujukan dan pembelajaran bagi para pemangku kepentingan dalam keputusan mereka mengenai pemanfaatan geothermal sebagai sumber energi. Transisi hijau berkeadilan tidak hanya mempertimbangkan aspek sumber energi karbon rendah, tetapi juga harus memperhatikan aspek keadilan gender, sosial dan ekologis, dan taat terhadap prinsip-prinsip hak-hak asasi manusia dan hak-hak perempuan.

Jakarta, 21 Januari 2025

Titi Soentoro,

Aksi! for gender, social, and ecological justice.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR ISTILAH	vi
BAGIAN 1. PENDAHULUAN	1
Komitmen Indonesia Wujudkan Net Zero Emission	1
Pengembangan Geothermal di Indonesia	5
Politik Pendanaan di Balik Geothermal	8
BAGIAN 2. MENGENAL PROYEK GEOTHERMA	12
Apa itu Geothermal?	12
Sejarah dan Perkembangan Geothermal di Indonesia	18
Bagaimana Cara Kerja Geothermal?	24
Teknologi Pada Pembangkit Geothermal	29
BAGIAN 3. DISKURSUS GEOTHERMAL DALAM AGENDA TRANSISI ENERGI BERKEADILAN	34
Menjawab Klaim Geothermal sebagai Energi Rendah Emisi	35
Geothermal dan Zona Pengorbanan “Hijau”	38
Kerugian yang Tidak Dipertimbangkan dalam Proyek Geothermal	43
BAGIAN 4. BELAJAR DARI SEJUMLAH PROYEK GEOTHERMAL	47
Proyek Geothermal Sarulla: Belerang di Sawah dan Kebun hingga Ledakan yang Menakutkan	47

Proyek Geothermal Gunung Salak: Tiga Patahan Aktif yang Diabaikan	51
Proyek Geothermal Wayang Windu: Kampung Cibitung yang Tinggal Nama	54
Proyek Geothermal Lumut Balai: Ancaman Krisis Air hingga Harimau Sumatera yang Terganggu	58
Proyek Geothermal Sokoria: Di Balik Kisah Sukses, Ada Petani yang Dimiskinkan	60
Proyek Geothermal Lahendong: Membantah Keberhasilan PLTP	63
BAGIAN 5. KESIMPULAN	67
Geothermal sebagai Solusi Palsu	67
DAFTAR PUSTAKA	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Target Bauran Energi Primer 2025 dan 2030	3
Gambar 2. Peta Sebaran Potensi Panas Bumi Indonesia	4
Gambar 3. Peta Sebaran PLTP di Seluruh Indonesia	4
Gambar 4 Prioritas Penempatan Modal JETP	6
Gambar 5. Lapisan-Lapisan Bumi	8
Gambar 6. Ilustrasi Struktur Geologi pada Wilayah Panas Bumi	9
Gambar 7. Analogi Proses Terciptanya Panas Bumi Secara Sederhana	10
Gambar 8. Ilustrasi Dry Steam Power Plants	15
Gambar 9. Ilustrasi Flash System Power Plants	16
Gambar 10. Ilustrasi Binary Cycle Power Plants	16

DAFTAR ISTILAH

Geothermal	Energi panas yang berasal dari dalam bumi
PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi)	Fasilitas untuk menghasilkan listrik dari energi geothermal
<i>Net Zero Emission</i>	Kondisi di mana jumlah emisi karbon yang dihasilkan setara dengan karbon yang diserap
<i>Gradient Geothermal</i>	Kenaikan suhu bumi yang sebanding dengan kedalaman
<i>Reservoir Geothermal</i>	Ruang bawah tanah tempat fluida panas bumi terkumpul
Separator	Peralatan yang memisahkan uap dari air panas dalam sistem geothermal
<i>Injection Well</i>	Sumur injeksi untuk mengembalikan air ke reservoir geothermal
<i>Binary Cycle Power Plants</i>	Sistem PLTP yang menggunakan fluida kerja sekunder dengan titik didih lebih rendah
<i>Dry Steam Power Plants</i>	Teknologi PLTP yang hanya menggunakan uap panas
<i>Flash Steam Power Plants</i>	Teknologi PLTP untuk memanfaatkan air panas bersuhu tinggi

JETP (<i>Just Energy Transition Partnership</i>)	Kemitraan untuk mendukung transisi energi berkeadilan
Enhanced Geothermal System (EGS)	Sistem geothermal yang memanfaatkan batuan panas dengan rekayasa buatan
Supercritical Geothermal System (SGS)	Sistem geothermal dengan cairan superkritis pada suhu dan tekanan tinggi
Fumarole	Lubang kerak bumi yang mengeluarkan gas sulfur dan karbondioksida.
Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP)	Area eksplorasi dan eksploitasi geothermal yang ditentukan
Kapasitas Terpasang	Total kapasitas energi listrik yang dapat dihasilkan oleh suatu PLTP
Pencemaran H₂S (Hidrogen Sulfida)	Gas beracun yang dapat dihasilkan dari operasi geothermal
Deforestasi	Penggundulan hutan untuk pembangunan infrastruktur geothermal
Permeabilitas	Kemampuan batuan untuk ditembus fluida
Emisi gCO₂e/kWh	Ukuran emisi karbon yang dihasilkan oleh pembangkit listrik per kilowatt-hour



BAGIAN 1.

PENDAHULUAN

Komitmen Indonesia Wujudkan *Net Zero Emission*

Perubahan iklim menjadi isu penting yang muncul pada era global kontemporer. Bukan tanpa sebab. Pemanasan suhu bumi telah mengancam kehidupan seluruh makhluk. Cuaca ekstrem, krisis air dan pangan, bencana, hingga kepunahan menjadi momok yang menyeramkan yang dapat terjadi di masa yang akan datang jika perubahan iklim tidak diatasi.

Perjanjian Paris, yang disepakati pada *Conference of Parties* (COP) ke-21 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) tahun 2015, bertujuan untuk menghindari dampak buruk perubahan iklim dengan menjaga suhu rata-rata global tidak naik lebih dari 2° Celsius di atas suhu sebelum era industri dan mengupayakan agar kenaikannya tidak melebihi 1.5° Celsius.¹ Salah satu cara untuk mencapai tujuan tersebut adalah dengan mengurangi emisi karbon hingga 45% pada tahun 2030 dan mencapai apa yang disebut "*net zero emission*" pada tahun 2050.

¹ Indonesian Research Institute for Decarbonization, *Mengenal Net Zero Emission* (Jakarta: IRID, 2022), https://irid.or.id/wp-content/uploads/2022/07/2022.04.01-Dasar-Dasar-Net-Zero-Emission_SPREADS.pdf.

Net zero emission atau emisi nol bersih mengacu pada kondisi di mana jumlah emisi karbon yang dihasilkan sama dengan jumlah karbon yang diserap oleh bumi. Hal ini dinyatakan dalam Pasal 4.1 Perjanjian Paris sebagai keseimbangan antara emisi yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan penyerapan gas rumah kaca oleh penyerap alami.² Secara sederhana, target emisi nol bersih meniscayakan upaya-upaya untuk mengurangi emisi karbon ke dalam jumlah yang lebih kecil agar dapat diserap dan disimpan secara permanen oleh alam sehingga tidak ada residu yang tersisa di atmosfer yang dapat menimbulkan efek rumah kaca.

Saat ini, lebih dari 140 negara telah menetapkan target emisi nol bersih yang mencakup 88% dari total emisi global dengan memperkuat kontribusi yang ditetapkan secara nasional atau yang lebih dikenal dengan *Nationally Determined Contribution* (NDC).

Indonesia juga telah meratifikasi Perjanjian Paris ke dalam Undang-Undang No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to the United Nation Framework Convention* dan telah mengajukan NDC pada November 2016 yang memuat komitmen pengurangan emisi 29% dengan usaha mandiri dan 41% dengan dukungan internasional. Pada September 2022, Indonesia

² R. Kinley, "Climate change after Paris: from turning point to transformation," *Climate Policy* 17, no. 1 (2017): 9–15, <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1191009>.

memperkuat komitmen pengurangan emisinya menjadi 31.89% dengan usaha mandiri dan 43.20% dengan bantuan internasional serta target emisi nol bersih pada tahun 2060 atau lebih cepat yang disampaikan dalam dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC).³

Untuk menuju ke arah emisi nol bersih diperlukan transformasi total dalam seluruh aspek kehidupan, termasuk dalam cara produksi, konsumsi, dan distribusi. Sektor energi memegang peranan kunci sebab tiga perempat emisi gas rumah kaca atau setara dengan 38.5 GtCO₂e per tahun dihasilkan dari sektor ini.⁴ Oleh karenanya, transisi energi mencuat menjadi isu strategis dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca, tidak terkecuali di Indonesia.

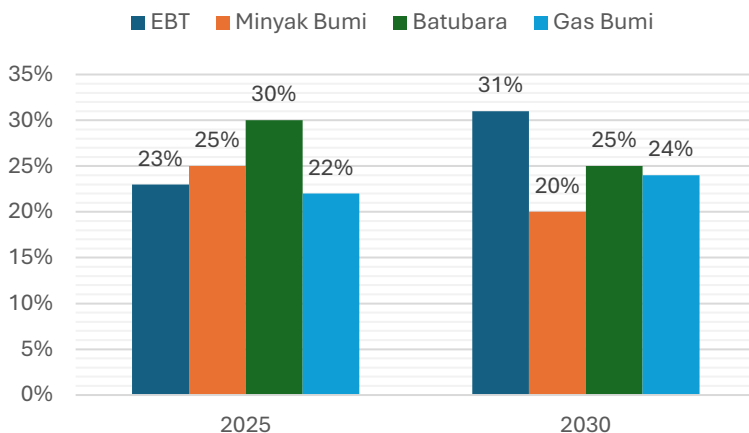
Komitmen pengurangan emisi yang disampaikan pemerintah Indonesia kepada dunia salah satunya mencakup sektor energi yang menyumbang 34.49% dari

³ Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, "Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia," 23 September 2022, dapat diakses melalui https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf.

⁴ United Nations Environment Programme, "Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again)" (Nairobi: United Nations Environment Programme, November 2023), <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43922>.

total kontribusi emisi Indonesia.⁵ Dalam Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional telah mengagendakan transformasi di sektor energi pada tahun 2025 dan 2050 di mana bauran energi primer diupayakan menurunkan proporsi energi fosil serta meningkatkan energi baru dan terbarukan.⁶

Gambar 1. Target Bauran Energi Primer 2025 dan 2030
(Sumber: LPEM FEB UI, 2023)



Target ini mendorong Indonesia untuk mengembangkan proyek-proyek energi non-fosil yang

⁵ Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, “Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia.”

⁶ Lembaga Penyelidikan Ekonomi dan Masyarakat, *Buku Putih: Analisis Bisnis dan Kebijakan untuk Mendorong Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Indonesia* (Depok: LPEM FEB UI, 2023).

dianggap potensial dan diklaim “ramah lingkungan” seperti energi geothermal.

Pengembangan Geothermal di Indonesia

Secara geografis, Indonesia terletak pada jalur Cincin Api Pasifik di mana 85% gunung api di dunia terkonsentrasi di wilayah ini. Tidak mengherankan jika Indonesia menjadi negara dengan gunung api aktif terbanyak di dunia, yakni mencapai 127 gunung yang tersebar hampir di seluruh wilayah. Hal ini pula yang membuat 40% cadangan panas bumi dunia berada di Indonesia.⁷ Saat ini, Indonesia memiliki sumber daya geothermal dengan kapasitas 11.998 Megawatt (MW) dan cadangan mencapai 17.546 MW.⁸ Jika seluruh potensi tersebut dimanfaatkan maka kapasitas produksi listrik saat ini dapat meningkat hingga 18%. Berikut adalah peta sebaran potensi panas bumi di Indonesia

⁷ Nugroho Agung Pambudi, “Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Elsevier Ltd, 1 Januari 2018), <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.096>.

⁸ CELIOS-WALHI, “Indonesia’s Geothermal Challenges: Amidst Potential and Exploitation in the Name of Energy Transition” (Jakarta, 2024).

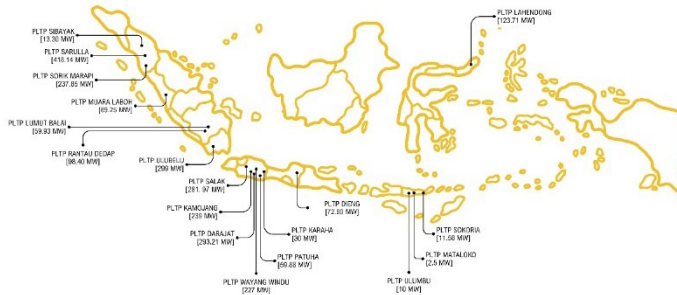
*Gambar 2. Peta Sebaran Potensi Panas Bumi Indonesia
(Sumber: Dewan Energi Nasional, 2023)*



Fakta ini membuat pemerintah Indonesia gencar melakukan pengembangan energi geothermal atau Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Menurut Handbook of Energy and Economic of Indonesia Tahun 2023 yang dirilis oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), dalam jangka waktu 10 tahun pembangunan PLTP meningkat dua kali lipat dari 9 titik yang tersebar di 6 provinsi pada tahun 2013 menjadi 18 titik pada tahun 2023 dengan sebaran yang meluas hingga 8 provinsi. Berikut adalah peta sebaran PLTP yang telah beroperasi di Indonesia pertahun 2023 berdasarkan data Kementerian ESDM.⁹

⁹ Kementerian ESDM, "Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia 2023" (Jakarta, 6 Juni 2023).

Gambar 3. Peta Sebaran PLTP di Seluruh Indonesia
(Sumber: Kementerian ESDM, 2023)



Sebaran PLTP di seluruh Indonesia sebagaimana digambarkan di atas telah menghasilkan 2.597,51 MW. Eksplorasi ini masih terbilang rendah dibandingkan dengan potensi panas bumi yang ditemukan tersebar di 252 titik mengikuti sebaran gunung api di Indonesia.¹⁰

Sejumlah kebijakan disiapkan pemerintah untuk mendukung percepatan pembangunan PLTP, termasuk kebijakan kemudahan perizinan yang dimandatkan UU Panas Bumi dan UU Cipta Kerja dalam rangka menarik investasi panas bumi sebesar-besarnya agar dapat memenuhi target pembangunan PLTP yang digadang akan menggantikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

¹⁰ Dewan Energi Nasional, “Outlook Energi Indonesia Tahun 2023” (Jakarta, Desember 2023), <https://den.go.id/publikasi/Outlook-Energi-Indonesia>.

berbahan bakar batubara untuk mencapai kondisi emisi nol bersih sebelum tahun 2060.¹¹

Maraknya pembangunan PLTP masih menyisakan sejumlah pekerjaan rumah. Karena transisi energi sebenarnya tidak semata-mata beralih dari energi fosil ke energi yang dianggap lebih ramah lingkungan tetapi lebih dari itu adalah transformasi sistem dalam rantai pasok energi. Pada kesempatan ini, mari kita beranjak pada sebuah pendiskusan mendalam untuk mengenal lebih jauh mengenai energi panas bumi dan diskursus apa yang ada di balik upaya pemanfaatannya.

Politik Pendanaan di Balik Geothermal

Dari sudut pandang kritis, politik pendanaan global di balik proyek geothermal di Indonesia dapat dipahami sebagai bagian dari dinamika kekuatan yang lebih luas dalam ekonomi politik global, di mana negara-negara berkembang seperti Indonesia sering kali berada dalam posisi rentan terhadap kepentingan politik dari lembaga keuangan internasional serta negara-negara maju.

Arus pendanaan untuk proyek geothermal, termasuk pinjaman luar negeri, mulai deras mengalir ke Indonesia. Bank-bank swasta multinasional dan lembaga-lembaga

¹¹ Savira Ayu Arsita, Guntur Eko Saputro, dan Susanto Susanto, "Perkembangan Kebijakan Energi Nasional dan Energi Baru Terbarukan Indonesia," *Jurnal Syntax Transformation* 2, no. 12 (24 Desember 2021): 1779–88, <https://doi.org/10.46799/jst.v2i12.473>.

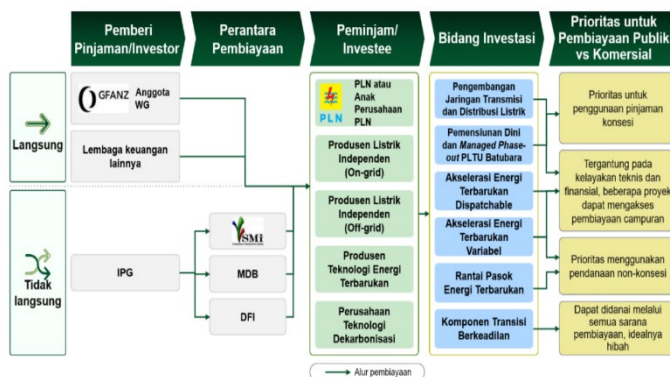
pembangunan multilateral dengan percaya diri memberikan pembiayaan kepada pengembang pembangkit geothermal, baik dari sektor swasta maupun perusahaan milik negara.¹²

Mobilisasi sumber daya keuangan global ini kemudian melatarbelakangi pembentukan *Just Energi Transition Partnership* (JETP) sebagai salah satu inisiatif yang dihasilkan dari pertemuan tahunan COP UNFCCC ke-26 yang diselenggarakan pada tahun 2021 di Glasgow, Inggris. JETP diusung oleh Pemerintah Perancis, Jerman, Inggris, Amerika Serikat, dan Uni Eropa, yang tergabung dalam *International Partners Group* (IPG), bekerja sama dengan Afrika Selatan untuk membantu melakukan upaya dekarbonisasi dalam konteks kebijakan iklim domestik, serta mendukung transisi ekonomi Afrika Selatan ke sumber energi yang lebih bersih. Salah satu fitur utama dalam JETP adalah penekanan pada transisi yang berkeadilan di dalam rencana investasi serta pendanaannya.

JETP yang dilakukan oleh IPG dengan Afrika Selatan diharapkan dapat menjadi model yang dapat direplikasikan ke negara-negara berkembang lainnya, terutama negara-negara yang memiliki ketergantungan tinggi pada energi fosil dalam membangun ekonominya, termasuk

¹² CELIOS-WALHI, "Indonesia's Geothermal Challenges: Amidst Potential and Exploitation in the Name of Energy Transition."

Indonesia.¹³ Di Indonesia, JETP telah mengkalkulasi peluang investasi untuk transisi energi di seluruh sektor tenaga listrik adalah sebesar USD 53 Miliar. Total ini sudah mencakup investasi di sektor panas bumi yang mencapai USD 22 Miliar, baik yang tercantum Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) maupun yang tidak.¹⁴ Berikut skema pendanaan prioritas transisi energi yang disiapkan Sekretariat JETP Indonesia:



Gambar 4 Prioritas Penempatan Modal JETP
(Sumber: JETP Indonesia, 2023)

Pendanaan global untuk proyek geothermal di Indonesia mencerminkan posisi rentan negara berkembang dalam ekonomi politik global, di mana ketergantungan pada

¹³ Ajeng Rachmatika dkk., "Policy Brief: Just Energy Transition Partnership (JETP) Indonesia" (Jakarta, Desember 2022), <https://irid.or.id/publication/>.

¹⁴ JETP Indonesia, "Rencana Investasi dan Kebijakan Komprehensif 2023" (Jakarta, 21 November 2023), <https://id.jetp-id.org/berita/pemetaan-hibah-jetp>.

lembaga keuangan internasional dan negara-negara maju bisa membatasi kemandirian Indonesia dalam menentukan arah transisi energinya. Aliran dana dari bank swasta multinasional dan lembaga pembangunan multilateral memberikan dorongan besar bagi pengembangan geothermal, tetapi juga membawa risiko ketergantungan pada modal asing dan pengaruh kebijakan eksternal. Ketergantungan ini membuat Indonesia berada di bawah pengaruh kepentingan politik global, yang mungkin tidak selalu sejalan dengan kebutuhan dan kondisi lokal.

Melalui Just Energy Transition Partnership (JETP), negara-negara maju bekerja sama untuk mendukung dekarbonisasi di negara berkembang, dengan Afrika Selatan sebagai proyek percontohan yang berpotensi direplikasi di Indonesia. Meskipun inisiatif JETP berkomitmen pada transisi yang berkeadilan, model ini mungkin memprioritaskan standar dan target yang ditentukan oleh pihak donor, sehingga dapat menghambat fleksibilitas Indonesia untuk menetapkan prioritasnya sendiri. Dengan estimasi kebutuhan investasi mencapai USD 53 miliar dalam sektor listrik, termasuk USD 22 miliar untuk geothermal, penting bagi Indonesia untuk mempertimbangkan keseimbangan antara manfaat transisi energi dan risiko peningkatan beban utang serta ketergantungan politik yang mungkin timbul dari skema pendanaan global ini.



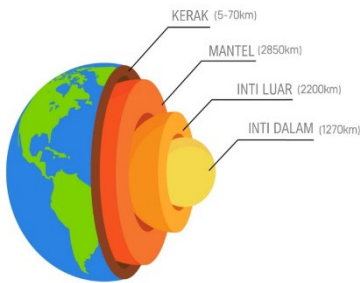
BAGIAN 2.

MENGENAL PROYEK GEOTHERMAL

Apa itu Geothermal?

Akhir-akhir ini mungkin kita sering mendengar istilah geothermal. Sumber energi yang dijadikan alternatif pengganti energi fosil ini mencuat menjadi salah satu proyek andalan pemerintah untuk mencapai tujuan emisi nol bersih dalam rangka menahan laju perubahan iklim. Tetapi, apa sebenarnya geothermal itu dan bagaimana cara kerjanya?. Berikut adalah pembahasannya.

Secara harfiah, kata geothermal diserap dari Bahasa Yunani yang terdiri dari kata “*geo*” yang berarti bumi dan “*thermal*” yang berarti panas. Geothermal dapat juga dipahami sebagai sumber energi panas yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi yang berasal dari pemanasan batuan dan air bersama unsur-unsur lain yang terkandung di dalamnya yang tersimpan di dalam kerak bumi.



Gambar 5. Lapisan-Lapisan Bumi

Bumi yang kita tinggali terdiri dari lapisan-lapisan kerak bumi, mantel, inti luar, dan inti dalam. Suhu di bawah permukaan bumi akan bertambah tinggi selaras dengan bertambahnya kedalaman posisi di

bawah permukaan bumi atau yang lazim disebut “*gradient geothermal*”. Tingginya suhu di bawah permukaan bumi dapat terjadi akibat proses subduksi atau tumbukan lempeng di bawah Samudra yang menyebabkan pencairan batuan padat menjadi magma. Magma tersebut mengalir melalui celah-celah bebatuan yang kemudian membentuk aktivitas gunung api. Oleh karena itu, sumber daya panas bumi yang besar kerap ditemukan di wilayah yang menjadi pertemuan lempeng bumi dan memiliki rangkaian gunung api seperti Indonesia.

Magma sebagai media yang mengalirkan energi panas berperan penting dalam ekspresi vulkanisme yang memberikan berbagai kenampakan topografi di permukaan bumi. Hasil letusan gunung berapi bukan saja menghasilkan kerucut-kerucut batuan dan batuan hasil pengerasan aliran lava tetapi topografi bekas letusan seperti kawah dan kaldera memberikan tanda kemungkinan adanya sumber panas bumi, terutama jika aktivitas vulkanik telah cukup statis. Indonesia menjadi tempat banyaknya gunung api yang juga dalam waktu panjang berkembang

menjadi daerah panas bumi. Di Indonesia banyak kenampakan topografi yang juga menjadi ciri manifestasi gejala panas bumi, seperti Danau Toba yang sesungguhnya adalah topografi kaldera yang telah menjadi akumulasi air permukaan menjadi danau. Di Jawa terdapat kaldera Gunung Tengger, di mana di dalamnya muncul gunung api anakan yakni Gunung Bromo, Butak, dan Widodaren.¹⁵

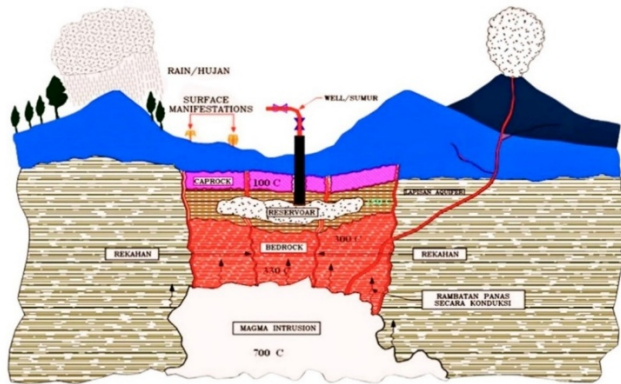
Sistem panas bumi memiliki beberapa parameter utama seperti sumber panas, reservoir, batuan penutup, saluran permeable, sumber fluida dan siklus hidrologi. Air hujan merembes ke dalam tanah melalui saluran pori-pori atau rongga-rongga di antara butir-butir batuan, sehingga air dengan leluasa menerobos turun ke batuan panas. Air tersebut terakumulasi dan terpanaskan oleh batuan panas, akibatnya suhu air meningkat, volume bertambah, dan tekanan menjadi tinggi. Tekanan yang tinggi menyebabkan air panas beserta mineral yang terlarut di dalamnya, naik ke permukaan melalui celah, retakan dan pori-pori yang berhubungan. Air dan mineral/material yang terlarut di dalam air muncul ke permukaan sebagai manifestasi proses sistem panas bumi.¹⁶

¹⁵ Untung Sumotarto, *Eksplorasi Panas Bumi*, ed. oleh Kartika Nurgahini (Yogyakarta: Penerbit Ombak, 2015), www.penerbitombak.com.

¹⁶ Suharno, *Eksplorasi Geothermal*, Pertama (Bandar Lampung: Penerbit Lembaga Penelitian Lampung, 2013).

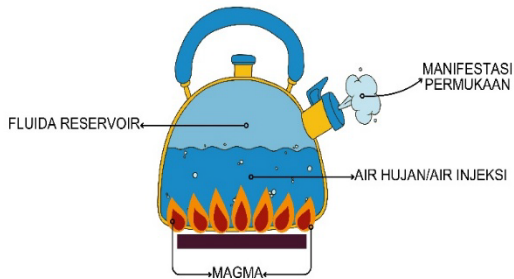
Oleh karena itu, manifestasi permukaan sebuah sistem panas bumi di suatu daerah vulkanik biasanya ditandai ketika fluida panas bumi (zat alir dalam wujud gas maupun cairan) merembes ke permukaan sepanjang rekahan atau melalui singkapan batuan-batuan permeabel (yang dapat ditembus atau dilewati fluida). Tergantung pada temperatur reservoir (ruang penampung) dan kecepatan alir, manifestasi permukaan ini dapat berbentuk rembesan, fumarole (lubang kerak bumi yang mengeluarkan sulfur dan karbondioksida), mata air panas, mata air mendidih, geyser (semburan air panas), kawah letusan freatik (letusan yang digerakan uap air di bawah tanah), dan zona-zona alterasi batuan asam (larutan asam sulfat yang menerobos batuan yang telah terbentuk). Selain itu, bisa terdapat endapan-endapan di sekitar mata air panas seperti sinter silika, travertine, dan/atau breksi berlapis yang mengelilingi kawah-kawah freatik.¹⁷ Berikut adalah ilustrasi struktur geologi pada daerah panas bumi.¹⁸

¹⁷ Sumotarto, *Eksplorasi Panas Bumi*.



*Gambar 6. Ilustrasi Struktur Geologi pada Wilayah Panas Bumi
(Sumber: Ermawati, Yuli et al., 2022)*

Untuk memahami proses pembentukan panas bumi secara sederhana, kita dapat merujuk pada analogi memasak air di dalam ketel di mana api yang berasal dari kompor seumpama magma yang memanaskan air, baik yang berasal dari hujan maupun yang diinjeksi secara sengaja. Hasil pemanasan air oleh magma tersebut menghasilkan fluida yang tersimpan dalam ruang penyimpanan (reservoir). Fluida dapat keluar menghasilkan manifestasi permukaan apabila terdapat celah seperti yang dapat kita amati dari lubang corong ketel.



*Gambar 7. Analogi Proses Terciptanya Panas Bumi Secara Sederhana
Sumber: Diolah oleh penulis*

Karakteristik yang muncul di permukaan berdasarkan tipe fluida yang dihasilkan membuat sistem geothermal dibagi ke dalam tiga jenis, yakni tipe dominasi air seperti karakteristik yang ditemukan di sistem geothermal Sumatera dan Gunung Salak, tipe dominasi uap seperti di kamojang dan Derajat, serta tipe dua fasa yang terdiri dari air dan uap seperti sistem geothermal di Wayang Windu dan Lahendong.¹⁹ Karakteristik ini pula yang membedakan teknologi pembangkit yang digunakan untuk mengkonversi fluida panas bumi menjadi tenaga listrik.

Dari penjelasan mengenai sumber daya panas bumi di atas, penting untuk kita memahami cara kerja eksplorasi dan eksploitasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas

¹⁹ Pertamina Geothermal Energy, “Eksplorasi dan Eksploitasi Geothermal” (Jakarta: Institute Teknologi Surabaya, Oktober 2023), diakses melalui https://www.its.ac.id/tgeofisika/wp-content/uploads/sites/33/2023/10/Pendahuluan-Eksplorasi-dan-Eksploitasi-Geothermal_Materi-Webinar-Teknik-Geofisika-ITS_Potensi-Panas-Bumi-Indonesia.pdf.

Bumi (PLTP). Namun sebelum itu, kita perlu melihat terlebih dahulu sejarah dan perkembangan geothermal di Indonesia berikut ini.

Sejarah dan Perkembangan Geothermal di Indonesia

Perkembangan geothermal di Indonesia sebenarnya bermula sejak tahun 1918 atau pada masa kolonial Belanda. Dimulai dari gagasan seorang guru *Hoogere Burgerschool te Bandoeng* (HBS Bandung) bernama J.Z van Dijk yang dituliskan dan dimuat di majalah “*Koloniale Studien*” dengan judul *Krachtbronnen in Italie* (dalam Bahasa Indonesia berarti Sumber Listrik di Italia).²⁰

Van Dijk mewacanakan pemanfaatan potensi energi panas bumi sebagai salah satu alternatif tenaga listrik dengan menunjukkan keberhasilan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Larderello, Tuscany, Italia. Van Dijk terkesan pada pemanfaatan energi panas bumi yang mulai dikembangkan oleh Piero Ginori Conti pada tahun 1904 yang membuat Italia berhasil membangun PLTP pertama di dunia pada tahun 1913 untuk memasok listrik ke pabrik tekstil milik

²⁰ Pambudi, “Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy.”

keluarga Lardarello yang namanya kemudian diabadikan menjadi nama wilayah itu.²¹

Gagasan Van Dijk inilah yang menjadi cikal bakal pembangunan PLTP Kamojang yang merupakan PLTP pertama di Indonesia. Meski baru beroperasi pada tahun 1983 dengan kapasitas 30 MW, namun proses eksplorasi pertama kali dimulai pada tahun 1926. Pada tahun 1928, terdapat lima contoh pengeboran untuk eksplorasi, tetapi setelah beberapa kali percobaan hanya satu sumur, yakni KMJ-3, yang berhasil menghasilkan uap kering pada kedalaman 66 meter. Eksplorasi kemudian terhenti dan dilanjutkan pada tahun 1972. Pada tahun 1974, Pertamina dan PLN bekerja sama dengan Geothermal Energy New Zealand Ltd. melakukan pemetaan geologi serta eksplorasi geokimia dan geofisika secara lebih rinci diikuti oleh pembangunan unit PLTP pertama di Kamojang.²² Aktivitas ini dilakukan berdasarkan Keputusan Presiden No. 16 Tahun 1974 yang secara khusus menugaskan Pertamina untuk melakukan survei dan eksplorasi panas bumi di Jawa-Bali dan di luar Jawa-Bali tugas tersebut diserahkan pada Direktorat Vulkanologi. Setelah itu, Pertamina diberikan mandat untuk menjual listrik ke PLN melalui Keputusan

²¹ Carlo Cariaga, "Larderello, Italy celebrates 120 years of geothermal electricity generation," Think Geoenergy, 5 Juli 2024, <https://www.thinkgeoenergy.com/larderello-italy-celebrates-120-years-of-geothermal-electricity-generation/>.

²² Pambudi, "Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy."

Presiden Nomor 22 tahun 1981 dan Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 10/P/M/MENTAMBEN/81.²³

Selain Kamojang, pemerintah Hindia Belanda juga melakukan pengembangan panas bumi di Dieng pada tahun 1918. Pada tahun 1964, UNESCO mengakui Dieng sebagai sumber daya panas bumi yang memiliki prospek baik di Indonesia. Pada tahun 1970, United States Geological Survey (USGS) mulai melakukan survey geofisika dan antara tahun 1976 dan 1994, PERTAMINA menyelesaikan 27 sumur uji. Baru pada tahun 1993 mulai memproduksi listrik melalui pengoperasian pembangkit listrik. Himpurna-California Association of Energy dan PERTAMINA selanjutnya mengadakan Kontrak Operasi Bersama.

Kapasitas terpasang Dieng adalah 60 MW, namun masih terdapat lebih dari 300 MW potensi yang belum tereksplorasi. Pada tahun 2008, kapasitas terpasang mengalami penurunan langsung dan signifikan sebesar 20 MW. Oleh karena itu, listrik yang disalurkan ke jaringan hanya 40 MW, dan pada tahun 2010 turun lagi menjadi hanya 20 MW. Penurunan ini disebabkan oleh kandungan silika yang sangat tinggi. Geodipa Energy berupaya memulihkan kapasitas produksi uap panas bumi dengan melakukan kerja ulang sumur-sumur produksi, khususnya

²³ Muhamad Azhar, "Aspek Hukum Kebijakan Geothermal di Indonesia," *Jurnal Law Reform* 11, no. 1 (2015): 123.

membersihkan lubang-lubang sumur bor yang telah menyempit.

Pengembangan PLTP Kamojang dan Dieng sebenarnya telah disandarkan pada isu transisi energi yang mengutamakan pengurangan ketergantungan pada minyak bumi melalui pengembangan bahan bakar non-minyak. Pada tahun 1981, pemerintah membentuk Badan Koordinasi Energi Nasional (BAKOREN) diketuai oleh Menteri ESDM yang memiliki tugas dalam merumuskan kebijakan bidang energi, merumuskan program pengembangan dan pemanfaatan energi, serta koordinasi pelaksanaan program energi. BAKOREN kemudian mengeluarkan Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE) dengan agenda utama transisi energi tersebut.²⁴ Jadi, PLTP Kamojang dioperasikan juga untuk memenuhi agenda transisi energi meski prioritas utamanya masih untuk mengganti energi minyak bumi ke batubara dan gas yang pada saat itu dianggap potensial dengan cadangan yang banyak. Hal ini dilakukan untuk menjawab dinamika global yang dipengaruhi oleh perang yang menyebabkan fluktuasi harga minyak dunia, kondisi cadangan minyak bumi yang tidak besar, serta kenaikan konsumsi bahan bakar minyak

²⁴ Hanan Nugroho, "Transisi Energi Indonesia: Janji Lama Belum Terpenuhi," Volume II (Jakarta, 2 Mei 2021).

yang berpengaruh pada peningkatan impor minyak Indonesia dan subsidi yang mengganggu kesehatan APBN.

Pembangunan PLTP kemudian dilanjutkan di sejumlah titik eksplorasi dan eksplotasi panas bumi seperti PLTP Gunung Salak dan Darajat yang dikembangkan oleh Unoval Geothermal Indonesia (UGI) yang merupakan anak perusahaan Chevron bekerja sama dengan Pertamina, PLTP Lahendong yang pengembangannya dilakukan sejak tahun 1971 atas kerja sama antara Jerman-Indonesia, PLTP Mataloko yang telah diidentifikasi sejak tahun 1997 dan dioperasikan saat ini oleh PLN, KESDM, dan Pemerintah Kabupaten Ngada dengan kapasitas 2,5 MW²⁵, serta titik-titik lainnya di seluruh Indonesia yang hingga saat ini berjumlah 18 Pembangkit.

Pembangunan PLTP semakin gencar sebab telah mencuat menjadi salah satu energi alternatif yang dikembangkan untuk memenuhi komitmen penurunan emisi dan mencapai emisi nol bersih. Presiden Susilo Bambang Yudhoyono dalam pidatonya di forum *World Geothermal Congress* tahun 2010 di Bali pernah menyampaikan target ambisius Indonesia untuk melipatgandakan produksi energi listrik panas bumi²⁶ menjadi hampir empat kali lipat dari

²⁵ Pambudi, "Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy."

²⁶ Hillary Brenhouse, "Indonesia Seeks to Tap its Huge Geothermal Reserves," *The New York Times*, 26 Juli 2010, https://www.nytimes.com/2010/07/27/business/global/27iht-renindo.html?_r=1&ref=geothermal-power.

output pada saat itu – dari 1.189 MW (2010) menjadi 3.967 MW - paling lambat tahun 2014. Dalam rapat antara Dewan Energi Nasional (DEN) dan DPR bulan Mei 2010 saat memaparkan Tujuh Pokok Arah Kebijakan Energi Nasional, Presiden selaku ketua DEN pertama-tama menyebut energi panas bumi sebagai fokus arah kebijakan energi terbarukan, baru diikuti oleh energi-energi terbarukan lainnya. Rencana ini diletakan pada program Percepatan Pembangunan Pembangkit Listrik 10.000 MW Tahap II dalam kerangka Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) 2011-2025.²⁷

Dalam situasi saat ini, Indonesia memiliki rencana agresif untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi di masa depan. Pada tahun 2005 target peta jalan panas bumi telah dirilis untuk menghasilkan 9500 MW. Namun, target ini kemudian dievaluasi menjadi lebih realistis menjadi 7000 MW pada tahun 2025. Pada tahun 2016 tambahan dari 35 MW Kamojang unit-5, 40 MW Lahendong 2 × 20 MW dan 55 MW Ulubelu unit-3 telah diresmikan. Selanjutnya, lima pembangkit lagi dioperasikan di Ulubelu, Lahendong dan Sarulla, Karaha bodas dan Lamut balai. Untuk mempromosikan lebih banyak pengembangan energi panas bumi, pemerintah telah mengeluarkan undang-undang seperti Undang-Undang No.

²⁷ Sigit Setiawan, “Energi Panas Bumi dalam Kerangka MP3EI: Analisis terhadap Prospek, Kendala, dan Dukungan Kebijakan,” *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan* 20, no. 1 (2012): 57–69.

21 tahun 2014 yang merupakan perubahan dari kebijakan Undang-Undang No. 27 tahun 2003. Poin penting dari revisi tersebut adalah bahwa pembangkitan listrik tenaga panas bumi tidak lagi digolongkan sebagai operasi penambangan.²⁸

Bagaimana Cara Kerja Geothermal?

Seperti pembangkit listrik pada umumnya, pemanfaatan panas bumi sebagai pembangkit listrik juga memiliki komponen yang sama. Komponen tersebut terdiri dari generator, turbin sebagai penggerak generator, alat untuk mentransfer panas (*heat exchanger*), alat pendingin (*chiller*), pompa, separator, dan beberapa komponen lainnya.

Energi panas bumi bisa diperoleh melalui pengeboran (*drilling*) hingga ke reservoir di kedalaman 1.500-2.500 meter. Fluida panas yang ada di dalam reservoir lalu dialirkan untuk menggerakkan turbin dan memutar generator pada PLTP sehingga menghasilkan energi listrik. Setidaknya, terdapat empat sistem ekstraksi geothermal, di antaranya adalah sebagai berikut:

²⁸ CELIOS-WALHI, "Indonesia's Geothermal Challenges: Amidst Potential and Exploitation in the Name of Energy Transition."

1. Engineered/Enhanced Geothermal System (EGS)

Sistem panas bumi alami, yang dikenal sebagai sistem hidrotermal, memerlukan tiga elemen penting untuk menghasilkan listrik: panas, fluida, dan kemampuan fluida untuk bergerak melalui batuan bawah tanah (permeable). Namun, di banyak daerah, batuan bawah tanahnya panas tetapi tidak memiliki cukup celah alami sehingga tidak menghasilkan fluida. Dalam situasi ini, maka EGS dapat dilakukan dengan melakukan rekayasa membuat reservoir buatan untuk memanfaatkan batuan panas tersebut sebagai sumber energi.²⁹

EGS dilakukan untuk meningkatkan dan/atau menciptakan sumber daya panas bumi di batuan kering panas dengan membuat rekahan pada batuan dan menyuntikkan air dingin bertekanan tinggi melalui sumur injeksi ke dalamnya. Air dipanaskan oleh batuan panas dan dapat digunakan sebagai fluida panas bumi buatan untuk menghasilkan listrik.³⁰ Sistem ini mengebor sumur sedalam 5-7 km ke dalam batuan dasar kristal dengan suhu lebih dari 180° Celsius. Pembangkit listrik EGS dioperasikan

²⁹ Nidia S Caetano, Florinda F Martins, dan Gisela Marta Oliveira, "Life cycle assessment of renewable energy technologies," dalam *The Renewable Energy-Water-Environment Nexus*, ed. oleh Shahryar Jafarinejad dan Bryan S Beckingham (Elsevier, 2024), 37–79, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13439-5.00002-8>.

³⁰ János Szanyi, Ladislaus Rybach, dan Hawkar A. Abdulhaq, "Geothermal Energy and Its Potential for Critical Metal Extraction—A Review," *Energies* (Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 Oktober 2023), <https://doi.org/10.3390/en16207168>.

di Jerman dan Australia. EGS dapat dilakukan di mana saja di dunia, yang menawarkan kemungkinan untuk memperluas pembangkitan listrik panas bumi.

2. Advanced Geothermal System (AGS)

Advanced Geothermal System (AGS) atau lebih dikenal dengan *Closed-loop Geothermal Systems* adalah sistem ekstraksi panas bumi yang mengalirkan fluida melalui batuan di bawah permukaan untuk memanaskan cairan tersebut. Sistem ini bekerja seperti penukar panas yang tertutup di bawah tanah.³¹

Ada berbagai desain AGS yang berbeda berdasarkan bentuk, jenis fluida, dan prinsip fisika yang digunakan. Beberapa uji coba menunjukkan bahwa AGS bisa menarik karena dapat memperkirakan produksi panas dengan cukup akurat. Selain itu, AGS tidak memerlukan stimulasi reservoir, yang mengurangi risiko gempa dan penggunaan air. Secara teori, AGS bisa diterapkan di mana saja. Namun, sistem ini membutuhkan sumur yang sangat dalam untuk meningkatkan area permukaan perpindahan panas, yang bisa membuat biaya pengeboran menjadi tinggi. Tantangan lain termasuk penyelesaian sumur yang rumit dan memastikan area perpindahan panas yang cukup

³¹ Y. Sakai, "Advanced geothermal steam turbines," *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants*, 1 Januari 2017, 455–86, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100314-5.00019-1>.

dengan batuan di sekitarnya. Kelayakan komersial AGS mungkin tergantung pada penurunan biaya pengeboran.³²

3. Hybrid Geothermal System (HGS)

Energi panas bumi dicirikan sebagai sumber energi bermutu rendah dan umumnya memiliki efisiensi ekstraksi energi yang rendah pula. Oleh karenanya, inovasi untuk menggabungkan energi panas bumi dengan sumber energi terbarukan lainnya melalui sistem hibrida mulai dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan menutup kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh energi panas bumi, termasuk pengurangan biaya modal dan operasi yang dibutuhkan.³³ Energi panas bumi dapat dipadukan dengan banyak sumber energi yang berbeda tergantung pada ketersediaannya di wilayah eksplorasi.

Contoh sederhana dapat dipelajari dari sistem energi hibrida yang mengintegrasikan panas bumi dan tenaga surya dalam satu sistem pembangkit. Kolektor panas matahari dapat digunakan untuk menghasilkan energi termal tambahan agar menutupi defisit dari sistem panas bumi.³⁴ Selain itu, dapat juga digunakan untuk menstabilkan

³² Adam E. Malek dkk., "Techno-economic analysis of Advanced Geothermal Systems (AGS)," *Renewable Energy* 186 (1 Maret 2022): 927–43, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.012>.

³³ Abdul Ghani Olabi dkk., "Geothermal based hybrid energy systems, toward eco-friendly energy approaches," *Renewable Energy* 147 (1 Maret 2020): 2003–12, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.140>.

³⁴ Valentin Trillat-Berdal, Bernard Souyri, dan Gilbert Achard, "Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors," *Applied*

sistem panas bumi sementara panas bumi dapat digunakan sebagai sumber panas kedua untuk mendukung pembangkit listrik tenaga surya. Kombinasi ini umumnya disebut *Solar Assisted Ground Source Heat Pump* (SAGSHP). Sistem ini dianggap dapat mengurangi biaya operasional tahunan, meningkatkan efisiensi keseluruhan sebesar 3,6%, dan pengurangan emisi karbon meski modal awal yang diperlukan sangat signifikan dibandingkan dengan sistem.³⁵

4. Supercritical Geothermal System (SGS)

Sistem panas bumi superkritis sebagian besar dicirikan oleh suhu yang sangat tinggi dan reservoir alami berisi cairan dalam keadaan superkritis (misalnya, air pada suhu setidaknya 374° Celsius dan tekanan setidaknya 221 bar). Sistem ini (dan sistem lain yang mengalirkan air melalui bebatuan yang suhunya di atas 400° Celsius) disebut sebagai sistem “batuan super panas”.³⁶

Thermal Engineering 27, no. 10 (Juli 2007): 1750–55, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.07.022>.

³⁵ Scott Hackel dan Amanda Pertzborn, “Effective design and operation of hybrid ground-source heat pumps: Three case studies,” *Energy and Buildings* 43, no. 12 (Desember 2011): 3497–3504, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.014>.

³⁶ Keigo Kitamura dkk., “Evaluation of a potential supercritical geothermal system in the Kuju region, central Kyushu, Japan,” *Geothermics* 107 (1 Januari 2023), <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102602>.

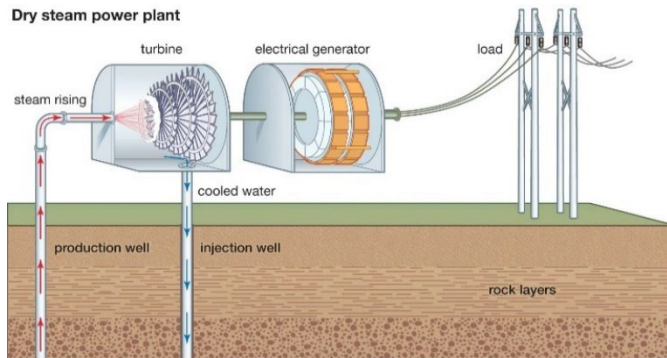
Mengakses sumber daya superpanas yang terjangkau dapat mengubah industri listrik tetapi akan memerlukan inovasi dalam pengeboran dan rekayasa reservoir. Air yang disuntikkan berubah menjadi bentuk superpanas. Superfluida yang oleh para ilmuwan disebut air 'superkritis' dapat menembus rekahan lebih cepat dan lebih mudah mengalir melalui sumur ke permukaan—kira-kira lima hingga sepuluh kali lipat energi yang diproduksi oleh sumur panas bumi komersial saat ini atau yang diprediksi untuk sumur rekayasa suhu rendah. Ini berarti bahwa beberapa sumur batuan superpanas dapat membawa energi komersial yang substansial ke permukaan. Sistem semacam itu akan cocok untuk sumber daya hidrotermal vulkanik. Sistem panas bumi superkritis menghadapi berbagai tantangan teknis. Cairan dengan entalpi (kalor reaksi) yang sangat tinggi sering kali sangat korosif.³⁷

Teknologi Pada Pembangkit Geothermal

Berdasarkan karakteristik panas bumi atau tipe fluida yang dihasilkan sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, teknologi pembangkit listrik panas bumi dibagi ke dalam tiga

³⁷ Mateo Acosta, Benoit Gibert, dan Marie Violay, "From brittle to ductile deformation in the continental crust: Mechanics of crystalline reservoirs and implications for hydrothermal circulation," dalam *Proceedings World Geothermal Congress* (Reykjavik: Research Gate, 2020), <https://www.researchgate.net/publication/351458674>.

tipe, yakni *Dry Steam Power Plants*, *Flash Steam Power Plants*, *Binary Cycle Power Plants*.³⁸

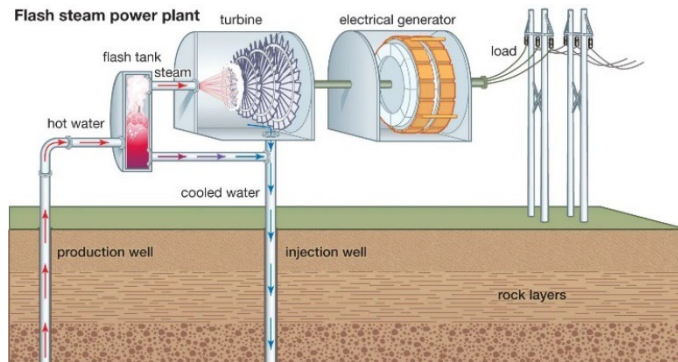


Gambar 8. Ilustrasi *Dry Steam Power Plants*
Sumber: *Encyclopædia Britannica*, 2012

Tipe *Dry Steam Power Plants* merupakan tipe yang dikembangkan pertama kali. Pada tipe ini biasanya digunakan pada reservoir yang didominasi uap panas (*steam*) dengan suhu di atas 225° Celsius. Sistem ini tidak menggunakan separator, jadi uap panas langsung diarahkan ke turbin untuk mengaktifkan generator sehingga dapat bekerja menghasilkan listrik. Sisa panas yang datang dari sumur produksi (*production well*) dialirkan kembali ke dalam reservoir melalui sumur injeksi (*injection well*). Pembangkit tipe tertua ini pertama kali digunakan di Lardarello, Italia, pada 1904 dimana saat ini masih berfungsi dengan baik. Di Amerika Serikat pun *dry steam*

³⁸ Moediyono, "Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi," *Gema Teknologi* 16, no. 1 (April 2010): 5–10.

power masih digunakan seperti yang ada di Geysers, California Utara.³⁹ Di Indonesia, sistem ini diterapkan di PLTP Kamojang.⁴⁰



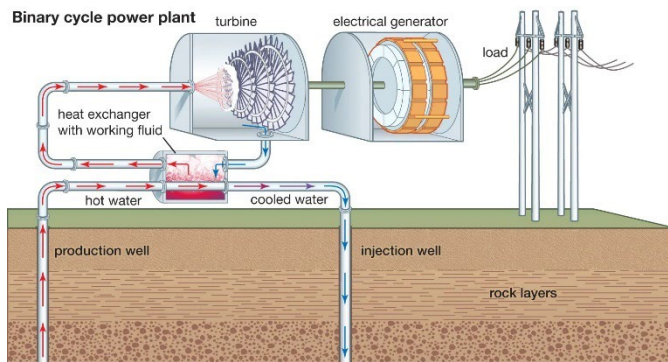
Gambar 9. Ilustrasi Flash System Power Plants
Sumber: Encyclopædia Britannica, 2012

Tipe *Flash Steam Power Plants* adalah sistem pembangkit listrik panas bumi di mana fluida didominasi oleh air dengan suhu di atas suhu 170°-225° Celsius. Berbeda dengan Dry Steam, teknologi ini menggunakan separator yang berfungsi memisahkan air panas dan uap. Selanjutnya uap panas yang telah terpisah dialirkan ke dalam tanki uap yang tekanannya lebih rendah sehingga

³⁹ Ibrahim Dincer dan Hasan Ozcan, "Geothermal Energy," dalam *Comprehensive Energy Systems*, ed. oleh Ibrahim Dincer (Oxford: Elsevier, 2018), 702–32, [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00119-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00119-X).

⁴⁰ Ice Fahmi dkk., "Peran Teknologi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Geothermal Guna Mendukung Tercapainya Net Zero Emission (NZE)," *Jurnal Kewarganegaraan* 6, no. 2 (2022).

uap panas dapat diproduksi secara cepat untuk menggerakkan turbin yang dapat menggerakkan generator agar listrik dapat dihasilkan. Air panas yang tidak terpakai akan diinjeksi kembali ke reservoir melalui sumur injeksi. Contoh dari *Flash Steam Power Plants* adalah PLTP Dieng di Wonosobo, Jawa Tengah dan Cal-Energy Navy I flash geothermal power plants di Coso Geothermal field, California, Amerika Serikat.⁴¹



Gambar 10. Ilustrasi Binary Cycle Power Plants
Sumber: *Encyclopædia Britannica*, 2012

Berbeda dengan teknologi pada dua tipe pembangkit panas bumi sebelumnya, Sistem *binary cycle* memanfaatkan air panas yang diambil dari reservoir. Air dari reservoir akan disalurkan menuju rangkaian pembangkit listrik melalui pipa, air panas tersebut kemudian didistribusikan ke masing-masing generator dalam rangkaian pembangkit

⁴¹ Chijindu Ikechukwu Igwe, "Geothermal Energy: A Review," *International Journal of Engineering Research and Technology* 10, no. 3 (2021): 655–661, www.ijert.org.

listrik yang saling terhubung. Setiap generator akan menghasilkan daya sendiri secara bersamaan. Dalam sistem biner ini, air reservoir tidak bersentuhan dengan turbin tetapi panasnya dipindahkan ke fluida kerja sekunder saat melewati kumparan di tangki. Karena fluida kerja sekunder memiliki titik didih yang lebih rendah daripada air, fluida ini akan menghasilkan uap dengan cepat dan uap tersebut akan disalurkan menuju turbin yang akan memutar poros pada generator sehingga menghasilkan listrik. Air panas yang telah melewati rangkaian pembangkit akan disalurkan kembali menuju reservoir melalui sumur injeksi sehingga dapat dipanaskan kembali oleh magma. *Binary Cycle Power Plants* ini merupakan sistem tertutup. Jadi, tidak ada buangan yang dilepas ke atmosfer pada saat produksi dilakukan. Keunggulan dari *Binary Cycle Power Plants* dapat dioperasikan pada suhu yang lebih rendah yaitu 90-175° Celsius.⁴²

⁴² M. El Haj Assad, E. Bani-Hani, dan M. Khalil, "Performance of geothermal power plants (single, dual, and binary) to compensate for LHC-CERN power consumption: comparative study," *Geothermal Energy* 5, no. 1 (1 Desember 2017), <https://doi.org/10.1186/s40517-017-0074-z>.



BAGIAN 3.

DISKURSUS GEOTHERMAL DALAM AGENDA TRANSISI ENERGI BERKEADILAN

Salah kaprah mengenai transisi energi hampir menjadi pandangan umum yang kerap dipromosikan oleh para pemangku kebijakan baik di tingkat nasional maupun global. Pemaknaan transisi energi yang hanya sebatas mengubah penggunaan sumber energi berbasis fosil yang tidak ramah lingkungan menjadi non-fosil telah menegasikan kerja sistem rantai pasok energi yang ringkih dan bermasalah serta rentan krisis.

Indonesia telah mengalami proses transisi energi secara besar-besaran sejak tahun 1970-an di mana karena situasi global yang tidak stabil akibat perang dan dinamika dalam negeri, kebijakan peralihan dari energi berbasis bahan bakar minyak ke gas dan batubara menjadi pilihan strategi pemerintah. Akselerasi pembangunan infrastruktur menjadi tinggi yang pada gilirannya menimbulkan dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan yang signifikan. Berkaca dari pengalaman tersebut, maka pengembangan dan pemanfaatan energi baru terbarukan, terutama geothermal, harus mengedepankan prinsip kehati-hatian agar tidak menimbulkan persoalan yang sama di kemudian hari.

Pemanfaatan energi geothermal di Indonesia baru mencapai 5% dari total target yang ditetapkan. Namun telah menimbulkan banyak persoalan, seperti perampasan ruang, kegagalan teknologi, hingga pada polusi yang dirasakan warga di sekitar PLTP. Ini menjadi preseden buruk dalam sistem energi yang berpeluang menimbulkan persoalan multidimensi. Situasi ini tidak terlepas dari diskursus dan kritik yang berkembang terhadap pilihan geothermal sebagai komoditas energi terbarukan. Berikut adalah penjabaran mengenai diskursus yang berkembang tersebut.

Menjawab Klaim Geothermal sebagai Energi Rendah Emisi

Energi panas bumi secara umum dianggap sebagai energi yang rendah emisi karena lebih sedikit memproduksi karbon dibandingkan dengan pembangkit energi terbarukan lainnya sehingga dapat mengurangi laju pemanasan global. Secara umum pernyataan ini tidak sepenuhnya benar.

Kawasan dengan potensi panas bumi umumnya menghasilkan gas rumah kaca alami seperti Karbondioksida (CO_2) dan Gas Metan (CH_4). Pembahasan di bawah ini akan difokuskan pada CO_2 yang diproduksi paling tinggi oleh PLTP dibandingkan gas lainnya.

Setidaknya terdapat tiga sumber utama CO_2 tersebut, yakni pertama, CO_2 dalam reservoir panas bumi berasal dari sumber yang sama dengan fluida panas bumi

itu sendiri. Fluida tersebut terlarut dalam fluida pengisian ulang, air laut atau air meteorik (hujan) saat memasuki sistem panas. Kedua, sebagian besar CO₂ berasal dari reaksi kimia antara batuan beku yang dominan dalam sistem panas bumi vulkanik dengan fluida. Terakhir, CO₂ dapat memasuki reservoir panas bumi dari bawah, baik dari sumber kerak atau mantel yang dalam atau dari badan magma, yang merupakan sumber panas dari sistem panas bumi vulkanik.⁴³ Gas rumah kaca alami ini dapat terekspos keluar pada masa eksplorasi dan pra-produksi energi panas bumi.⁴⁴

Pada tahap pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) emisi yang dihasilkan berkisar 2 sampai 20 gCO₂e/kWh dengan asumsi umur proyek 30 tahun. Hal ini juga sejalan dengan studi global di 85 PLTP yang beroperasi pada tahun 2021 di 11 negara dengan total kapasitas pembangkit 6,648 MW. Studi tersebut menunjukkan bahwa kisaran emisi CO₂ yaitu antara 4 sampai 740 gCO₂e/kWh, dan secara global rata-rata faktor emisi yang dihasilkan sebesar 122 gCO₂e/kWh. Data emisi CO₂ pada pembangkit listrik tenaga panas bumi di California periode 2011- 2013 juga menunjukkan bahwa

⁴³ Thráinn Fridriksson dkk., "Greenhouse Gas Emissions from Geothermal Power Production," dalam *42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* (Stanford University, 2017).

⁴⁴ Halldór Ármannsson, "CO₂ emission from geothermal plants," dalam *International Geothermal Conference* (Yeykjavik: Research Gate, 2003), 56–62, dapat diakses melalui: <https://www.researchgate.net/publication/228405084>.

faktor emisi CO₂ berkisar antara 150 sampai 300 gCO₂e/kWh dengan rata-rata 245 gCO₂e/kWh.⁴⁵

Produksi emisi ini memang terhitung kecil jika dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya, terlebih dengan energi fosil terutama batu bara. Namun, akumulasi produksi emisi yang dianggap lebih kecil tersebut tidak mempertimbangkan kapasitas penyerapan alami yang menurun akibat pembukaan lahan untuk pembangunan PLTP yang berada dalam kawasan-kawasan dengan kapasitas penyerapan karbon yang baik.

Di Indonesia, esensi ini luput dipertimbangkan sehingga aturan yang menetapkan energi panas bumi tidak lagi dianggap sebagai operasi penambangan dan melegalkan PLTP dibangun di kawasan-kawasan konservasi⁴⁶ sebagaimana termuat dalam Undang-undang (UU) Nomor 21 Tahun 2014, Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 108 Tahun 2015, dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) Nomor P.46/Menlhk/Setjen/Kum.1/5/2016 menjadi tidak sesuai

⁴⁵ Alimuddin dkk., "Analysis of CO₂ Emissions from Geothermal Power Plant Ulubelu and Its Contribution to Development of Electricity Generators in Lampung Province," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 9, no. 2 (6 Oktober 2019): 287–304, <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.2.287-304>.

⁴⁶ Nugroho Agung Pambudi dan Desita Kamila Ulfa, "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* (Elsevier Ltd, 1 Januari 2024), <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114008>.

dengan semangat menuju emisi nol bersih yang menghendaki upaya penurunan emisi dilakukan pada tingkat yang dapat diserap secara alami.

Baru-baru saja juga disahkan UU Nomor 32 Tahun 2024 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya (UU KSDAHE) yang disahkan pada 9 Juli 2024 lalu yang kembali menegaskan bahwa kawasan konservasi dapat dimanfaatkan untuk eksplorasi dan eksploitasi panas bumi.⁴⁷

Geothermal dan Zona Pengorbanan “Hijau”

Berkaca dari transisi energi dari minyak bumi ke batu bara di tahun 1980-an di mana konsesi tambang batu bara dan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tumbuh subur di seluruh Indonesia. Seiring itu pula, kerusakan ekosistem, pencemaran, krisis air bersih, perampasan lahan dan konflik agraria, hingga bencana yang menimbulkan kesengsaraan bagi banyak orang terjadi dari hulu hingga hilir. Ini belum termasuk pada masalah sosial yang muncul sebagai dampak lanjutan seperti kemiskinan, prostitusi yang meningkat, munculnya pekerja anak, kekerasan terhadap perempuan, migrasi penduduk, dan sebagainya. Dampak-dampak tersebut selayaknya

⁴⁷ Satrio Manggala, “Opini: Aturan Konservasi yang Mengancam Masyarakat Adat,” Koran Tempo, 16 Agustus 2024, <https://koran.tempo.co/read/opini/489554/masyarakat-adat-dan-uu-konservasi>.

dipandang serupa pada proyek energi terbarukan seperti geothermal.

Mengukur dan mengevaluasi transisi energi hanya pada kontribusi penurunan gas rumah kaca telah memberikan pemahaman parsial mengenai dampak yang luas, terutama terhadap masyarakat lokal dan ekosistem. Pembangunan infrastruktur pada sektor energi sejak awal kemunculannya telah menuai berbagai kritik. Kebutuhan lahan yang luas dan sumber daya alam penunjang produksi energi telah mensyaratkan wilayah-wilayah yang harus dikorbankan atau dikompromikan untuk memenuhi target pasokan energi. Inilah yang disebut sebagai zona pengorbanan “hijau” sebagai istilah umum yang mengacu pada dampak negatif lokal terkait praktik ekstraktif dengan *embel-embel* ramah lingkungan.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyatakan bahwa 330 lokasi yang memiliki potensi panas bumi di Indonesia berada pada kawasan hutan, baik hutan produksi, hutan lindung, maupun hutan konservasi.⁴⁸ Di Jawa Barat misalnya, berdasarkan laporan Kementerian ESDM, 649.911 hektar telah dilepaskan menjadi Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) untuk pembangunan PLTP di 11 titik dengan total kapasitas 700

⁴⁸ Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Siaran Pers: Pemanfaatan Panas Bumi untuk Kesejahteraan Rakyat,” ppid.menlhk.go.id, 9 Maret 2017, dapat diakses melalui https://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/556.

MW di mana WKP tersebut berada di dalam hutan konservasi, hutan lindung, hutan produksi, dan wilayah umum lainnya.⁴⁹

Air juga menjadi sumber daya penting yang menunjang kerja PLTP. Air digunakan dalam sistem kerja PLTP untuk pendinginan dan penginjeksian ulang. Setidaknya dibutuhkan 1.700 hingga 4.000 galon air per megawatt setiap jam. Meski pengembangan PLTP diklaim dapat menggunakan fluida panas bumi atau air bawah tanah namun tidak semua air yang dikeluarkan dari reservoir disuntikkan kembali karena sebagian hilang sebagai uap. Untuk mempertahankan volume air yang konstan di reservoir, air luar tetap harus digunakan. Injeksi air pasca pemanfaatannya ini penting untuk mempertahankan stabilitas tanah agar tidak terjadi bahaya penurunan muka tanah.⁵⁰ Penurunan muka tanah tercatat di sejumlah wilayah geothermal seperti di Wairakei, Selandia Baru, penurunan tanah mencapai 400 mm pertahun, sedangkan di Svartsengi, Islandia, penurunan

⁴⁹ Iwan Gunawan, Jaka Windarta, dan Udi Harmoko, "Overview Potensi Panas Bumi di Provinsi Jawa Barat," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* 2, no. 2 (5 Juli 2021): 60–73, <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11072>.

⁵⁰ Union of Concerned Scientists, "Environmental Impacts of Geothermal Energy," [uscusa.org](https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-geothermal-energy), 5 April 2013, dapat diakses melalui <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-geothermal-energy>.

tanah terjadi sekitar 10 mm pertahun, dan Larderello, Italia penurunan muka tanah mencapai 250mm pertahun.⁵¹

Secara geologi, ancaman yang ditimbulkan tidak saja berupa penurunan tanah tetapi juga peningkatan risiko dan frekuensi gempa bumi yang lebih intens. Pengalaman ini pernah terjadi di Pohang, Korea Selatan pada tahun 2017 di mana gempa berkekuatan 5,5 Magnitudo yang dipicu oleh proyek geothermal bertipe *Enhanced Geothermal System* (EGS) telah membuat puluhan orang terluka dan memaksa lebih dari 1.700 jiwa mengungsi.⁵² Hal serupa juga pernah terjadi di Kota Basel, Swiss pada tahun 2006 di mana akibat pompa air bawah tanah berkekuatan tinggi pada saat eksplorasi memicu gempa 3,4 Magnitudo yang berdampak pada kerusakan fisik. Bahkan setelah aktivitas dihentikan, ribuan gempa kecil masih terus terjadi.⁵³

Selain itu, pembangunan PLTP juga menimbulkan polusi suara dari aktivitas pengeboran pada tahap eksplorasi. Pengalaman ini pernah dirasakan oleh masyarakat adat di Desa Wapsalit, Pulau Buru, Maluku pada April 2024 lalu.

⁵¹ Hrefna Kristmannsdóttir dan Halldór Ármannsson, "Environmental aspects of geothermal energy utilization," *Geothermics* 32, no. 4–6 (2003): 451–61, [https://doi.org/10.1016/S0375-6505\(03\)00052-X](https://doi.org/10.1016/S0375-6505(03)00052-X).

⁵² Josie Garthwaite, "Lessons from Pohang," Stanford Report, 23 Mei 2019, dapat diakses melalui <https://news.stanford.edu/stories/2019/05/lessons-south-korea-solving-geothermals-earthquake-problem>.

⁵³ Sarah Freeman, "Geothermal energy could save the planet. But watch for earthquakes," *Wired*, 24 Maret 2021, dapat diakses melalui <https://www.wired.com/story/swiss-rock-lab/>.

Eksplorasi geothermal oleh PT. Ormat yang berjarak sangat dekat dari desa adat tersebut telah menimbulkan getaran dan suara ledakan yang diduga berasal dari pembangunan sumur panas bumi. Masyarakat yang ketakutan terpaksa mengungsi ke tempat yang berjarak 10 km dari kampung yang ditempuh dengan berjalan kaki melewati hutan, belukar, dan menyebrangi sungai pada malam hari.⁵⁴

PLTP juga dapat menimbulkan dampak pencemaran lingkungan. Pada sistem PLTP loop terbuka, misalnya, gas yang dihasilkan dapat juga berupa Amonia (NH_3), Boron (B), serta Hidrogen Sulfida (H_2S) yang berpotensi menimbulkan reaksi kimia di atmosfer menjadi sulfur dioksida (SO_2) yang berakibat pada hujan asam yang mengkontaminasi air, merusak tanaman, tanah, serta mengasamkan danau dan sungai. Meski pelepasan SO_2 tergolong kecil namun akumulasinya tetap berbahaya bagi kesehatan lingkungan. Selain itu, PLTP juga berpotensi menghasilkan merkuri dalam jumlah kecil. *Scrubber* yang merupakan komponen pada PLTP dianggap dapat mengurangi polusi udara namun menghasilkan lumpur berair yang memerangkap sulfur, vanadium, senyawa silika, klorida, arsenik, merkuri, nikel, dan logam berat lainnya.⁵⁵

⁵⁴ Edison Waas dan Christ Belseran, "Kala Proyek Panas Bumi Ancam Ruang Hidup Masyarakat Adat di Pulau Buru," Mongabay, 30 April 2024, <https://www.mongabay.co.id/2024/04/30/kala-proyek-panas-bumi-ancam-ruang-hidup-masyarakat-adat-di-pulau-buru/>.

⁵⁵ National Research Council, *Hidden costs of energy: unpriced consequences of energy production and use* (Washington: National Academies Press, 2010), <https://www.ourenergypolicy.org>.

Unsur-unsur ini dapat menjadi sedimentasi berbahaya atau dapat mengalir ke sumber-sumber air yang dimanfaatkan oleh manusia maupun makhluk hidup lainnya.

Proyek geothermal telah menjelma menjadi bentuk-bentuk baru ekstraksi, pemrosesan, aplikasi, dan pembuangan yang mencemari ekosistem, berdampak buruk pada keanekaragaman hayati, habitat, ekosistem yang berfungsi, dengan dampak selanjutnya pada kualitas udara dan air, dan kesehatan manusia. Risiko dan ancaman yang ditimbulkan oleh pembangunan PLTP seperti perampasan tanah, peminggiran terhadap masyarakat adat dari wilayah ulayatnya, ancaman kekeringan, pencemaran lingkungan, hingga bencana baik akibat kerusakan lingkungan maupun kegagalan teknologi, membuat penerimaan masyarakat terhadap proyek geothermal menjadi rendah. Hal ini pula yang memunculkan penolakan di sejumlah wilayah di Indonesia.

Kerugian yang Tidak Dipertimbangkan dalam Proyek Geothermal

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melalui Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE) mencatat bahwa melalui kegiatan perusahaan panas bumi, pihak pengembang telah menyetorkan bonus produksi sebesar Rp 185,18 miliar periode 2014 sampai dengan triwulan II tahun 2018. Bonus produksi ini wajib disetorkan oleh pengembang panas bumi kepada Pemerintah Daerah

Penghasil. Tercatat sebanyak 25 Kabupaten/Kota sebagai daerah penghasil yang telah menerima bonus produksi, dan Pemerintah Kabupaten Bandung merupakan penerima terbesar yaitu sebesar Rp 79,06 miliar.⁵⁶ Ini tentu menjadi kabar baik bagi sejumlah pihak, namun tidak bagi pihak yang dikorbankan dalam proyek tersebut.

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang telah menyandarkan ekonomi lokal, regional, dan nasionalnya pada industri ekstratif. Tidak mengherankan pemanfaatan panas bumi untuk memenuhi kebutuhan energi menjadi sangat diminati. Untuk mendukung pola ketergantungan tersebut berbagai argumentasi penguat dibangun terutama yang berkaitan dengan peluang investasi dan keuntungan ekonomi. Sementara, konsekuensi negatif yang dirasakan oleh pihak-pihak yang tidak terkait langsung pada sistem geothermal, seperti masyarakat dan komponen dalam ekosistem, tidak pernah diperhitungkan.

Kondisi lingkungan yang menjadi tidak layak huni akibat pengusahaan geothermal adalah salah satu dampak yang paling dirasakan oleh masyarakat setempat, termasuk masyarakat adat, perempuan, anak, disabilitas, dan kelompok rentan lainnya. Tantangan yang dihadapi oleh

⁵⁶ Humas EBTKE, "Pemerintah Daerah Raup 185 Miliar dari Bonus Produksi Panas Bumi," 6 November 2018, <https://ebtke.esdm.go.id/post/2018/11/06/2050/pemerintah.daerah.raup.185.miliar.dari.bonus.produksi.panas.bumi>.

kelompok-kelompok ini sering kali lebih besar dibandingkan kelompok lainnya, seperti meningkatnya kesulitan untuk mendapatkan akses terhadap air bersih, meningkatnya risiko kesehatan akibat polusi, dan terganggunya sumber penghidupan yang berkelanjutan.

Masyarakat adat, yang memiliki keterikatan kuat dengan tanah dan lingkungan sekitar, sering kali harus kehilangan akses ke sumber daya alam yang telah diandalkan secara turun temurun. Ini bukan hanya mengancam kelangsungan hidupnya secara ekonomi, tetapi juga mengancam keberlangsungan budaya, identitas, dan pengetahuannya.

Perempuan, yang biasanya bertanggung jawab atas pengelolaan rumah tangga dan perawatan keluarga, mungkin harus menempuh jarak lebih jauh untuk mendapatkan air bersih atau bahan pangan, karena lingkungan yang telah tercemar. Hal ini tidak hanya menambah beban kerja tetapi juga mengurangi waktu untuk kegiatan lain, seperti pendidikan atau partisipasi dalam kegiatan ekonomi. Anak-anak dapat menderita gangguan kesehatan jangka panjang akibat paparan polusi dan juga mungkin mengalami gangguan dalam pendidikan mereka jika keluarga harus pindah ke daerah lain.

Disabilitas dan kelompok rentan lainnya juga menghadapi dampak yang signifikan, seperti aksesibilitas yang menurun terhadap layanan kesehatan dan infrastruktur dasar yang semakin terbatas. Di banyak kasus, kebutuhan khusus sering kali diabaikan dalam perencanaan dan pelaksanaan

proyek geothermal, sehingga meningkatkan risiko marginalisasi lebih lanjut.

Meskipun bonus produksi yang diberikan kepada pemerintah daerah mungkin meningkatkan pendapatan dan memberikan manfaat jangka pendek, dampak sosial dan lingkungan yang tidak diperhitungkan dapat menimbulkan biaya yang jauh lebih besar dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan pendekatan yang lebih holistik dan inklusif serta tidak sebatas menyediakan biaya mitigasi dampak (*mitigate-at-all-costs*)⁵⁷ dalam pengembangan proyek geothermal, di mana kesejahteraan semua anggota masyarakat, termasuk kelompok yang paling rentan, harus menjadi prioritas utama dalam proses perencanaan dan implementasi.

⁵⁷ Teresa Kramarz, Susan Park, dan Craig Johnson, "Governing the dark side of renewable energy: A typology of global displacements," *Energy Research & Social Science* 74 (2021): 101902, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101902>.



BAGIAN 4.

BELAJAR DARI SEJUMLAH PROYEK GEOTHERMAL

Proyek Geothermal Sarulla: Belerang di Sawah dan Kebun hingga Ledakan yang Menakutkan

PLTP Sarulla dikembangkan di dua lokasi yaitu di proyek Silangkitang (SIL) dengan kapasitas pengembangan sebesar 1x110 MW (Unit I) dan proyek Namora - I - Langit (NIL) dengan kapasitas pengembangan sebesar 2x110 MW (Unit II dan III). Proyek ini berada dalam Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Gunung Sibual-buali dengan luas mencapai 437.458 Hektar.⁵⁸ Dalam booklet Sarulla 2019, pembangunan PLTP Sarulla dimulai pada Mei 2014 dan mulai beroperasi pada Maret 2017 dengan kapasitas pembangkit mencapai 330 MW dan total nilai proyek mencapai USD 1,7 Miliar.⁵⁹ Dari total biaya proyek tersebut, PLTP Sarulla memperoleh pinjaman dari *Bank for International Cooperation* (JBIC) dan *Asian Development Bank* (ADB) senilai USD 1 Miliar. PLTP Sarulla dikelola oleh

⁵⁸ Media Center ESDM, "Pemerintah Siapkan SKB," Kementerian ESDM RI, 18 Maret 2012, diakses melalui <https://www.esdm.go.id/id/media-center/news-archives/pemerintah-siapkan-skb>.

⁵⁹ Sarulla Operations Ltd., "Informasi Proyek PLTP Sarulla," Booklet Sarulla, 2019, dokumen dapat diakses melalui sarullaoperations.com/images/lookup/6149b705ddc961632220933.pdf

Sarulla Operations Ltd. yang merupakan konsorsium perusahaan terdiri dari Medco Power Indonesia, Itochu Corporation, Kyushu Electric Power Company, dan Ormat Internasional.⁶⁰

PLTP Sarulla merupakan pembangkit yang menggunakan teknologi *Binary Cycle* yang mengelola fluida panas bumi dengan suhu mencapai 100° hingga 200° Celsius dan tekanan mencapai 6-14 Bar. Fluida panas bumi di Sarulla berasal dari sumur produksi tipe dua fasa yaitu, fasa gas (*Steam*) dan fasa air panas di mana keduanya dipisahkan menggunakan separator.⁶¹

Pembangunan PLTP Sarulla mendapat penolakan dari masyarakat Toba di sekitar lokasi proyek yang lebih dari 80% bermata pencaharian sebagai petani. Namun, dalam dokumen Analisis Dampak Lingkungan yang dirilis oleh Pertamina Geothermal Energy dan Sarulla Operations Ltd mengklaim bahwa dari survei yang dilakukan pada tahun 2009 menyatakan 94,4% masyarakat di Pahae Julu dan 93,3% masyarakat Pahae Jae memberikan respon positif dan optimistis yang tinggi terhadap pembangunan

⁶⁰ Nisrina Syafa Hanifah, "Mengenal PLTP Sarulla, Proyek Energi Panas Bumi Terbesar di Dunia," [goodnewsfromindonesia.id](https://www.goodnewsfromindonesia.id), 2023, diakses melalui

<https://www.goodnewsfromindonesia.id/network/content/mengenal-pltp-sarulla-proyek-energi-panas-bumi-terbesar-di-dunia-51IQEP>.

⁶¹ Jonius Christian Harefa dan Nazaruddin Sinaga, "Tinjauan Singkat Sistem PLTP Siklus Gabungan Sarulla Menggunakan Ormat Energy Converter," *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan* 6, no. 2 (2022): 8–14.

PLTP sebab dapat memberikan peluang penyerapan tenaga kerja untuk masyarakat sekitar yang memiliki angkatan kerja cukup tinggi.⁶²

Persepsi tersebut bertolak belakang dengan kondisi faktual di lapangan di mana pembangunan PLTP Sarulla justru melahirkan konflik sosial. Pasalnya, proyek ini dinilai berisiko tinggi dan dapat menimbulkan degradasi lingkungan yang berdampak pada penurunan ekonomi masyarakat yang selama ini bergantung dengan kondisi lingkungan yang sehat. Penolakan masyarakat tersebut tidak digubris pemerintah dan pembangunan PLTP Sarulla dipaksa untuk terus dijalankan. Kekhawatiran masyarakat tersebut terbukti. Dua tahun pasca PLTP Sarulla beroperasi, masyarakat mengalami gagal panen yang signifikan. Tanaman hangus dan ditemukan buih-buih beraroma belerang yang muncul dari lubang-lubang di persawahan masyarakat. Aroma belerang sangat menyengat masuk ke kampung-kampung masyarakat. Dampak ini terasa hingga radius 20 Km dari lokasi PLTP Sarulla.⁶³

⁶² Pertamina Geothermal Energy dan Sarulla Operations Ltd, "Environmental Impact Statement: Development of Sarulla Geothermal Field and Power Plant of 330 MW Capacity" (Sumatera Utara, Agustus 2009), <https://www.adb.org/sites/default/files/project-documents/42916-01-ino-eia-02.pdf>.

⁶³ Della Syahni, "Keluhan Seputar Pembangkit Panas Bumi, Ada Omnibus Law Khawatir Perburuk Kondisi," Mongabay, 12 September 2020, <https://www.mongabay.co.id/2020/09/12/keluhan-seputar-pembangkit-panas-bumi-ada-omnibus-law-khawatir-perburuk-kondisi/>.

Tidak saja kerugian yang dialami akibat gangguan yang terjadi pada sumber-sumber kehidupan masyarakat. PLTP Sarulla juga sempat mengalami insiden pada sistem dan teknologi yang digunakan. Pada tahun 2015, ledakan terjadi pada uji coba sumur panas bumi di Silangkitang pada pukul 01.00 dini hari. Ledakan tersebut mengeluarkan suara yang keras dan kepulan asap yang tebal sehingga membuat panik masyarakat sekitar karena takut asap tersebut mengandung racun. Insiden ini menimbulkan kemarahan masyarakat sekitar hingga terjadi perkelahian dengan petugas PLTP.⁶⁴ Insiden tersebut bukanlah yang terakhir. Pada 2019, ledakan kembali terjadi di PLTP Unit 1 Silangkitang yang diidentifikasi berasal dari kebocoran selang dan pentana terbakar oleh panas dari generator portabel yang digunakan untuk penerangan tambahan di dekat selang di saat kontraktor melepas pentana.⁶⁵ Insiden ini mengakibatkan 1 orang tewas dan 2 orang mengalami luka-luka.⁶⁶ Atas dampak yang dialami masyarakat dan dua

⁶⁴ Feriansyah Nasution, "Ledakan Proyek PLTP Sarulla Buat Warga Panik," *Tribun News*, 23 April 2015, <https://medan.tribunnews.com/2015/04/23/ledakan-proyek-pltp-sarulla-buat-warga-panik>.

⁶⁵ Sarulla Operations Ltd., "Siaran Pers Sarulla Operations Ltd: Insiden di PLTP Uni 1 Silangkitang," *Sarulla Operations* (Jakarta, 27 Mei 2019), <https://sarullaoperations.com/media/press-release/5ceb8e6e4fa311558941294.pdf>.

⁶⁶ Robert Fernando Siregar, "Sumur Bor PLTP Sarulla Meledak, Satu Karyawan Tewas," *Oke Zone*, 5 Maret 2019, <https://news.okezone.com/read/2019/03/05/340/2026183/sumur-bor-pltp-sarulla-meledak-satu-karyawan-tewas>.

insiden yang terjadi, masyarakat di sekitar PLTP Sarulla menuntut pemerintah untuk menghentikan pengoperasian PLTP Sarulla sebelum dampak semakin besar dan korban jiwa semakin meningkat.

Proyek Geothermal Gunung Salak: Tiga Patahan Aktif yang Diabaikan

PLTP Salak dikelola oleh PT. Pertamina Geothermal Energi dan Star Energy Geothermal Salak. Kapasitas terpasang PLTP Salak saat ini sebesar 377 MW terbagi ke dalam 6 unit pembangkit dengan total area luas WKP sebesar 102.200 hektar. WKP ini berada di dalam hutan konservasi, hutan lindung, hutan produksi, dan sebagian besar di wilayah umum atau lainnya. Sistem panas bumi salak berlokasi di daerah pegunungan dengan kisaran ketinggian antara 950 sampai 1500 MDPL. Di bagian barat dari geothermal Salak terdapat Cianten Caldera yang merupakan gunung api yang lebih tua.⁶⁷ Dari 6 unit pembangkit yang dioperasikan, unit 1-3 memasok uap untuk pembangkit yang dioperasikan oleh PT. Indonesia Power sementara Unit 4-6 dioperasikan sendiri untuk memasok listrik yang dijual ke PLN.⁶⁸ Untuk mendapatkan dukungan

⁶⁷ Iwan Gunawan, Jaka Windarta, dan Udi Harmoko, "Overview Potensi Panas Bumi di Provinsi Jawa Barat," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* 2, no. 2 (2021): 60–73, <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11072>.

⁶⁸ Star Energy Geothermal Salak Ltd., "Laporan Keberlanjutan 2020: Reliable Operation During Pandemic" (Jakarta, 2020), dokumen dapat diakses di <https://www.starenergygeothermal.co.id/wp-content/uploads/2021/07/SR-SE-SALAK2020-WEB-1607.pdf>.

pada proyek PLTP Salak, Star Energi Geothermal menetapkan nilai *green bonds* (obligasi hijau) yang dijamin sebesar US\$1,11 miliar, yang dibagi menjadi dua tahap, yaitu US\$320 juta, dengan tingkat kupon sebesar 3,25%, dengan jangka waktu 8,5 tahun (jatuh tempo pada April 2029) dan US\$790 juta dengan tingkat kupon sebesar 4,85%, dengan jangka waktu 18 tahun (jatuh tempo pada Oktober 2038).⁶⁹ Kedua tahap tersebut dicatat pada *Singapore Exchange Securities Trading Limited*. Credit Suisse, DBS Bank Ltd dan Deutsche Bank merupakan *Joint Global Coordinator* untuk transaksi ini, dan didampingi oleh Barclays sebagai *Joint Bookrunners* dan BPI Capital sebagai *Co-Manager*.

Sistem panas bumi Salak merupakan reservoir yang didominasi oleh air dengan suhu tinggi dengan suhu melebihi 240° hingga 316° Celsius dengan tekanan mencapai 175 Bar dan entalpi pelepasan tinggi hingga 1.465 kJ/Kg).⁷⁰ PLTP Salak mengeksplorasi panas bumi melalui sumur dengan kedalaman mencapai 6,665 ft (2,032 m).⁷¹

⁶⁹ Star Energy Geothermal, "Star Energy Geothermal Group Menghimpun Dana Sebesar US\$ 1,11 Miliar dari penerbitan Green Bond," www.starenergygeothermal.co.id, 20 Oktober 2020.

⁷⁰ Glenn U. Golla dkk., "The Salak Field, Indonesia: On to the next 20 years of production," *Geothermics* 83 (1 Januari 2020), <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101715>.

⁷¹ Frederick Libert, "Evaluation of the Deepest Production Well in Salak Geothermal Field, Indonesia," dalam *Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal Convention and Exhibition (IIGCE)* (Jakarta:

Aktivitas pengeboran di PLTP Salak telah memicu aktivitas seismik berupa gempa bumi dengan intensitas dan frekuensi yang tinggi. Hal ini terjadi karena kawasan panas bumi Salak berada di wilayah rawan bencana gempa tinggi dan menengah yang dilintasi tiga patahan aktif.⁷² Warga di lereng Gunung Salak mengeluhkan gempa bumi yang terjadi lebih sering sejak PLTP Salak beroperasi. Indikasi tersebut terlihat pada gempa bumi bermagnitudo 3,2 yang terjadi pada 12 Oktober 2023. Ditemukan bahwa titik episenter gempa bumi terletak persis di tengah instalasi ekstraksi panas bumi dari PLTP Salak. Oleh karena itu, masyarakat meminta Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menelusuri secara mendalam keterkaitan antara PLTP Salak dengan peningkatan kejadian gempa bumi.⁷³

Selain itu, keberadaan PLTP Salak juga tidak memberikan dampak ekonomi yang baik untuk masyarakat sekitar. Pengelola mengklaim telah memberikan dana pertanggungjawaban sosial ke kecamatan di sekitar wilayah

Research Gate, 2017),
<https://www.researchgate.net/publication/319001433>.

⁷² Raden Ariyo Wicaksono, "Pascagempa Gunung Salak, BMKG Diminta Terbitkan Bahaya Geothermal," Betahita, Oktober 2023, <https://betahita.id/news/detail/9388/pascagempa-gunung-salak-bmkg-diminta-terbitkan-bahaya-geothermal.html?v=1697664337>.

⁷³ Jaringan Advokasi Tambang (JATAM), "Surat Terbuka Kepada BMKG," Jatam (Jakarta: Jatam.org, 17 Oktober 2023), dapat diakses melalui https://jatam.org/wp-content/uploads/2023/10/Surat-Terbuka-BMKG-17-Oktober-2023_tembusan.pdf.

PLTP. Tidak saja itu, 60 hingga 80 miliar dana bonus produksi telah didistribusikan ke Pemerintah Kabupaten (Pemkab) Sukabumi dengan proporsi 30% dan Pemerintah Desa (Pemdes) dengan proporsi 70%.⁷⁴ Namun, anggaran tersebut tidak dirasakan oleh masyarakat. Kecamatan Kabandungan dan Kalapanunggal yang menjadi lumbung kemiskinan di Sukabumi, misalnya, alih-alih merasakan dampak pembangunan dari PLTP Salak, masyarakat justru menjadi semakin rentan karena peningkatan potensi gempa bumi di tengah kondisi kemiskinan yang ekstrem.⁷⁵

Proyek Geothermal Wayang Windu: Kampung Cibitung yang Tinggal Nama

Wayang Windu merupakan proyek *Joint Operation Contract* (JOC) antara Star Energy Geotermal dan PT. Pertamina untuk mengembangkan sumber daya panas bumi di areal seluas luas area 146.500 Hektar (36,67 Km x 39,95 Km) berdasarkan SK MESDM No. 76K/034/M.PE/1989 tgl 25 Januari 1989.⁷⁶ Perjanjian

⁷⁴ Afdhalul Ikhsan dan Aprillia Ika, "Warga Sekitar Gunung Salak Dapat Bonus Produksi Panas Bumi," Kompas, 9 September 2021, <https://regional.kompas.com/read/2021/09/09/194350078/warga-sekitar-gunung-salak-dapat-bonus-produksi-energi-panas-bumi?page=all>.

⁷⁵ Ferry, "Berharap Panas Geothermal Gunung Salak di Lumbung Kemiskinan Sukabumi," Independen.id, 13 Maret 2024, <https://independen.id/berharap-panas-geothermal-gunung-salak-di-lumbung-kemiskinan-sukabumi>.

⁷⁶ Djati Murjanto, "Mampukah Menjawab Program Percepatan Energi di Indonesia?," *Warta Mineral, Batubara, dan Panas Bumi* (Jakarta, 7 Agustus 2010), www.djmbp.esdm.go.id.

penjualan energi antara Star Energy Geothermal, PT Pertamina dan PT. PLN, meliputi hak pengembangan listrik hingga 400 MW selama periode 42 tahun. Unit pertama PLTP Wayang Windu dengan kapasitas pembangkit listrik sebesar 110 MW selesai dibangun pada tahun 1999, dan telah berproduksi dengan kapasitas penuh sejak tahun 200. Kemudian unit kedua dari PLTP Wayang Windu dengan kapasitas pembangkitan sebesar 117 MW mulai dioperasikan pada bulan Maret tahun 2009. Secara total, PLTP Wayang Windu saat ini memasok total 227 MW listrik kepada jaringan transmisi listrik PT. PLN di Jawa, Madura, dan Bali.⁷⁷

Lapangan panas bumi Wayang Windu berada pada reservoir unik, yang merupakan transisi dari dominasi uap dan air pada area seluas 40 kilometer persegi, merupakan salah satu potensi yang sangat besar.⁷⁸ kapasitas terpasang saat ini sebesar 227 MW atau 16 persen dari produksi panas bumi untuk listrik nasional.⁷⁹

⁷⁷ Fridolin Malau, "Analisis Manfaat Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi: Studi Kasus PLTP Wayang Windu," dalam *Economics Student Conference*, ed. oleh Billy Cancerio dkk. (Bandung: Universitas Katolik Parahyangan, 2022).

⁷⁸ Riostantioka Mayandari Shoedarto dkk., "Application of Rare-Earth Elements in Spring Waters to Indicate Surficial Water-Rock Interaction Process in the Wayang Windu Geothermal Field, Indonesia," dalam *Proceedings World Geothermal Congress* (Reykjavik: Research Gate, 2020), <https://www.researchgate.net/publication/364209651>.

⁷⁹ Silvita Agmasari, "Wayang Windu Bagian Dari Potensi Panas Bumi Dunia," *National Geographic*, 5 Agustus 2016,

Pembangunan PLTP Wayang Windu menjadi tonggak kerusakan yang begitu masif di wilayah sekitar yang merupakan zona gunung api kuarter Jawa di mana aktivitas vulkanisme dan magmatisme sangat tinggi. Gunung Wayang Windu juga berada di atas sesar atau patahan Garsela. Stuktur sesar aktif ini merentang sepanjang 42 kilometer dari selatan Garut hingga selatan Bandung. Titik kulminasi kerusakan tersebut dirasakan masyarakat Cibitung pada 5 Mei 2015 pukul 14.30 WIB. Curah hujan yang tinggi di wilayah Pangalengan tidak mampu lagi ditampung oleh tanah-tanah lereng yang telah dialihfungsikan. Longsor tidak dapat terelakan. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat enam orang tewas, tiga orang hilang tertimbun, enam orang luka berat, tujuh orang luka ringan, dan 170 orang mengungsi. Sebanyak 32 unit rumah tertimbun hingga mengubur kampung Cibitung. Kampung Cibitung kini telah tinggal nama.⁸⁰

Pasca pembangunan PLTP Wayang Windu, masyarakat sekitar merasakan intensitas gempa-gempa kecil semakin meningkat. Sulit membedakan antara gempa bumi tektonik dan getaran yang diakibatkan oleh aktivitas

<https://nationalgeographic.grid.id/read/13306201/indonesia-wayang-windu-bagian-dari-potensi-panas-bumi-dunia>.

⁸⁰ Muhammad Akmal Firmansyah, "Geothermal dan Sebuah Kampung yang Hilang di Pangalengan," Bandung Bergerak, 17 November 2023, <https://bandungbergerak.id/article/detail/159084/geotermal-dan-sebuah-kampung-yang-hilang-di-pangalengan>.

pengeboran sumur panas bumi. Retakan tanah amblas telah menjadi pemandangan umum bagi masyarakat. Untuk mencegah bencana terjadi, masyarakat telah berupaya mulai dari melakukan penanaman pohon selama bertahun-tahun untuk mengantisipasi longsoran tanah hingga melakukan ritual tolak bala. Namun apa daya, masyarakat tak kuasa mencegah bencana. Longsor ini tidak saja menenggelamkan Kampung Cibitung tetapi juga memicu kegagalan teknologi di PLTP Wayang Windu. Longsor turut menimpa pipa saluran PLTP Wayang Windu yang mengakibatkan saluran uap terputus hingga menimbulkan ledakan yang besar.⁸¹

Pasca bencana, masyarakat Kampung Cibitung terpaksa harus membangun rumah di lokasi baru. Masyarakat menjual hewan ternaknya untuk membangun rumah dan menutup biaya kekurangannya dengan mengajukan pinjaman ke bank. Sementara masyarakat yang tidak memiliki sumber daya cukup harus mengontrak rumah. Alih-alih bertanggung jawab, pihak perusahaan dan pemerintah sibuk menyangkal bahwa longsor tidak dipicu oleh pengoperasian PLTP Wayang Windu.

⁸¹ DetikNews, "Ini Kata Star Energy Geothermal Soal Pipanya yang Meledak Akibat Longsor," Detik.com, 5 Mei 2015, <https://news.detik.com/berita/d-2906764/ini-kata-star-energy-geothermal-soal-pipanya-yang-meledak-akibat-longsor>.

Proyek Geothermal Lumut Balai: Ancaman Krisis Air hingga Harimau Sumatera yang Terganggu

PLTP Lumut Balai berlokasi di Desa Panindayan, Kecamatan Semendo Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Luas kawasan eksplorasi panas bumi di Lumut Balai seluas 130 hektar. Kegiatan pengeboran eksplorasi area unit I telah dimulai sejak tahun 2007. PLTP ini mulai beroperasi pada tahun 2019 memiliki kapasitas sebesar 55 MW. PT. Pertamina Geothermal Energy (PGE) menyelesaikan proyek ini seluruhnya, dari pengelolaan lapangan panasbumi hingga pembangkit listriknya. Di dalam zona inti area Lumut Balai terdapat sumur-sumur pengeboran untuk eksplorasi panas bumi. Dari sumur-sumur yang sudah dilakukan pengujian, tiap sumur memiliki kapasitas sekitar 15 MWe. Selain sumur eksplorasi, pada area Lumut Balai dibangun pusat konversi energi panas menjadi energi listrik.⁸² Pada akhir 2023, PGE bekerja sama dengan SEPCO III Electric Power Construction Co., Ltd, Jepang melalui Mitsubishi Corporation, dan BUMN PT. Wijaya Karya Tbk. untuk membangun unit II dengan kapasitas 110 MW yang ditargetkan selesai pada akhir 2024.⁸³ Tahun 2023, PLTP Lumut Balai mendapatkan

⁸² Media Center Kementerian ESDM, "Mengenal PLTP di Indonesia (4): PLTP Lumut Balai Unggulan Sumatera Selatan," Kementerian ESDM RI, November 2009, <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/mengenal-pltp-di-indonesia-4-pltp-lumut-balai-unggulan-sumatera-selatan>.

⁸³ Sultan Ibnu Affan, "PGEO Patok Pembangunan PLTP Lumut Balai Rampung Akhir 2024," Bloomberg Technoz, Desember 2023,

dukungan pendanaan dari Japan International Cooperation Agency (JICA) sebesar JPY26.966 miliar atau setara dengan USD188.618 juta.⁸⁴

PGE memiliki Izin Pinjam Pakai Kawasan Hutan (IPPKH) di hutan lindung Bukit Jambul Asahan seluar 133,27 Hektar. Dari eksplorasi hingga eksploitasi panas bumi oleh PGE, alih fungsi kawasan dan deforestasi terus terjadi. Mulai dari pengeboran sumur panas bumi, membangun dan mengoperasikan PLTP, membangun akses jalan, dan infrastruktur pendukung lainnya. Aktivitas ini berdampak pada penurunan kualitas air sungai, timbul getaran dari aktivitas pengeboran, hingga pada penurunan produksi masyarakat yang sebagian besar adalah petani kopi.

Aliran sungai Sepanas tercemari limbah dari kegiatan eksplorasi panas bumi Lumut Balai. Warna air berubah menjadi keruh diduga tercemar limbah beracun. Kondisi ini menyulitkan pemenuhan kebutuhan warga untuk mengakses air bersih.⁸⁵ Pencemaran bersumber dari

<https://www.bloombergtechnoz.com/detail-news/24251/pgeo-patok-pembangunan-pltp-lumut-balai-rampung-akhir-2024>.

⁸⁴ Hermansyah, "JICA beri pendanaan US\$188.618 juta kepada Pertamina Geothermal Energy," Alinea.id, 8 September 2023, <https://www.alinea.id/bisnis/jica-beri-pendanaan-us188618-juta-kep-pertamina-geothermal-b2hXo9OoJ>.

⁸⁵ Gite, "Sungai Sepanas Diduga Tercemar Limbah PT PGE," Sumatra Ekspres, Maret 2024, <https://sumateraekspres.bacakoran.co/read/41918/sungai-sepanas-diduga-tercemar-limbah-pt-pge-lumut-balai-cek-ke-lokasi/15>.

sediment trap PLTP Lumut Balai yang tidak mampu lagi menahan sedimentasi akibat intensitas hujan yang meningkat hingga berdampak pada tingginya kadar kekeruhan air. Tidak hanya itu, habitat harimau sumatera juga turut terusik karena pakan satwa yang semakin berkurang.⁸⁶ Harimau pun keluar dari habitatnya dan muncul di wilayah-wilayah aktivitas manusia. Pada tahun 2019, sedikitnya, tujuh kasus serangan harimau terjadi dalam kurun waktu dua bulan.⁸⁷

Proyek Geothermal Sokoria: Di Balik Kisah Sukses, Ada Petani yang Dimiskinkan

PLTP Sokoria berlokasi di Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur. PT. Sokoria Geothermal Indonesia sendiri merupakan *Special Purpose Company* (SPC) yang dibentuk oleh Konsorsium yang terdiri dari KS Orka Renewables Pte. Ltd. (Singapura) dengan saham 95%, PT. Bakrie Power (Indonesia) dengan saham 3%, dan PT. Energy Management Indonesia (Persero) dengan saham 2%. Saat ini, pihak pengembang PLTP, yaitu PT. Sokoria Geothermal Indonesia (SGI) telah melaksanakan kegiatan pengeboran 5 sumur eksplorasi yang dipusatkan di lokasi

⁸⁶ Taufik Wijaya, "Panas Bumi Sumatera Selatan, Antara Energi Bersih dan Habitat Harimau," Mongabay, 10 Maret 2024, <https://www.mongabay.co.id/2024/03/10/panas-bumi-di-sumatera-selatan-antara-energi-bersih-dan-habitat-harimau/>.

⁸⁷ Anugrah Ardiansyah, "Akhir 2019, Serangan Harimau ke Manusia di Sumsel Meningkat," VOA Indonesia, 31 Desember 2019, <https://www.voaindonesia.com/a/akhir-2019-serangan-harimau-ke-manusia-di-sumsel-meningkat/5226324.html>.

prospek Sokoria-Mutubusa (MTB). Adapun biaya untuk pengembangan proyek PLTP Sokoria dengan kapasitas sebesar hingga 30 MW mencapai USD 212,85 juta.⁸⁸ Proyek PLTP Sokoria luas lahan WKP 42.570 hektar (ha) yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri ESDM Nomor 1534 K/30/MM/2008 juga masuk di dalam kawasan Taman Nasional Kelimutu dan hutan produksi di sekitarnya.

Dalam hal teknologi yang diterapkan, PLTP Sokoria menggunakan suatu sistem yaitu model pembangunan bertahap. Model ini dikembangkan penuh oleh KS Orka, salah satu konsorsium di PLTP Sokoria, untuk meminimalkan risiko dan biaya operasional, mengubah setiap sumur dengan tekanan 4 bar atau lebih menjadi listrik. Hal ini tidak hanya mengurangi risiko pengeboran sumur yang tidak menghasilkan pendapatan, tetapi juga mempercepat proses pembangunan yang hanya membutuhkan waktu lima tahun untuk mencapai target kapasitas 220 MW. Kemudian dengan menggunakan *expander* sebagai pengganti turbin, perusahaan ini mampu menyederhanakan konversi energi menjadi listrik. model pengembangan bertahap menggunakan konsep pembangkit listrik modular dengan teknologi dari Kaishan Manufacture. Teknologi pembangkit listrik Kaishan memiliki

⁸⁸ Humas EBTKE, "PLTP Sokoria Ditargetkan Beroperasi Januari 2020," Direktorat Jenderal EBTKE - Kementerian ESDM, September 2019, <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/09/16/2336/pltp.sokoria.ditargetkan.beroperasi.januari.2020>.

fleksibilitas tinggi dalam hal karakteristik sumur. Sumur dengan tekanan rendah masih dapat digunakan untuk pembangkit listrik sehingga risiko bawah permukaan yang merupakan salah satu risiko terbesar dalam pengembangan panas bumi dapat diminimalkan.⁸⁹

Namun, di balik kisah “sukses” eksplorasi PLTP Sokoria ada masyarakat sekitar yang terdampak dari kegiatan tersebut. Masyarakat mengeluhkan sumber air yang selama ini digunakan oleh masyarakat tercemar dan menjadi ancaman. Perkebunan pertanian warga juga terdampak, tanaman rusak. Pertumbuhan tanaman dan buahnya menjadi terganggu. Karenanya, tidak ada hasil pertanian yang diperoleh warga sekitar kawasan PLTP. Hasil pemodelan ekonomi yang dilakukan CELIOS dengan metode IRIO (*Inter Regional Input-Output*) memproyeksikan keberadaan PLTP di tiga lokasi di Nusa Tenggara Timur (NTT), yakni Wae Sano, Sakoria, dan Ulumbu berisiko menurunkan pendapatan petani sebesar Rp470 miliar pada tahap pembangunan. Sementara kerugian terhadap output ekonomi mencapai Rp1,09 triliun pada tahun kedua proses ekstraksi geothermal. Sementara itu, jumlah tenaga kerja diperkirakan menurun 20.671 orang di tahun pertama dan 60.700 orang di tahun kedua. Kecenderungan proyek geothermal yang padat modal tidak

⁸⁹ Ibnu Prabowo, “Model pengembangan bertahap KS Orka meningkatkan keberhasilan proyek panas bumi,” Asian Power, 2023, <https://asian-power.com/indonesian/exclusive/model-pengembangan-bertahap-ks-orka-meningkatkan-keberhasilan-proyek-panas-bumi>.

terlalu membawa dampak berganda terhadap ekonomi lokal. Sebaliknya, bagi ekonomi lokal kehadiran geothermal sering dipandang sebagai penghambat produktivitas di sektor pertanian dan perikanan.⁹⁰

Proyek Geothermal Lahendong: Membantah Keberhasilan PLTP

Geothermal Lahendong berlokasi di Tomohon, Sulawesi Utara. Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Lahendong memiliki 39 sumur tersebar di 11 klaster, yakni Wilayah Lahendong dengan rincian 14 sumur produksi, enam sumur reinjeksi, dan 19 sumur monitor. Sumur-sumur tersebut tersebar di unit 1 hingga 4. Di unit 5-6, pembangkit tersebut memiliki 14 sumur di lima klaster di Wilayah Tompaso dengan rincian lima sumur produksi, empat sumur reinjeksi, dan lima sumur monitor. Jadi, total kapasitas PLTP Lahendong adalah sebesar 1.222 MW yang beroperasi di bawah PT. Geothermal Energi sejak tahun 2009.⁹¹ Proyek geothermal Lahendong ini didanai secara

⁹⁰ CELIOS-WALHI, "Indonesia's Geothermal Challenges: Amidst Potential and Exploitation in the Name of Energy Transition."

⁹¹ Afut Syafril Nursyirwan, "Menggali harta karun energi di Lahendong," ANTARA News, Maret 2020, <https://www.antaranews.com/berita/1355398/menggali-harta-karun-energi-di-lahendong>.

co-financing oleh Asian Development Bank (ADB) dan Bank Dunia dengan total pembiayaan sebesar USD 500 Juta.⁹²

PLTP Lahendong sejak lama dianggap sebagai PLTP yang berhasil. Tidak saja dalam pengelolaan panas bumi tetapi juga dalam mengatasi dampak sosial dan lingkungan di sekitarnya. Tidak mengherankan jika pemerintah daerah di wilayah lain kerap menjadikan PLTP Lahendong sebagai *best practice* pengelolaan geothermal. Seperti Pemerintah Kabupaten Ngada yang membawa warga Mataloko studi banding ke Lahendong pada tahun 2021 lalu.⁹³ Namun itu cerita di permukaan. PLTP Lahendong tidak luput dari berbagai dampak sosial dan lingkungan yang disebabkan oleh sistem operasinya.

Tahun 2005, masyarakat di kelurahan Lahendong, Tondangow, dan Pangolombian melaporkan telah terjadi pencemaran yang berdampak pada kurang lebih 10.000 jiwa. Pencemaran ini diduga berasal dari paparan gas H₂S atau zat beracun lainnya. Tidak hanya itu, tanaman padi dan sayur menjadi kering dan tidak dapat tumbuh lagi. Warga merasakan pencemaran lingkungan setelah PLTP

⁹² Luki Satrio, "ADB Salurkan 500 Juta Dolar untuk Listrik," Antara, 26 November 2009, <https://www.antaranews.com/berita/163401/adb-salurkan-500-juta-dolar-untuk-listrik>.

⁹³ Berita Energia, "Pemkab Ngada Laksanakan Studi Banding Pengelolaan Geothermal PGE di Sulawesi Utara," Pertamina.com, 21 Oktober 2021, <https://www.pertamina.com/id/news-room/energia-news/pemkab-ngada-ntt-laksanakan-studi-banding-pengelolaan-geothermal-pge-di-sulawesi-utara>.

itu beroperasi. Dugaan warga ini berasal dari uap panas yang dikeluarkan PLTP. Pada Maret 2024, masyarakat Leilem, Minahasa kembali mengeluhkan bau menyengat dari aktivitas pengeboran panas bumi PLTP Lahendong. kesehatan warga sekitar terancam karena tercemarnya udara sekitar kawasan kegiatan PLTP Lahendong. Dinas Kesehatan (Dinkes) Kabupaten Minahasa mengimbau kepada masyarakat agar memakai masker guna langkah pencegahan atas keluhan dari dampak kesehatan tersebut. Oleh karena itu, masyarakat menuntut PLTP Lahendong menghentikan aktivitasnya.⁹⁴

Selain keluhan masyarakat Leilem, di waktu yang hampir bersamaan masyarakat Tondangaw dan sekitarnya juga mengadukan bunyi ledakan yang berasal dari pengeboran klaster 13 dan 14. Atas dasar itu, masyarakat mengajukan tuntutan kepada PLTP Lahendong diantaranya adalah Pengelola harus memberikan informasi kepada masyarakat terkait aktivitas buka tutup sumur, kompensasi atas dampak uap, H₂S, kerusakan rumah, kerusakan lahan pertanian sebagaimana yang pernah diinformasikan, Dinas LHK melakukan pemantauan berkala di klaster 13 dan 14

⁹⁴ Roni Sepang, "Soal Keluhan Terkait Dampak Pengeboran PT. PGE Lahendong, Warga Leilem Dihimbau Pakai Masker dan Periksa Kesehatan," Kanal Metro, Maret 2024, <https://kanalmetro.com/2024/03/26/soal-keluhan-terkait-dampak-pengeboran-pt-pge-lahendong-warga-leilem-dihimbau-pakai-masker-dan-periksa-kesehatan/>.

dan menginformasikan hasil pemantauannya kepada masyarakat.⁹⁵

⁹⁵ Lawra Sumilat, "Warga Tandongow Tuntut PGE Lahendong," Post Kota, 4 April 2024, dapat diakses melalui <https://postkotanews.co.id/2024/04/warga-tondangow-tuntut-pgekompensasi-10-juta-per-kk/>.



BAGIAN 5.

KESIMPULAN

Geothermal sebagai Solusi Palsu

Tawaran strategi transisi energi saat ini hanya berfokus pada perubahan dari energi fosil ke energi non-fosil, seperti geothermal, seringkali menyesatkan dan mengabaikan masalah mendasar dalam rantai pasok energi serta dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan yang luas. Meskipun geothermal sering dipromosikan sebagai solusi energi bersih dan rendah emisi, kenyataannya geothermal tetap menimbulkan emisi karbon yang signifikan, serta berbagai dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat lokal.

Selain itu, proyek geothermal yang kerap dibiayai melalui utang dapat menambah beban finansial bagi masyarakat. Pembiayaan utang ini sering kali mengarah pada kenaikan tarif listrik dan pengalihan beban utang kepada masyarakat melalui pajak atau pengurangan subsidi. Akibatnya, masyarakat yang seharusnya diuntungkan justru menanggung beban tambahan dari proyek yang seharusnya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Proyek-proyek geothermal di Indonesia, seperti PLTP Sarulla, Salak, Wayang Windu, Lumut Balai, Sokoria,

dan Lahendong, meskipun diklaim sebagai solusi energi bersih, telah menimbulkan dampak negatif yang signifikan bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Dalam kasus PLTP Sarulla, masyarakat mengalami gagal panen dan kerugian ekonomi akibat pencemaran belerang, serta menghadapi ledakan yang menimbulkan ketakutan dan kemarahan. PLTP Salak telah memicu peningkatan frekuensi gempa bumi, mengancam keselamatan masyarakat yang tinggal di daerah sekitarnya. Di Wayang Windu, longsor yang menenggelamkan Kampung Cibitung menunjukkan dampak bencana yang mengerikan akibat eksploitasi panas bumi di zona rawan gempa. Di Lumut Balai, pencemaran air dan gangguan terhadap habitat harimau Sumatera menimbulkan masalah ekologi dan sosial yang serius. Sementara itu, proyek Sokoria berdampak buruk terhadap sektor pertanian dan pendapatan masyarakat, tanpa memberikan dampak ekonomi positif yang signifikan. Bahkan PLTP Lahendong, yang sering dianggap berhasil, tetap menghadapi keluhan masyarakat terkait pencemaran dan dampak kesehatan. Keseluruhan proyek geothermal ini menunjukkan bahwa meskipun energi panas bumi berpotensi memberikan manfaat, risiko sosial, ekonomi, dan lingkungan yang ditimbulkannya sering kali lebih besar, memerlukan evaluasi yang lebih menyeluruh sebelum dilanjutkan.

Geothermal sebagai solusi energi terbarukan bukan hanya gagal memenuhi janji sebagai energi yang benar-

benar ramah lingkungan, tetapi juga menimbulkan konsekuensi serius, seperti perampasan lahan, kerusakan ekosistem, pencemaran lingkungan, hingga konflik sosial yang merugikan masyarakat adat, perempuan, anak-anak, dan kelompok rentan lainnya. Proyek geothermal bahkan bisa disebut sebagai solusi palsu karena dampak negatifnya sering kali diabaikan atau tidak dihitung dengan benar dalam perencanaan dan implementasi proyek.

Pendekatan yang hanya mengejar penurunan emisi gas rumah kaca tanpa mempertimbangkan dampak sosial dan lingkungan jangka panjang membuat geothermal lebih tepat disebut sebagai solusi palsu. Alih-alih menjadi jawaban atas masalah energi dan lingkungan, geothermal justru dapat menciptakan serangkaian masalah baru yang tidak kalah serius. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi mendalam dan kebijakan yang lebih holistik dan inklusif dalam transisi energi, dengan memastikan bahwa kesejahteraan semua pihak, terutama kelompok yang paling rentan, menjadi prioritas utama.

Atas dasar bahaya dan risiko yang diakibatkan oleh eksplorasi dan eksploitasi panas bumi, maka berikut kesimpulannya:

1. Pemerintah tidak menjadikan geothermal sebagai sumber energi terbarukan karena dampaknya yang negatif terhadap masyarakat dan lingkungan, demikian juga ketergantungan kepada teknologi

asing dan meningkatkan utang pemerintah untuk investasinya.

2. Pemerintah dan perusahaan harus melakukan evaluasi ulang terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan dari proyek geothermal, terutama terhadap kerusakan ekosistem, pencemaran air, tanah, udara, dan peningkatan risiko bencana seperti gempa bumi dan longsor. Penelitian independen dari lembaga yang kredibel harus dilibatkan untuk mengidentifikasi dampak jangka panjang terhadap masyarakat dan lingkungan.
3. Pengelola PLTP perlu meningkatkan sistem pengelolaan risiko terhadap insiden teknis yang dapat membahayakan masyarakat, seperti ledakan dan kebocoran gas berbahaya. Sistem mitigasi risiko harus diperketat, termasuk pengawasan dan pemeliharaan rutin terhadap peralatan dan infrastruktur geothermal.
4. Pengelola proyek geothermal harus lebih transparan dalam memberikan informasi terkait kegiatan dan risiko proyek kepada masyarakat sekitar. Pendekatan komunikasi yang partisipatif perlu diterapkan agar masyarakat terlibat dalam pengambilan keputusan, terutama dalam hal yang menyangkut keselamatan dan kesejahteraan mereka.

5. Dengan meningkatnya dampak negatif yang signifikan terhadap masyarakat dan lingkungan, perlu ada pengkajian ulang terhadap keberlanjutan proyek geothermal yang sudah beroperasi. Jika dampaknya terlalu besar, pertimbangan untuk menghentikan sementara atau menghentikan secara permanen proyek tersebut harus dipertimbangkan.
6. Pemerintah dan perusahaan harus memberikan kompensasi yang memadai kepada masyarakat yang terkena dampak negatif, baik dari segi ekonomi, kesehatan, maupun sosial. Selain itu, program pemulihan lingkungan dan ekonomi harus segera dilakukan untuk mengurangi kerugian yang telah dialami masyarakat.
7. Peraturan pengetatan mengenai operasi geothermal harus diperkuat untuk memastikan pengelolaan yang lebih baik dan pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat. Pengawasan oleh pemerintah perlu ditingkatkan untuk memastikan kepatuhan perusahaan terhadap standar operasi dan lingkungan yang ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acosta, Mateo, Benoit Gibert, dan Marie Violay. "From brittle to ductile deformation in the continental crust: Mechanics of crystalline reservoirs and implications for hydrothermal circulation." Dalam *Proceedings World Geothermal Congress*. Reykjavik: Research Gate, 2020. <https://www.researchgate.net/publication/351458674>.
- Affan, Sultan Ibnu. "PGEO Patok Pembangunan PLTP Lumut Balai Rampung Akhir 2024." *Bloomberg Technoz*, Desember 2023. <https://www.bloombergtechnoz.com/detail-news/24251/pgeo-patok-pembangunan-pltp-lumut-balai-rampung-akhir-2024>.
- Agmasari, Silvita. "Wayang Windu Bagian Dari Potensi Panas Bumi Dunia." *National Geographic*, 5 Agustus 2016. <https://nationalgeographic.grid.id/read/13306201/indonesia-wayang-windu-bagian-dari-potensi-panas-bumi-dunia>.
- Alimuddin, Armansyah H. Tambunan, Machfud, dan Andi Novianto. "Analysis of CO2 Emissions from Geothermal Power Plant Ulubelu and Its Contribution to Development of Electricity Generators in Lampung Province." *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 9, no. 2 (6 Oktober 2019): 287–304. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.2.287-304>.
- Ardiansyah, Anugrah. "Akhir 2019, Serangan Harimau ke Manusia di Sumsel Meningkat." *VOA Indonesia*, 31 Desember 2019. <https://www.voaindonesia.com/a/akhir-2019-serangan-harimau-ke-manusia-di-sumsel-meningkat/5226324.html>.
- Ármannsson, Halldór. "CO2 emission from geothermal plants." Dalam *International Geothermal Conference*, 56–62.

- Yeykjavik: Research Gate, 2003.
<https://www.researchgate.net/publication/228405084>.
- Ayu Arsita, Savira, Guntur Eko Saputro, dan Susanto Susanto. "Perkembangan Kebijakan Energi Nasional dan Energi Baru Terbarukan Indonesia." *Jurnal Syntax Transformation* 2, no. 12 (24 Desember 2021): 1779–88.
<https://doi.org/10.46799/jst.v2i12.473>.
- Azhar, Muhamad. "Aspek Hukum Kebijakan Geothermal di Indonesia." *Jurnal Law Reform* 11, no. 1 (2015): 123.
- Berita Energia. "Pemkab Ngada Laksanakan Studi Banding Pengelolaan Geothermal PGE di Sulawesi Utara." *Pertamina.com*, 21 Oktober 2021.
<https://www.pertamina.com/id/news-room/energia-news/pemkab-ngada-ntt-laksanakan-studi-banding-pengelolaan-geothermal-pge-di-sulawesi-utara>.
- Brenhouse, Hillary. "Indonesia Seeks to Tap its Huge Geothermal Reserves." *The New York Times*, 26 Juli 2010.
https://www.nytimes.com/2010/07/27/business/global/27iht-renindo.html?_r=1&ref=geothermal-power.
- Caetano, Nidia S, Florinda F Martins, dan Gisela Marta Oliveira. "Life cycle assessment of renewable energy technologies." Dalam *The Renewable Energy-Water-Environment Nexus*, disunting oleh Shahryar Jafarinejad dan Bryan S Beckingham, 37–79. Elsevier, 2024.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13439-5.00002-8>.
- Cariaga, Carlo. "Larderello, Italy celebrates 120 years of geothermal electricity generation." *Think Geoenergy*, 5 Juli 2024. <https://www.thinkgeoenergy.com/larderello-italy-celebrates-120-years-of-geothermal-electricity-generation/>.

- CELIOS-WALHI. "Indonesia's Geothermal Challenges: Amidst Potential and Exploitation in the Name of Energy Transition." Jakarta, 2024.
- DetikNews. "Ini Kata Star Energy Geothermal Soal Pipanya yang Meledak Akibat Longsor." Detik.com, 5 Mei 2015. <https://news.detik.com/berita/d-2906764/ini-kata-star-energy-geothermal-soal-pipanya-yang-meledak-akibat-longsor>.
- Dewan Energi Nasional. "Outlook Energi Indonesia Tahun 2023." Jakarta, Desember 2023. <https://den.go.id/publikasi/Outlook-Energi-Indonesia>.
- Dincer, Ibrahim, dan Hasan Ozcan. "Geothermal Energy." Dalam *Comprehensive Energy Systems*, disunting oleh Ibrahim Dincer, 702–32. Oxford: Elsevier, 2018. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00119-X>.
- Ermawati, Yuli, Eriyana Yulistia, dan Fetty Zulyanti. "Potensi Panas Bumi sebagai Energi Alternatif dalam Mewujudkan Indonesia Bebas Emisi Karbon." *UEEJ-Unbara Environmental Engineering Journal* 02 (2022): 2723–5599.
- Fahmi, Ice, Fajar Gunawan Afandi, Nugroho Adi Sasongko, dan Donny Yoesgiantoro. "Peran Teknologi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Geothermal Guna Mendukung Tercapainya Net Zero Emission (NZE)." *Jurnal Kewarganegaraan* 6, no. 2 (2022).
- Ferry. "Berharap Panas Geothermal Gunung Salak di Lumbung Kemiskinan Sukabumi." *Independen.id*, 13 Maret 2024. <https://independen.id/berharap-panas-geothermal-gunung-salak-di-lumbung-kemiskinan-sukabumi>.

- Firmansyah, Muhammad Akmal. "Geothermal dan Sebuah Kampung yang Hilang di Pangalengan." Bandung Bergerak, 17 November 2023. <https://bandungbergerak.id/article/detail/159084/geotermal-dan-sebuah-kampung-yang-hilang-di-pangalengan>.
- Freeman, Sarah. "Geothermal energy could save the planet. But watch for earthquakes." Wired, 24 Maret 2021. <https://www.wired.com/story/swiss-rock-lab/>.
- Fridriksson, Thráinn, Almudena Mateos Merino, A Yasemin Orucu, dan Pierre Audinet. "Greenhouse Gas Emissions from Geothermal Power Production." Dalam 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, 2017.
- Garthwaite, Josie. "Lessons from Pohang." Stanford Report, 23 Mei 2019. <https://news.stanford.edu/stories/2019/05/lessons-south-korea-solving-geothermals-earthquake-problem>.
- Gite. "Sungai Sepanas Diduga Tercemar Limbah PT PGE." Sumatra Ekspres, Maret 2024. <https://sumateraekspres.bacakoran.co/read/41918/sungai-sepanas-diduga-tercemar-limbah-pt-pge-lumut-balai-cek-ke-lokasi/15>.
- Golla, Glenn U., Tri Julinawati, Risa P. Putri, Gregg A. Nordquist, Frederick T. Libert, dan Aquardi R. Suminar. "The Salak Field, Indonesia: On to the next 20 years of production." Geothermics 83 (1 Januari 2020). <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101715>.
- Gunawan, Iwan, Jaka Windarta, dan Udi Harmoko. "Overview Potensi Panas Bumi di Provinsi Jawa Barat." Jurnal Energi Baru dan Terbarukan 2, no. 2 (2021): 60–73. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11072>.

- . “Overview Potensi Panas Bumi di Provinsi Jawa Barat.” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* 2, no. 2 (5 Juli 2021): 60–73. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11072>.
- Hackel, Scott, dan Amanda Pertzborn. “Effective design and operation of hybrid ground-source heat pumps: Three case studies.” *Energy and Buildings* 43, no. 12 (Desember 2011): 3497–3504. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.014>.
- Haj Assad, M. El, E. Bani-Hani, dan M. Khalil. “Performance of geothermal power plants (single, dual, and binary) to compensate for LHC-CERN power consumption: comparative study.” *Geothermal Energy* 5, no. 1 (1 Desember 2017). <https://doi.org/10.1186/s40517-017-0074-z>.
- Hanifah, Nisrina Syafa. “Mengenal PLTP Sarulla, Proyek Energi Panas Bumi Terbesar di Dunia.” *goodnewsfromindonesia.id*, 2023. <https://www.goodnewsfromindonesia.id/network/content/mengenal-pltp-sarulla-proyek-energi-panas-bumi-terbesar-di-dunia-51IQEP>.
- Harefa, Jonius Christian, dan Nazaruddin Sinaga. “Tinjauan Singkat Sistem PLTP Siklus Gabungan Sarulla Menggunakan Ormat Energy Converter.” *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan* 6, no. 2 (2022): 8–14.
- Hermansyah. “JICA beri pendanaan US\$188.618 juta kepada Pertamina Geothermal Energy.” *Alinea.id*, 8 September 2023. <https://www.alinea.id/bisnis/jica-beri-pendanaan-us188618-juta-kep-pertamina-geothermal-b2hXo9OoJ>.
- Humas EBTKE. “Pemerintah Daerah Raup 185 Miliar dari Bonus Produksi Panas Bumi.” <https://ebtke.esdm.go.id/>, 6 November 2018. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2018/11/06/2050/pemerint>

- ah.daerah.raup.185.miliar.dari.bonus.produksi.panas.bumi.
- . “PLTP Sokoria Ditargetkan Beroperasi Januari 2020.” Direktorat Jenderal EBTKE - Kementerian ESDM, September 2019. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/09/16/2336/pltp.sokoria.ditargetkan.beroperasi.januari.2020>.
- Igwe, Chijindu Ikechukwu. “Geothermal Energy: A Review.” *International Journal of Engineering Research and Technology* 10, no. 3 (2021): 655–61. www.ijert.org.
- Ikhsan, Afdhalul, dan Aprillia Ika. “Warga Sekitar Gunung Salak Dapat Bonus Produksi Panas Bumi.” *Kompas*, 9 September 2021. <https://regional.kompas.com/read/2021/09/09/194350078/warga-sekitar-gunung-salak-dapat-bonus-produksi-energi-panas-bumi?page=all>.
- Indonesian Research Institute for Decarbonization. *Mengenal Net Zero Emission*. Jakarta: IRID, 2022. https://irid.or.id/wp-content/uploads/2022/07/2022.04.01-Dasar-Dasar-Net-Zero-Emission_SPREADS.pdf.
- Jaringan Advokasi Tambang (JATAM). “Surat Terbuka Kepada BMKG.” *Jatam*. Jakarta: [Jatam.org](http://jatam.org), 17 Oktober 2023. https://jatam.org/wp-content/uploads/2023/10/Surat-Terbuka-BMKG-17-Oktober-2023_tembusan.pdf.
- JETP Indonesia. “Rencana Investasi dan Kebijakan Komprehensif 2023.” Jakarta, 21 November 2023. <https://id.jetp-id.org/berita/pemetaan-hibah-jetp>.
- Kementerian ESDM. “Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia 2023.” Jakarta, 6 Juni 2023.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. “Siaran Pers: Pemanfaatan Panas Bumi untuk Kesejahteraan Rakyat.”

- ppid.menlhk.go.id, 9 Maret 2017.
https://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/556.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. "Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia," 23 September 2022.
https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf.
- Kinley, R. "Climate change after Paris: from turning point to transformation." *Climate Policy* 17, no. 1 (2017): 9–15.
<https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1191009>.
- Kitamura, Keigo, Yuki Fujii, Haruhiro Inagaki, Koki Aizawa, Jun ichiro Ishibashi, Hiroki Saito, dan Yasuhiro Fujimitsu. "Evaluation of a potential supercritical geothermal system in the Kuju region, central Kyushu, Japan." *Geothermics* 107 (1 Januari 2023).
<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102602>.
- Kramarz, Teresa, Susan Park, dan Craig Johnson. "Governing the dark side of renewable energy: A typology of global displacements." *Energy Research & Social Science* 74 (2021): 101902.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101902>
- Kristmannsdóttir, Hrefna, dan Halldór Ármannsson. "Environmental aspects of geothermal energy utilization." *Geothermics* 32, no. 4–6 (2003): 451–61.
[https://doi.org/10.1016/S0375-6505\(03\)00052-X](https://doi.org/10.1016/S0375-6505(03)00052-X).
- Lembaga Penyelidikan Ekonomi dan Masyarakat. *Buku Putih: Analisis Bisnis dan Kebijakan untuk Mendorong Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) di Indonesia*. Depok: LPEM FEB UI, 2023.
- Libert, Frederick. "Evaluation of the Deepest Production Well in Salak Geothermal Field, Indonesia." Dalam *Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal*

- Convention and Exhibition (IIGCE). Jakarta: Research Gate, 2017.
<https://www.researchgate.net/publication/319001433>.
- Malau, Fridolin. "Analisis Manfaat Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi: Studi Kasus PLTP Wayang Windu." Dalam *Economics Student Conference*, disunting oleh Billy Cancerio, Ely Elprida Sigiroy, Ferinda Nafisa, Nadia Restu Utami, dan Riris Sira Sihombing. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan, 2022.
- Malek, Adam E., Benjamin M. Adams, Edoardo Rossi, Hans O. Schiegg, dan Martin O. Saar. "Techno-economic analysis of Advanced Geothermal Systems (AGS)." *Renewable Energy* 186 (1 Maret 2022): 927–43.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.012>.
- Manggala, Satrio. "Opini: Aturan Konservasi yang Mengancam Masyarakat Adat." *Koran Tempo*, 16 Agustus 2024.
<https://koran.tempo.co/read/opini/489554/masyarakat-adat-dan-uu-konservasi>.
- Media Center ESDM. "Pemerintah Siapkan SKB." *Kementrian ESDM RI*, 18 Maret 2012.
<https://www.esdm.go.id/id/media-center/news-archives/pemerintah-siapkan-skb>.
- Media Center Kementerian ESDM. "Mengenal PLTP di Indonesia (4): PLTP Lumut Balai Unggulan Sumatera Selatan." *Kementrian ESDM RI*, November 2009.
<https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/mengenal-pltp-di-indonesia-4-pltp-lumut-balai-unggulan-sumatera-selatan>.
- Moediyono. "Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi." *Gema Teknologi* 16, no. 1 (April 2010): 5–10.
- Murjanto, Djati. "Mampukah Menjawab Program Percepatan Energi di Indonesia?" *Warta Mineral, Batubara, dan*

- Panas Bumi, Jakarta, 7 Agustus 2010.
www.djmbp.esdm.go.id.
- Nasution, Feriansyah. "Ledakan Proyek PLTP Sarulla Buat Warga Panik." *Tribun News*, 23 April 2015.
<https://medan.tribunnews.com/2015/04/23/ledakan-proyek-pltp-sarulla-buat-warga-panik>.
- National Research Council. *Hidden costs of energy : unpriced consequences of energy production and use*. Washington: National Academies Press, 2010.
<https://www.ourenergypolicy.org>.
- Nugroho, Hanan. "Transisi Energi Indonesia: Janji Lama Belum Terpenuhi." Volume II. Jakarta, 2 Mei 2021.
- Nursyirwan, Afut Syafril. "Menggali harta karun energi di Lahendong." *ANTARA News*, Maret 2020.
<https://www.antaranews.com/berita/1355398/menggali-harta-karun-energi-di-lahendong>.
- Olabi, Abdul Ghani, Montaser Mahmoud, Bassel Soudan, Tabbi Wilberforce, dan Mohamad Ramadan. "Geothermal based hybrid energy systems, toward eco-friendly energy approaches." *Renewable Energy* 147 (1 Maret 2020): 2003–12. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.140>.
- Pambudi, Nugroho Agung. "Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 1 Januari 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.096>.
- Pambudi, Nugroho Agung, dan Desita Kamila Ulfa. "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*. Elsevier

- Ltd, 1 Januari 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114008>.
- Pertamina Geothermal Energy. "Eksplorasi dan Eksploitasi Geothermal." Jakarta: Institute Teknologi Surabaya, Oktober 2023. https://www.its.ac.id/tgeofisika/wp-content/uploads/sites/33/2023/10/Pendahuluan-Eksplorasi-dan-Eksploitasi-Geothermal_Materi-Webinar-Teknik-Geofisika-ITS_Potensi-Panas-Bumi-Indonesia.pdf.
- Pertamina Geothermal Energy, dan Sarulla Operations Ltd. "Environmental Impact Statement: Development of Sarulla Geothermal Field and Power Plant of 330 MW Capacity." Sumatera Utara, Agustus 2009. <https://www.adb.org/sites/default/files/project-documents/42916-01-ino-eia-02.pdf>.
- Prabowo, Ibnu. "Model pengembangan bertahap KS Orka meningkatkan keberhasilan proyek panas bumi." Asian Power, 2023. <https://asian-power.com/indonesian/exclusive/model-pengembangan-bertahap-ks-orka-meningkatkan-keberhasilan-proyek-panas-bumi>.
- Rachmatika, Ajeng, Dewi Andayani, Andri Akbar Marthen, Henriette Imel Da, dan Kevin Setiadi. "Policy Brief: Just Energy Transition Partnership (JETP) Indonesia." Jakarta, Desember 2022. <https://iri.d.or.id/publication/>.
- Sakai, Y. "Advanced geothermal steam turbines." *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants*, 1 Januari 2017, 455–86. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100314-5.00019-1>.
- Sarulla Operations Ltd. "Informasi Proyek PLTP Sarulla." Booklet Sarulla, 2019.

sarullaoperations.com/images/lookup/6149b705ddc961632220933.pdf.

- . “Siaran Pers Sarulla Operations Ltd: Insiden di PLTP Uni 1 Silangkitang.” Sarulla Operations. Jakarta, 27 Mei 2019. <https://sarullaoperations.com/media/press-release/5ceb8e6e4fa311558941294.pdf>.
- Satrio, Luki. “ADB Salurkan 500 Juta Dolar untuk Listrik.” Antara, 26 November 2009. <https://www.antaranews.com/berita/163401/adb-salurkan-500-juta-dolar-untuk-listrik>.
- Sepang, Roni. “Soal Keluhan Terkait Dampak Pengeboran PT. PGE Lahendong, Warga Leilem Dihimbau Pakai Masker dan Periksa Kesehatan.” Kanal Metro, Maret 2024. <https://kanalmetro.com/2024/03/26/soal-keluhan-terkait-dampak-pengeboran-pt-pge-lahendong-warga-leilem-dihimbau-pakai-masker-dan-periksa-kesehatan/>.
- Setiawan, Sigit. “Energi Panas Bumi dalam Kerangka MP3EI: Analisis terhadap Prospek, Kendala, dan Dukungan Kebijakan.” Jurnal Ekonomi dan Pembangunan 20, no. 1 (2012): 57–69.
- Shoedarto, Riostantieka Mayandari, Koki Kashiwaya, Katsuaki Koike, Yohei Tada, Dwiyoarani Malik, dan Irwan Iskandar. “Application of Rare-Earth Elements in Spring Waters to Indicate Surficial Water-Rock Interaction Process in the Wayang Windu Geothermal Field, Indonesia.” Dalam Proceedings World Geothermal Congress. Reykjavik: Research Gate, 2020. <https://www.researchgate.net/publication/364209651>.
- Siregar, Robert Fernando. “Sumur Bor PLTP Sarulla Meledak, Satu Karyawan Tewas.” Oke Zone, 5 Maret 2019. <https://news.okezone.com/read/2019/03/05/340/2026183/sumur-bor-pltp-sarulla-meledak-satu-karyawan-tewas>.

- Star Energy Geothermal. "Star Energy Geothermal Group Menghimpun Dana Sebesar US\$ 1,11 Miliar dari penerbitan Green Bond." www.starenergygeothermal.co.id, 20 Oktober 2020.
- Star Energy Geothermal Salak Ltd. "Laporan Keberlanjutan 2020: Reliable Operation During Pandemic." Jakarta, 2020. <https://www.starenergygeothermal.co.id/wp-content/uploads/2021/07/SR-SE-SALAK2020-WEB-1607.pdf>.
- Suharno. Eksplorasi Geothermal. Pertama. Bandar Lampung: Penerbit Lembaga Penelitian Lampung, 2013.
- Sumilat, Lawra. "Warga Tandongow Tuntut PGE Lahendong." Post Kota, 4 April 2024. <https://postkotanews.co.id/2024/04/warga-tondangow-tuntut-pgekompensasi-10-juta-per-kk/>.
- Sumotarto, Untung. Eksplorasi Panas Bumi. Disunting oleh Kartika Nurgrahini. Yogyakarta: Penerbit Ombak, 2015. www.penerbitombak.com.
- Syahni, Della. "Keluhan Seputar Pembangkit Panas Bumi, Ada Omnibus Law Khawatir Perburuk Kondisi." Mongabay, 12 September 2020. <https://www.mongabay.co.id/2020/09/12/keluhan-seputar-pembangkit-panas-bumi-ada-omnibus-law-khawatir-perburuk-kondisi/>.
- Szanyi, János, Ladislaus Rybach, dan Hawkar A. Abdulhaq. "Geothermal Energy and Its Potential for Critical Metal Extraction—A Review." *Energies*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 Oktober 2023. <https://doi.org/10.3390/en16207168>.
- Trillat-Berdal, Valentin, Bernard Souyri, dan Gilbert Achard. "Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors." *Applied Thermal Engineering* 27, no. 10 (Juli

- 2007): 1750–55.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.07.022>.
- Union of Concerned Scientists. “Environmental Impacts of Geothermal Energy.” uscusa.org, 5 April 2013.
<https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-geothermal-energy>.
- United Nations Environment Programme. “Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again).” Nairobi: United Nations Environment Programme, November 2023. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43922>.
- Waas, Edison, dan Christ Belseran. “Kala Proyek Panas Bumi Ancam Ruang Hidup Masyarakat Adat di Pulau Buru.” Mongabay, 30 April 2024.
<https://www.mongabay.co.id/2024/04/30/kala-proyek-panas-bumi-ancam-ruang-hidup-masyarakat-adat-di-pulau-buru/>.
- Wicaksono, Raden Ariyo. “Pascagempa Gunung Salak, BMKG Diminta Terbitkan Bahaya Geothermal.” Betahita, Oktober 2023.
<https://betahita.id/news/detail/9388/pascagempa-gunung-salak-bmkg-diminta-terbitkan-bahaya-geothermal.html?v=1697664337>.
- Wijaya, Taufik. “Panas Bumi Sumatera Selatan, Antara Energi Bersih dan Habitat Harimau.” Mongabay, 10 Maret 2024.
<https://www.mongabay.co.id/2024/03/10/panas-bumi-di-sumatera-selatan-antara-energi-bersih-dan-habitat-harimau/>.

TENTANG PENULIS

Suci F. Tanjung adalah seorang perempuan aktivis kelahiran Jakarta pada 24 April 1990. Memiliki latar belakang pendidikan di bidang ilmu politik di Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah Jakarta, serta magister manajemen bencana di Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia. Saat ini, Suci menjabat sebagai Direktur Eksekutif WALHI Jakarta untuk periode 2022–2026. Dalam perannya, ia berfokus pada upaya advokasi untuk memastikan hak masyarakat atas lingkungan hidup yang bersih dan sehat, termasuk dalam konteks isu perubahan iklim dan transisi energi yang berkeadilan. Sebelumnya, sejak 2015, Suci terlibat di Solidaritas Perempuan di mana ia berfokus pada isu pelanggaran hak perempuan akibat kebijakan perdagangan bebas dan investasi. Pada tahun 2017, ia mengarahkan perhatiannya pada penguatan organisasi dan secara kolektif membangun sistem pengorganisasian dan pengembangan pendidikan kritis bagi perempuan akar rumput serta kelompok muda.



Aksi! for gender, social, dan ecological justice terlibat secara kritis dalam perdebatan dan diskursus mengenai kebijakan pembangunan dan perubahan iklim untuk memastikan perlindungan dan pemajuan hak asasi manusia, hak-hak perempuan, serta hak-hak masyarakat terdampak, serta mendukung aksi perempuan akar rumput untuk mewujudkan keadilan gender, sosial, dan ekologi.



aksiforjustice.id



**Co-funded by
The European Union**

Publikasi ini diproduksi dengan pendanaan bersama dari Uni Eropa. Isinya sepenuhnya merupakan tanggung jawab Aksi! dan tidak mencerminkan pandangan Uni Eropa.

