



Bab 4

Melampaui Listrik: Kebutuhan Energi Termal dan Potensi Pemanfaatan Langsung di Indonesia

Adi Susilo, Universitas Brawijaya

Daniel W. Adityatama, M. Rizqi Al Asy'ari, dan Vincentius A. Brilian, Geoenergis

Pada 2023, total permintaan termal Indonesia mendekati 3 juta terajoule. Saat ini lebih dari 66% dari total permintaan tersebut dapat digantikan oleh panas bumi yang bersih, stabil, dan aman dengan harga yang kompetitif. Seiring semakin banyaknya proyek yang dibangun dan penurunan biaya hingga 90%, permintaan termal Indonesia dapat digantikan oleh energi panas bumi pemanfaatan langsung (direct-use). Hal ini dapat berkontribusi besar dalam membantu Indonesia mencapai target iklim 2030 dan 2060. Titik awal yang paling menjanjikan adalah proses pendinginan di Jawa dan pemanasan di sektor agribisnis Indonesia.

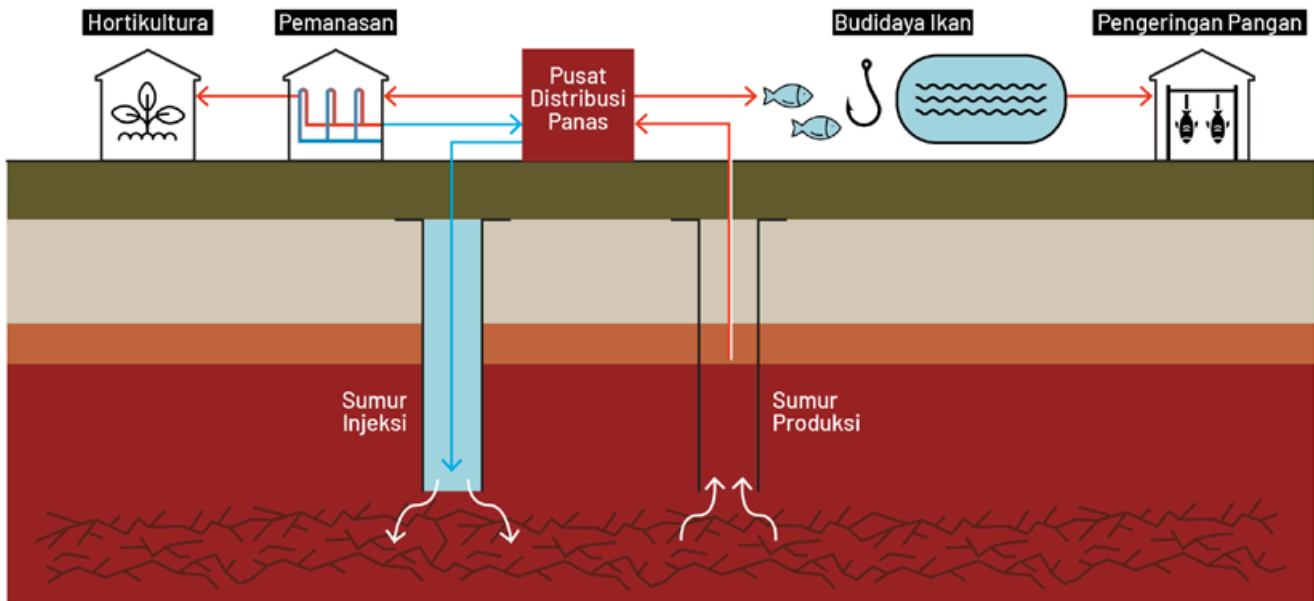
Indonesia merupakan produsen listrik panas bumi terbesar kedua di dunia.¹ Negara ini juga memiliki peluang besar yang belum dimanfaatkan untuk memperluas pemanfaatan energi bersih. Ini tidak hanya berlaku untuk listrik, tetapi juga untuk pemanfaatan panas langsung. Faktanya, Indonesia termasuk negara yang output pemanfaatan langsung panas buminya jauh di bawah potensi yang dimilikinya. Bab ini menyajikan analisis sektor sektor yang siap bertransisi menuju panas bumi bersih serta jalur untuk menciptakan

kondisi yang memungkinkan berkembangnya industri tersebut dalam beberapa tahun ke depan.

Energi panas bumi dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu pemanfaatan tidak langsung dan pemanfaatan langsung. Untuk pemanfaatan tidak langsung yaitu pembangkitan listrik, pengembang memerlukan suhu bawah permukaan umumnya di atas 150 derajat Celsius. Untuk sistem pemanfaatan langsung yang menjadi fokus bab ini, suhu antara 20 derajat Celsius hingga 150



PEMANTAATAN SUMBER DAYA PANAS BUMI



Gambar 4.1: Ilustrasi pemanfaatan sumber daya panas bumi yang menunjukkan perbedaan antara pemanfaatan tidak langsung untuk pembangkitan listrik dan pemanfaatan langsung panas bumi. Sumber Diadaptasi dari Al Asy'ari, M. R., Adityatama, D. W., Brilian, V. A., Erichatama, N., & Purba, D. (2024). *Beyond electricity: Geothermal direct use business models and potential applications in Indonesia*. In *Proceedings of the 49th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, CA, United States; Energy Sector Management Assistance Program. (2022). *Direct utilization of geothermal resources*. World Bank; U.S. Department of Energy. (2019). *GeoVision: Harnessing the heat beneath our feet*.

derajat Celsius dapat digunakan untuk proses district cooling di industri akuakultur dan aplikasi pertanian (lihat **Gambar 4.1** and **4.2**)^{2,3,4,5} Sistem apa pun yang menggunakan sumber daya panas bumi berupa fluida atau panas dari dalam tanah tanpa mengubahnya terlebih dahulu menjadi listrik termasuk pemanfaatan langsung panas bumi. Sistem pemanfaatan langsung ini dapat menggantikan pembakaran bahan bakar fosil untuk pemanasan industri seperti pengolahan makanan tekstil dan kimia. Pergeseran ini akan mendukung sektor industri yang lebih berkelanjutan dan meningkatkan efisiensi energi di bangunan komersial dan residensial.

Analisis terbaru mengenai suhu pada berbagai kedalaman di Indonesia (**Gambar 4.24**, **4.25**, dan **4.26**) mengonfirmasi bahwa terdapat banyak wilayah di Indonesia yang memiliki panas bawah permukaan yang memadai, yaitu antara 30 derajat Celsius hingga 100 derajat Celsius pada kedalaman dangkal hingga sedang yaitu kurang dari 1.000 meter, sehingga menjadikan Indonesia sangat menarik untuk berbagai aplikasi pemanfaatan langsung dengan biaya yang kompetitif.

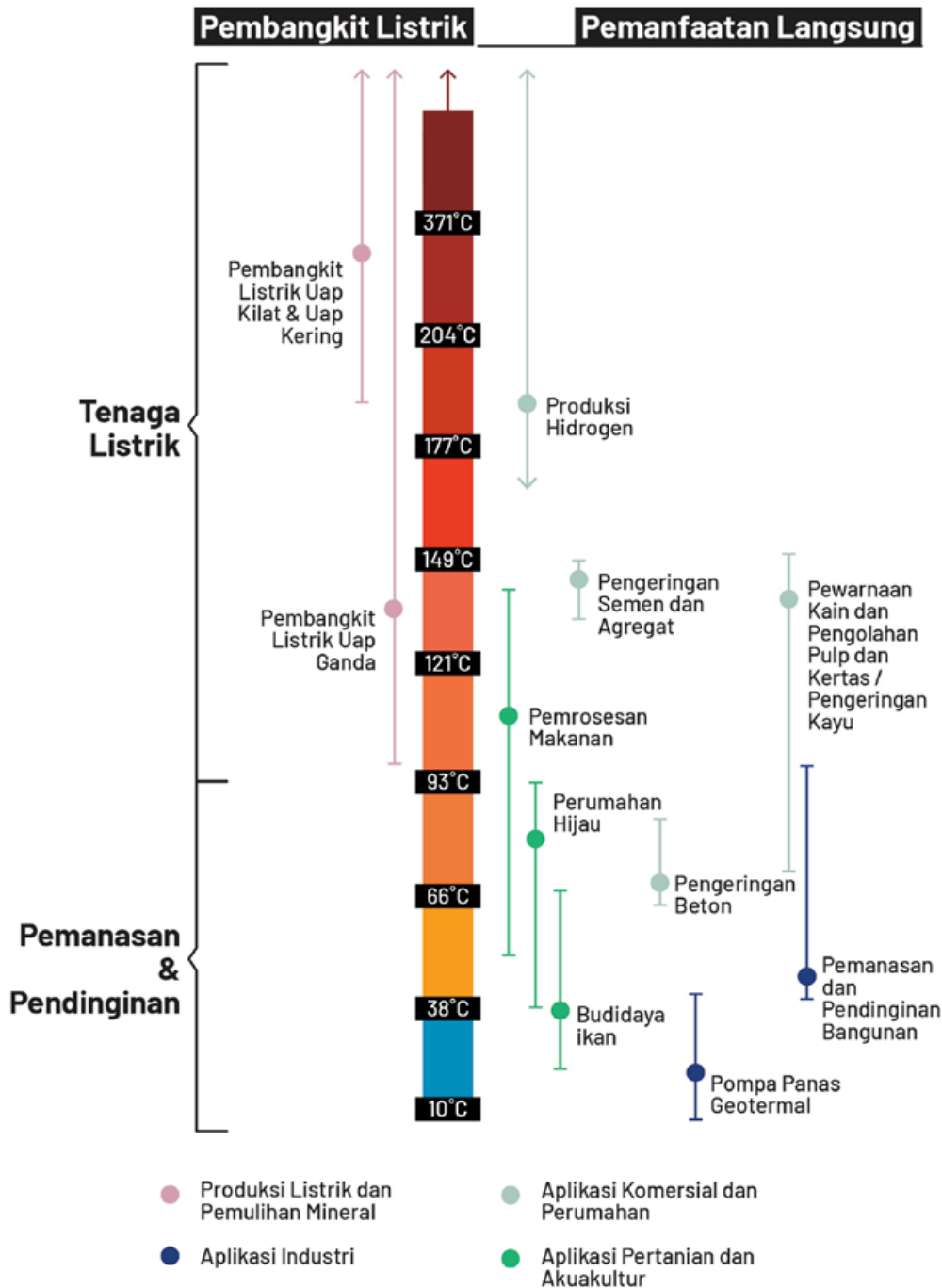
Saat ini sebagian besar proyek pemanfaatan langsung panas bumi di Indonesia digagas melalui program tanggung jawab sosial perusahaan dan dilaksanakan oleh pengembang sebagai bagian dari kegiatan pemberdayaan masyarakat. Namun, potensi untuk berkembang jauh melampaui inisiatif tersebut sebagaimana dibahas dalam bagian Peluang Terbesar Pendinginan di Jawa dan Pemanasan Proses di Agribisnis terutama seiring meningkatnya kesadaran tentang efisiensi energi dan keberlanjutan panas bumi.⁶

PEMANFAATAN LANGSUNG PANAS BUMI DI SELURUH DUNIA

Di seluruh dunia pemanfaatan langsung panas bumi paling banyak digunakan untuk pemanasan, terutama di wilayah beriklim dingin seperti Islandia, Swedia, dan Swiss. Negara-negara seperti Tiongkok, Amerika Serikat, Turki, dan Jepang memperluas pemanfaatan langsung untuk rumah tangga industri pemandian umum dan pertanian seperti pemanasan rumah kaca.⁷



APLIKASI PANAS BUMI DAN KEBUTUHAN TEMPERATUR



Gambar 4.2: Diagram Lindal ini menunjukkan berbagai aplikasi potensial berdasarkan variasi rentang suhu. Sumber: Diadaptasi dari Porse, S. (2021). *Geothermal energy overview and opportunities for collaboration*. Energy Exchange.

Pada 2023, kapasitas terpasang global untuk pemanfaatan langsung panas bumi mencapai sekitar 126.000 megawatt panas dengan konsumsi tahunan sebesar 1,28 juta terajoule di lebih dari 88 negara.⁸ Karena merupakan teknologi yang telah matang dengan pemasangan proyek selama beberapa dekade, pompa kalor sumber panas bumi atau *ground source heat*

pumps yang menggunakan suhu panas bumi dangkal antara 5 derajat Celsius hingga 30 derajat Celsius untuk pemanasan dan pendinginan menyumbang 72% dari kapasitas terpasang tersebut.^{9,10}

Berbagai proyeksi menunjukkan akan terjadi peningkatan signifikan secara internasional yaitu bertambah sekitar



470.000 terajoule dalam pemanfaatan teknologi pemanfaatan langsung tidak termasuk GSHP pada 2030 (lihat **Gambar 4.3**). Angka ini setara dengan peningkatan sebesar 212%.¹¹

DUKUNGAN DARI BANK DUNIA

Pemerintah El Salvador telah memulai proyek pemanfaatan langsung panas bumi dengan dukungan pendanaan dari Bank Dunia. Lembaga tersebut menjanjikan US\$150 juta untuk mendukung proyek pengeboran panas bumi yang dipimpin pemerintah bagi pembangkitan listrik dan pemanfaatan langsung seperti agribisnis lokal sebagai bagian dari transisi energi berkelanjutan negara tersebut.^{12,13} Komitmen ini menegaskan bahwa proyek pemanfaatan langsung panas bumi tidak hanya dapat meningkatkan sistem energi dan pangan tetapi juga menarik investasi.

ARAH KE DEPAN: USULAN DAN TANTANGANNYA

Di Indonesia yang beriklim tropis aplikasi paling tepat untuk pemanfaatan langsung panas bumi adalah pada proses industri kegiatan pertanian serta *district cooling* untuk gedung komersial atau residensial skala besar. Sistem GSHP dapat disesuaikan untuk kebutuhan

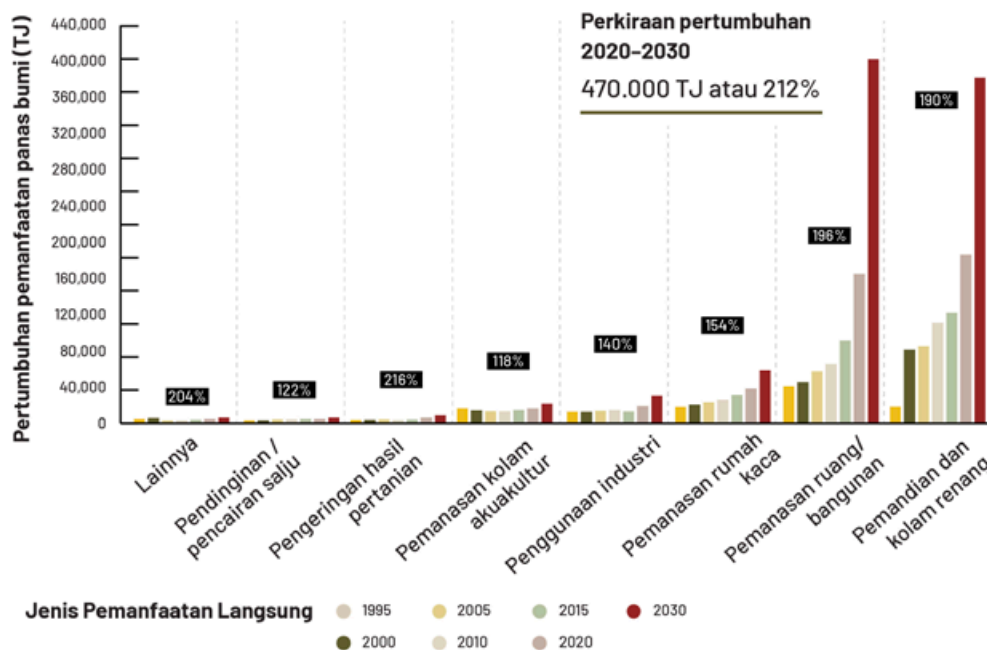
pendinginan dan pemanasan pada bangunan komersial dan residensial.

Meskipun pemanfaatan langsung panas bumi memiliki sejarah panjang komersialisasi, di berbagai negara sumber daya ini menghadapi penundaan terutama karena tidak adanya regulasi di beberapa lokasi.

Di Indonesia, iklim usaha untuk pemanfaatan langsung panas bumi diperkirakan akan meningkat. Indonesia saat ini berada pada peringkat 74 di dunia dalam pemanfaatan langsung panas bumi dan kemajuannya relatif terbatas sejak 2015. Hal ini disebabkan fokus utama Indonesia pada panas bumi untuk pembangkitan listrik serta belum adanya kebijakan yang jelas untuk memungkinkan proyek pemanfaatan langsung.¹⁴ Berbagai pemangku kepentingan termasuk pemerintah, lembaga riset, dan pengembang sedang bekerja untuk memperluas implementasi panas bumi untuk kebutuhan praktis seperti pertanian, pariwisata, dan proses industri.

Hambatan struktural lainnya adalah terbatasnya klasifikasi kegiatan pemanfaatan langsung dalam sistem investasi Indonesia. Platform Online Single Submission mengakui kegiatan pemanfaatan langsung panas bumi di bawah Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI) 06202 untuk eksplorasi dan

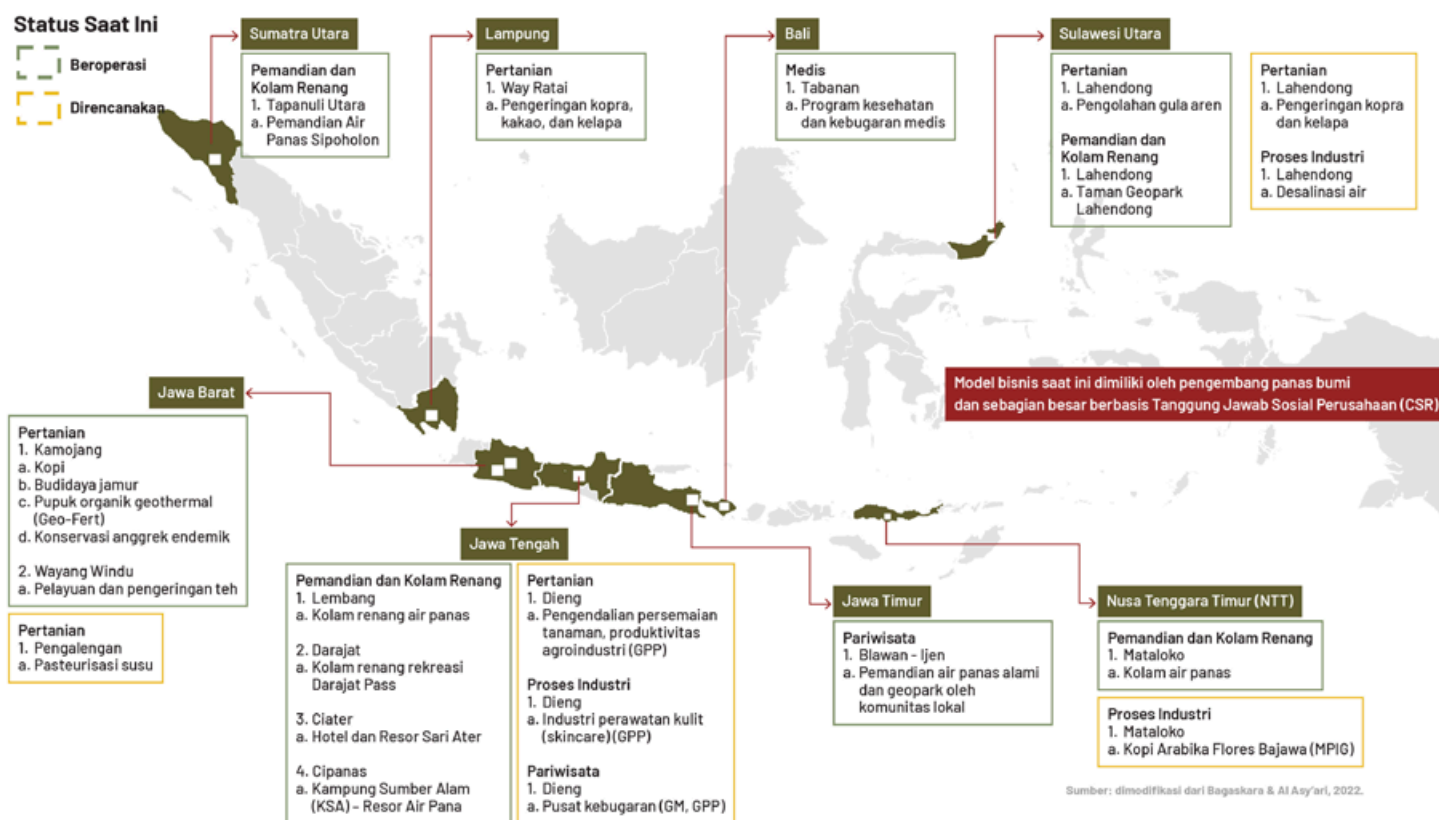
PROYEKSI PERTUMBUHAN GLOBAL PEMANFAATAN LANGSUNG PANAS BUMI



Gambar 4.3: Proyeksi global pemanfaatan langsung panas bumi tanpa pompa kalor. Sumber Dimodifikasi dari Richter, A. (2023). [Talk #1 - Low enthalpy geothermal: An attempt to positioning](#) [YouTube video]. SPE Europe Energy GeoHackathon.



PEMANFAATAN LANGSUNG PANAS BUMI DI INDONESIA



Gambar 4.4: Proyek pemanfaatan langsung panas bumi yang telah beroperasi dan direncanakan beserta status terkini di Indonesia. Sumber: Bagaskara, A., Al Asy'ari, R. M., Adityatama, D. W., Purba, D., Ahmad, A. H., Pratama, A. R., & Mukti, A. W. (2023). [Exploring new ideas to promote and improve geothermal direct use in Indonesia](#). In *Proceedings of the 48th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, CA, United States.

ekstraksi dan KBLI 35111 untuk pembangkitan listrik. Saat ini belum ada kode KBLI khusus untuk aplikasi pemanfaatan langsung panas bumi seperti GSHP sebagaimana dijelaskan dalam lampiran. Tanpa klasifikasi khusus pengembang tidak memiliki jalur yang jelas untuk mendaftarkan dan mengurus izin proyek pemanfaatan langsung sehingga sulit untuk mengakses insentif investasi atau pembiayaan melalui kerangka investasi resmi Indonesia. (Lihat Bab 7, "Mengubah Potensi Menjadi Kekuatan: Cetak Biru Kebijakan untuk Transformasi Panas Bumi Indonesia.")

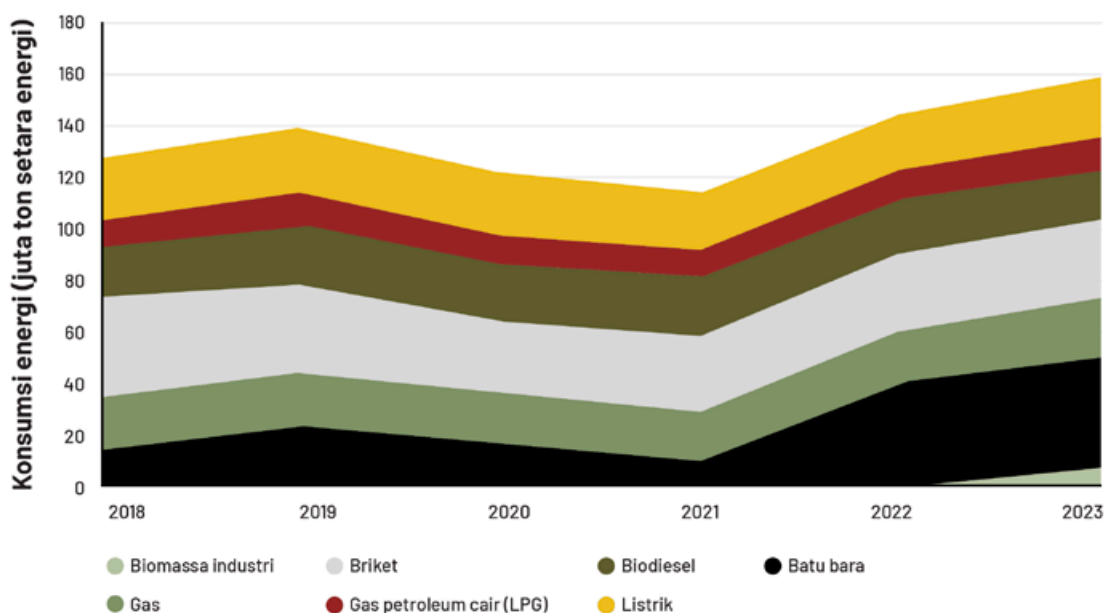
Untuk mendukung perluasan ini, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menerbitkan Peraturan Nomor 5 Tahun 2021 yang menetapkan standar perizinan persyaratan proyek dan kompetensi personel.¹⁵ Sejumlah proyek pemanfaatan langsung panas bumi telah beroperasi dengan inisiatif tambahan yang

sedang dikaji dan direncanakan untuk pengembangan masa depan. Pemanfaatan langsung panas bumi di Indonesia masih berada pada tahap awal. Proses ini dipimpin oleh badan usaha milik negara, seperti PT Pertamina Geothermal Energy, dengan partisipasi dari pengembang swasta di bawah pengawasan Kementerian ESDM yang kebijakannya terus mendorong adopsi yang lebih luas. (Untuk membantu pengambil kebijakan dapat bekerja memperdalam pemahaman tentang manfaat dan potensi energi panas bumi. Sebagai inspirasi Indonesia dapat mencontoh Selandia Baru, di sana anak-anak mengunjungi lembaga dan lokasi panas bumi untuk mempelajari energi besar yang berasal dari panas bumi.¹⁶)

Sebagian besar proyek pemanfaatan langsung panas bumi komersial yang beroperasi saat ini berada di sektor pariwisata seperti pemanasan, pemandian air panas,



KONSUMSI ENERGI FINAL BERDASARKAN JENIS



Gambar 4.5: Konsumsi energi di Indonesia berdasarkan berbagai jenis energi antara 2018 dan 2023. Sumber: National Energy Council. (2024). [National energy balance analysis book for 2024](#). Government of Indonesia.

dan resor spa. Ada juga beberapa aplikasi di sektor pertanian dan industri melalui inisiatif tanggung jawab sosial perusahaan. Proyek-proyek ini belum berkembang menjadi usaha komersial penuh. Proyek pemanfaatan langsung lainnya masih berada pada tahap perencanaan.

Di Indonesia, studi awal mengenai proyek pemanasan dan pendinginan berbasis panas bumi dengan sistem GSHP telah dilakukan di lokasi seperti Ciater, Lahendong, Jakarta, dan Bali.^{17,18} (Lihat **Gambar 4.4** untuk daftar proyek pemanfaatan langsung panas bumi di Indonesia dan statusnya saat ini.) Untuk merealisasikan peluang tersebut beberapa tantangan perlu diatasi. Lihat Bab 7 “Mengubah Potensi Menjadi Kekuatan: Cetak Biru Kebijakan untuk Transformasi Panas Bumi Indonesia” untuk informasi lebih lanjut mengenai isu-isu tersebut dan langkah yang diperlukan untuk memajukan industri ini.¹⁹)

KUANTIFIKASI DAN PEMETAAN PERMINTAAN ENERGI TERMAL INDONESIA

Gambaran Umum Permintaan Energi Termal Nasional

Indonesia merupakan salah satu konsumen energi terbesar di dunia dan menempati peringkat ke-10 secara

global.²⁰ Di seluruh sektor sebagian besar energi tersebut masih diproduksi dari bahan bakar berbasis batu bara dan minyak (**Gambar 4.5**). Pada 2023, sektor industri menyumbang porsi konsumsi energi terbesar sebesar 43%, diikuti oleh sektor transportasi sebesar 38%. Sektor residensial dan komersial mengonsumsi energi dalam jumlah lebih kecil, namun tetap signifikan mengingat besarnya populasi Indonesia dan laju urbanisasi yang terus meningkat (**Gambar 4.6**).

Untuk mendukung transisi energi bersih Indonesia, penting untuk melihat permintaan energi termal yang dapat digantikan yaitu porsi dari total kebutuhan panas dan pendinginan yang dapat dipenuhi melalui pemanfaatan langsung panas bumi berdasarkan suhu proses dan ketersediaan teknologi. Informasi ini krusial untuk menentukan prioritas sektor dan lokasi di mana solusi panas bumi dapat diterapkan secara realistis baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Industri

Di sektor industri, konsumsi energi mencapai 77,9 juta ton setara minyak atau 3.261.517,2 terajoule setara dengan 905.977 terawatt jam. Batu bara sebagai sumber energi terbesar memasok 44,3 juta ton setara minyak atau 1.854.752,4 terajoule setara dengan 515.209 terawatt jam. Energi ini terutama digunakan



pada industri besi dan baja, keramik, semen, serta pulp dan kertas. Industri pupuk dan keramik sebagian besar menggunakan gas untuk menghasilkan panas sementara industri petrokimia umumnya menggunakan produk kilang (lihat **Gambar 4.7**).

elama lima tahun terakhir, konsumsi energi di sektor industri sebagian besar mengalami peningkatan, dengan laju pertumbuhan rata-rata sekitar 9% per tahun.²¹

Tahun 2023 mencatat lonjakan signifikan pada konsumsi energi biomassa, yaitu melampaui tingkat tahun 2022 hingga 3,5 kali lipat. Konsumsi batu bara juga tumbuh sekitar 26%, seiring dengan perkembangan industri pengolahan mineral.²²

Diperkirakan permintaan listrik di sektor industri akan terus bertumbuh pada laju rata-rata 2,1% setiap tahun.²³

Residensial

Konsumsi energi di sektor rumah tangga Indonesia pada tahun 2023 (di luar biomassa tradisional) mencapai 21,1 MTOE atau setara 883.440 terajoule (245,4 TWh; lihat **Gambar 4.8**). Setengah dari total konsumsi ini dialokasikan untuk listrik (sekitar 10,5 MTOE), sementara gas minyak bumi cair (LPG) menyumbang 47%.

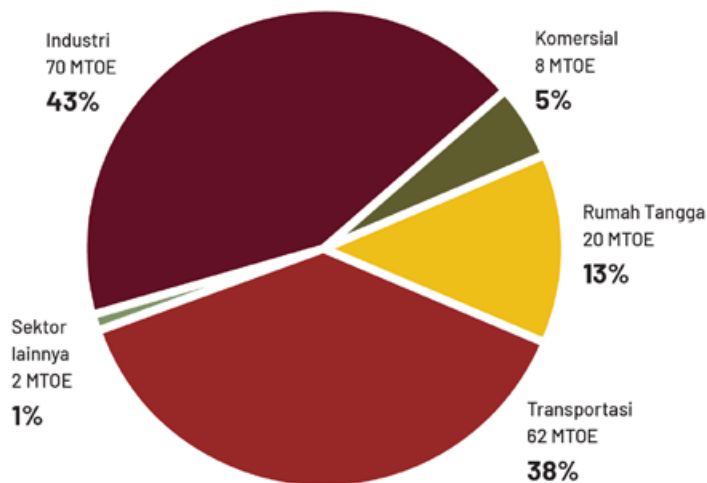
Sebagian besar kebutuhan listrik rumah tangga digunakan untuk penerangan, pendingin ruangan, pemanas air, mencuci, dan beragam peralatan lainnya (**Gambar 4.9**).²⁴ Memasak tetap menjadi kegiatan di rumah yang memerlukan energi terbesar, dengan LPG sebagai bahan bakar utama yang paling banyak digunakan (walaupun minyak tanah masih dipakai di beberapa wilayah terpencil).²⁵

Penggunaan energi rumah tangga meningkat sekitar 3,8% per tahun dari tahun 2018 hingga 2023. Tren ini dipercepat oleh pandemi COVID 19, saat lebih banyak orang bekerja dari rumah. Ke depan, proyeksi menunjukkan permintaan listrik rumah tangga akan tumbuh pada laju rata-rata 2,4% per tahun antara tahun 2030 dan 2060.²⁶

Komersial

Seperti ditunjukkan dalam **Gambar 4.9**, konsumsi energi sektor komersial pada tahun 2023, meliputi

KONSUMSI ENERGI FINAL BERDASARKAN SEKTOR



Gambar 4.6: Konsumsi energi Indonesia berdasarkan sektor penggunaan akhir pada 2023. MTOE = juta ton setara minyak. Sumber: National Energy Council. (2024). [National energy balance analysis book for 2024](#). Government of Indonesia.

hotel, perkantoran, pusat perbelanjaan, dan fasilitas sejenis, mencapai 7,6 MTOE atau 318.196,8 terajoule. Listrik mendominasi konsumsi tersebut, yaitu sebesar 87%. Permintaan listrik diperkirakan akan terus meningkat pada laju estimasi 2% per tahun.²⁷

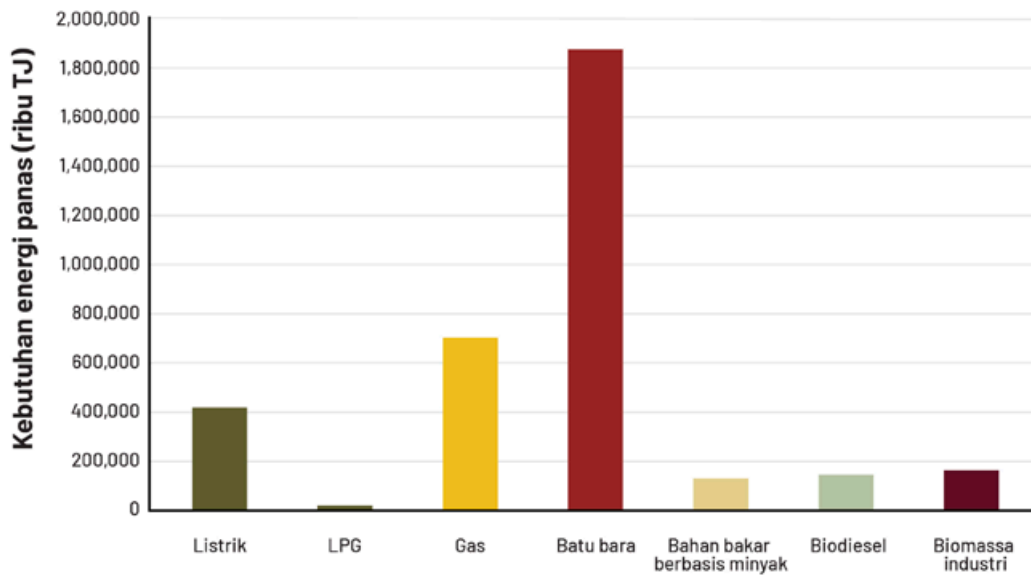
Berdasarkan data penggunaan energi sektor komersial tahun 2020, sistem pendingin ruangan menyumbang porsi terbesar dari konsumsi listrik.²⁸ Pendingin ruangan sangat penting untuk menjaga kenyamanan di dalam ruangan mengingat lingkungan tropis di Indonesia (lihat **Gambar 4.10**).²⁹ Penggunaan listrik penting lainnya meliputi penerangan, pasokan air, dan keperluan operasional gedung.

Berapa Banyak Permintaan Termal yang Dapat Digantikan?

Yang terpenting, aplikasi termal yang menggunakan suhu proses hingga 200°C diklasifikasikan sebagai permintaan termal yang dapat digantikan (lihat **Gambar 4.13**). Ambang batas ini didasarkan pada keluaran pompa kalor industri komersial saat ini (50°C–150°C) dan diproyeksikan mencapai 200°C seiring dengan kemajuan teknologi panas bumi.³⁰

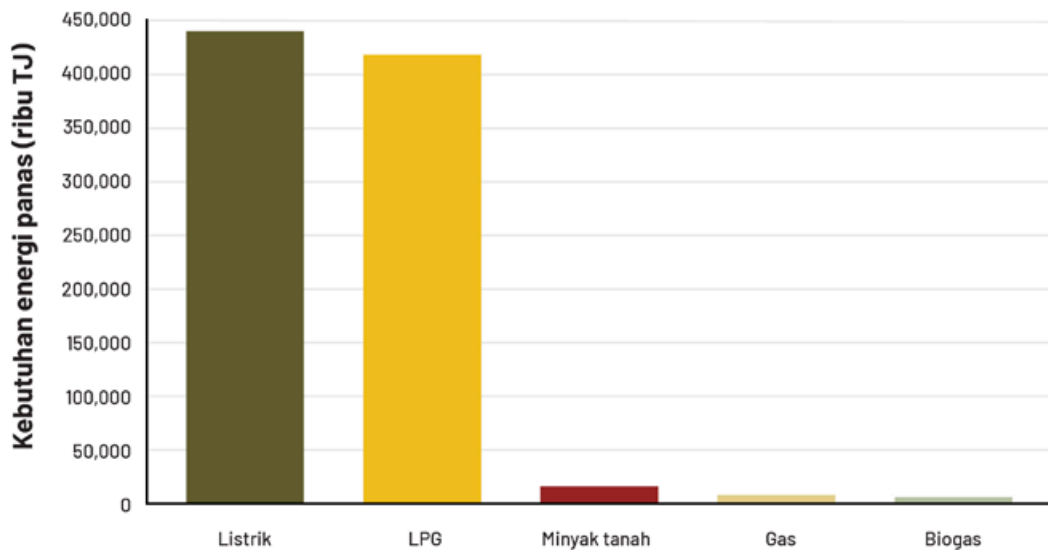


KONSUMSI ENERGI PADA SEKTOR INDUSTRI



Gambar 4.7: Konsumsi energi berdasarkan jenis bahan bakar di sektor industri tahun 2023. LPG = gas minyak bumi cair; TWh = terawatt jam. Sumber: Diolah dari Ministry of Energy and Mineral Resources. (2023). [Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2023](#). Government of Indonesia.

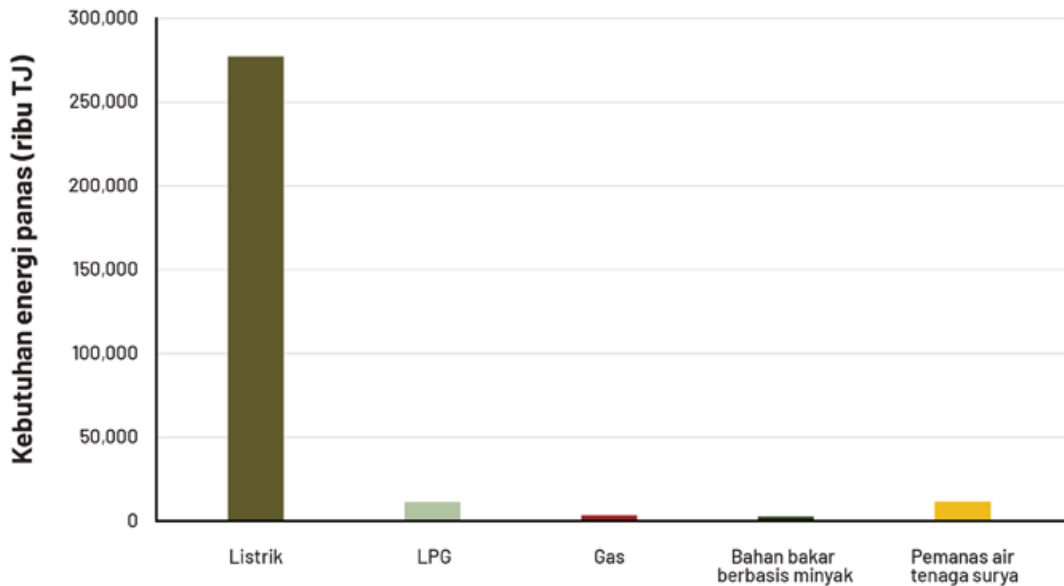
KONSUMSI ENERGI PADA SEKTOR RESIDENSIAL



Gambar 4.8: Konsumsi energi berdasarkan jenis bahan bakar di sektor rumah tangga tahun 2023. LPG = gas minyak bumi cair; Gas = gas alam (LPG adalah bahan bakar cair bertekanan yang sebagian besar terbuat dari propana dan butana, dihasilkan sebagai produk sampingan dari penyulingan minyak mentah atau pemrosesan gas alam, dan umumnya didistribusikan dalam tabung. Gas alam sebagian besar adalah metana, bersumber langsung dari reservoir gas bawah tanah dan disalurkan terutama melalui pipa atau sebagai LNG). Sumber: Diolah dari Ministry of Energy and Mineral Resources. (2023). [Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2023](#). Government of Indonesia.

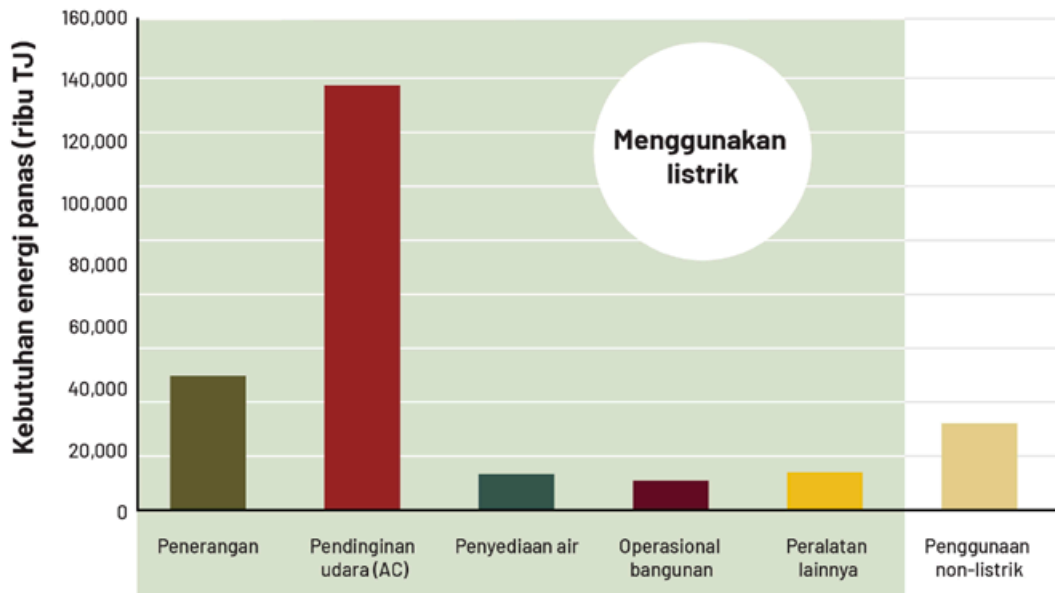


KONSUMSI ENERGI PADA SEKTOR KOMERSIAL



Gambar 4.9: Konsumsi energi berdasarkan jenis bahan bakar di sektor komersial tahun 2023. LPG = gas minyak bumi cair; TJ = terajoule. Sumber: Diolah dari: Ministry of Energy and Mineral Resources. (2023). [Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2023](#). Government of Indonesia.

RINCIAN PENGGUNAAN ENERGI DI SEKTOR KOMERSIAL



Gambar 4.10: Perincian penggunaan energi di sektor komersial tahun 2020. Pemerintah Indonesia belum merilis perincian aplikasi penggunaan energi terbaru untuk sektor rumah tangga dan komersial. Operasional gedung mencakup optimasi transportasi vertikal seperti elevator dan eskalator. TWh = terawatt jam. Sumber: Palladium. (2023). [Commercial sector NZE calculator 2023](#). Mentari.



PROYEK POMPA PANAS BUMI SKALA KOMERSIAL DI SWISS

Indonesia memiliki peluang besar untuk memanfaatkan energi panas bumi untuk pendinginan perkotaan, sesuatu yang sudah dilakukan kota-kota di seluruh dunia dalam skala besar. Di seluruh Eropa, sistem panas bumi memanaskan dan mendinginkan seluruh distrik serta bangunan individual, membuktikan bahwa teknologi ini matang dan praktis untuk digunakan di lingkungan perkotaan padat. Di Lausanne, Swiss, misalnya, sekitar 150 lubang bor, yang masing masing sedalam sekitar 300 meter dan dilengkapi dengan probe penukar panas double U, kini memasok kebutuhan pemanasan dan pendinginan penuh lokasi tersebut. Pengeboran perkotaan hanya membutuhkan jejak permukaan yang kecil, dan setelah dipasang, sistem panas bumi memberikan energi termal rendah karbon yang aman selama masa pakai.



Gambar 4.11: Tim layanan sumur sedang bersiap mengebor serangkaian lubang bor panas bumi dangkal untuk menyediakan pemanasan dan pendinginan skala komersial di wilayah perkotaan Lausanne, Swiss. Foto milik Groupe Grisoni.

Saat ini, kebutuhan energi termal di Indonesia berkisar dari suhu yang relatif rendah (70°C – 100°C) untuk aplikasi seperti pengeringan hasil pertanian hingga suhu yang sangat tinggi ($1,000^{\circ}\text{C}$ – $1,500^{\circ}\text{C}$) untuk pemrosesan logam (**Gambar 4.12**). Seperti disebutkan sebelumnya, total permintaan termal Indonesia pada tahun 2023 adalah 2.998.058,6 terajoule.³¹ Angka itu diproyeksikan tumbuh pada laju tahunan rata-rata 5,1%, mencapai 7.142.641,3 terajoule pada tahun 2050. Jadi, berapa banyak dari permintaan itu yang dapat digantikan dari tahun ke tahun?

- Pada tahun 2023: Porsi yang dapat digantikan adalah 1.994.144,3 terajoule, dengan laju pertumbuhan tahunan rata-rata yang diharapkan sebesar 8,2%,

- Pada tahun 2050: Angka itu dapat mencapai 6.415.222,5 terajoule.

Dengan kata lain, 66,5% dari total permintaan termal pada tahun 2023, dan 89,8% pada tahun 2050, dianggap memiliki potensi untuk digantikan oleh pemanfaatan langsung panas bumi.

Untuk menempatkan angka-angka ini dalam perspektif, 2.998.058,6 terajoule setara dengan sekitar 241 MtCO_{2e} atau sekitar seperempat (23%) dari emisi terkait energi Indonesia saat ini, sebuah potensi pengurangan yang sangat besar dan dapat ditindaklanjuti.^{32,33} *Kontribusi Nasional yang Ditingkatkan* (NDC) Indonesia tahun 2030 menargetkan pengurangan 365 MtCO_{2e} di sektor energi



dan industri dibandingkan dengan skenario "bisnis seperti biasa". Mengurangi 66,5% dari permintaan termal saat ini (sekitar 160 MtCO₂) akan memenuhi sekitar 44% dari target pengurangan sektor energi 2030 itu sendiri.³⁴

Tidak semua permintaan termal dapat digantikan saat ini oleh pemanfaatan langsung panas bumi karena adanya keterbatasan teknologi. Namun, saat ini banyak lokasi di Indonesia memiliki permintaan termal yang dipenuhi dengan bahan bakar fosil dan permintaan itu dapat digantikan, dan di masa depan hal ini akan dapat digantikan lebih lanjut dengan kemajuan teknologi.³⁵ (Detail mengenai metodologi temuan ini diuraikan pada bagian berikutnya.)

NDC tidak menetapkan kuota khusus energi untuk jalur netral karbon 2060 Indonesia, tetapi dekarbonisasi 90% dari permintaan termal ini (sekitar 217 MtCO₂) akan mewakili pemotongan emisi yang signifikan secara nasional. Hal ini menunjukkan bahwa panas bumi untuk mendinginkan dan menyediakan panas untuk industri merupakan faktor penting bagi Indonesia. Yang penting, Indonesia dapat memenuhi hampir setengah dari target 2030 dan sebagian besar sasaran 2060 dengan memanfaatkan keterampilan dan keahlian panas bumi, tetapi mengarahkan penggunaan ini ke sektor lain seperti *district cooling*.

SEKTOR DENGAN KEBUTUHAN ENERGI PANAS TERTINGGI

Data Kebutuhan Energi Panas Indonesia

| Industri dan Manufaktur – Proses Pemanasan | | Pendinginan dan Penyimpanan Dingin Residensial & Komersial | Pemanasan, Ventilasi, dan Pendinginan Udara (HVAC) Residensial & Komersial |
|--|---|--|--|
| Non-logam | 1. Semen 2. Kapur 3. Kaca lembaran (flat glass) | Pendinginan komersial | HVAC Komersial |
| Kimia | 1. Amonia 5. Polipropilena 2. Etilena 6. Kalsium karbida 3. Metanol 7. Akrilik 4. Polietilena | Pendinginan rumah tangga | HVAC Residensial |
| | | Penyimpanan dingin makanan dan minuman | |
| Pulp dan Kertas | 1. Pembuatan kertas mekanis (serat daur ulang) 2. Pembuatan kertas kimia (kraft) | | |
| Logam Dasar | 1. Baja – tanur tinggi (blast furnace) 2. Baja – tanur busur listrik (electric arc furnace) 3. Tembaga 4. Aluminium 5. Seng | | |
| Tekstil | 1. Pencelupan, pencetakan, dan penyempurnaan | | |
| Produk Minyak dan Batu Bara | 1. Pengilangan minyak 2. Karbon hitam | | |
| Pertanian dan Produk Susu | 1. Produk susu 5. Kopi 2. Gula 6. Kayu 3. Tembakau 7. Gula aren dan gula merah 4. The | | |

Kebutuhan Panas Proses Tahunan (TJ)

Produksi tahunan (ton) × input panas spesifik (TJ/ton)

Kebutuhan Pendinginan & Penyimpanan Dingin Tahunan (TJ)

Kapasitas pendinginan per unit (TW₃) × jumlah unit peralatan × faktor utilisasi (%) × waktu operasi tahunan (jam) × 3.600

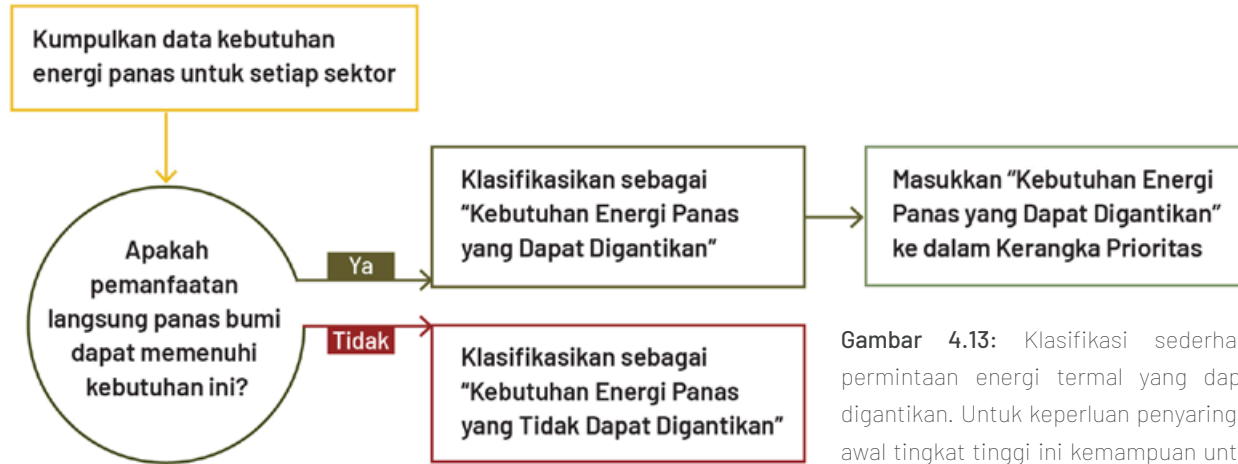
Kebutuhan HVAC Rumah Tangga & Komersial Tahunan (TJ)

Kapasitas pendinginan per unit (TW₃) × jumlah unit peralatan × faktor utilisasi (%) × waktu operasi tahunan (jam) × 3.600

Gambar 4.12: Sektor penggunaan akhir dan aplikasi termal yang dipertimbangkan dari pengumpulan data termal nasional. Daftar sumber lengkap dapat ditemukan di akhir bab ini.



KEBUTUHAN ENERGI PANAS YANG DAPAT DIGANTIKAN



*Kebutuhan dianggap dapat digantikan apabila temperatur proses tidak melebihi 200°C, dengan mempertimbangkan kemajuan teknologi penukar panas dan pompa panas di masa depan.

Gambar 4.13: Klasifikasi sederhana permintaan energi termal yang dapat digantikan. Untuk keperluan penyaringan awal tingkat tinggi ini kemampuan untuk digantikan ditentukan berdasarkan potensi teknis yang dilihat dari suhu semata. Tahapan analisis selanjutnya akan memasukkan faktor ekonomi dan geografis. Sumber Para penulis.

Permintaan yang Dapat Digantikan dalam Proses Pemanasan Industri dan Manufaktur

Pada tahun 2023, total permintaan termal untuk pemanasan proses industri dan manufaktur adalah 1.178.979,0 terajoule. Angka ini diproyeksikan tumbuh rata-rata 1% setiap tahun.^{36,37,38} Porsi permintaan termal yang dapat digantikan adalah 175.064,7 terajoule, atau 14,8% persen. Namun, poin penting yang harus diingat adalah permintaan yang dapat digantikan itu akan tumbuh pada laju 12,8% setiap tahun (**Gambar 4.14**).³⁹

Menurut angka terbaru dan perhitungan oleh penulis, hampir 62,4% sektor pemanasan proses Indonesia menggunakan pemanas berbahan bakar yang membakar solar dan gas alam. *Steam boiler* yang membakar gas alam mencapai 35,3%. (Pemanas listrik menyumbang 2,3% sisanya.) Pada tahun 2050, keseimbangan itu diproyeksikan bergeser: penggunaan *steam boiler* akan lebih dari 52%, dan pemanas berbahan bakar sekitar 44%.

Semua angka ini menunjukkan fakta bahwa dalam waktu dekat, sebagian besar permintaan termal Indonesia dapat digantikan oleh panas langsung panas bumi

yang bersih dan aman, terutama untuk kebutuhan suhu rendah hingga sedang (pada atau di bawah 200°C).⁴⁰

Permintaan yang Dapat Digantikan dan Peningkatan Teknologi yang Akan Datang

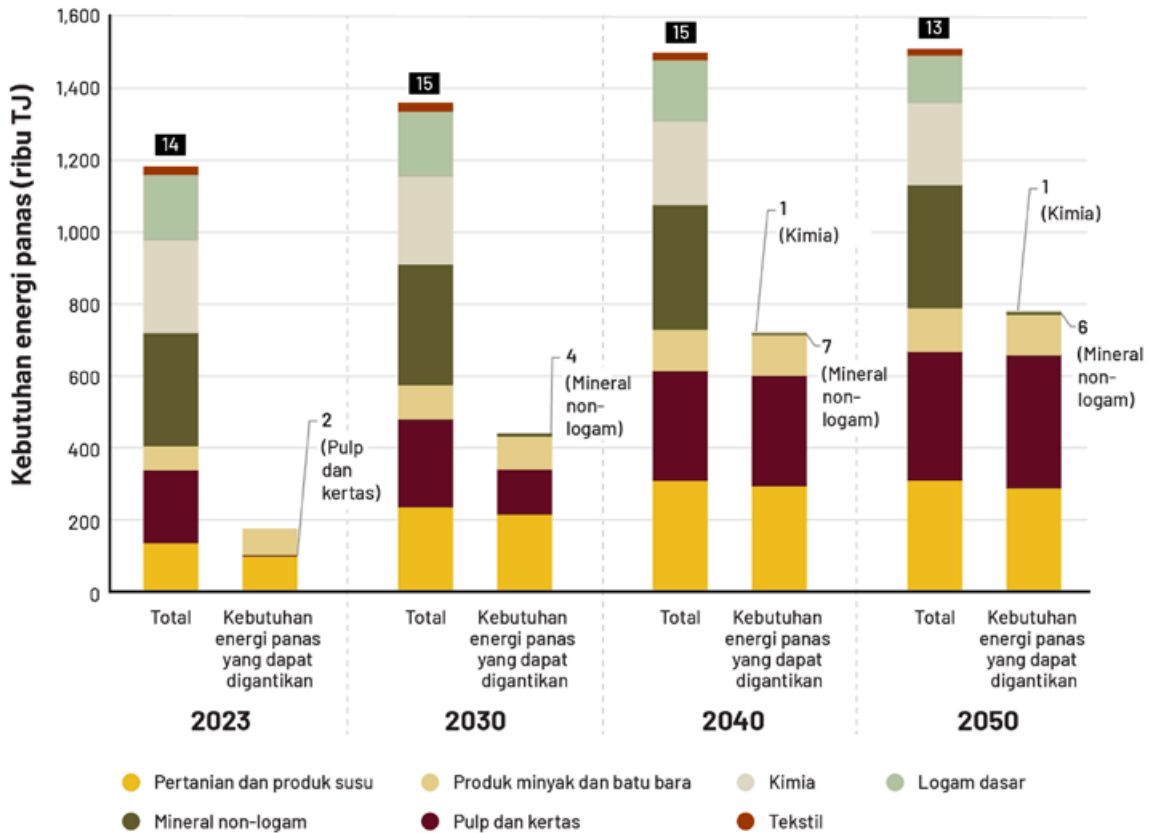
Saat ini, di sektor tekstil dan pertanian, lebih dari 70% permintaan termal berada pada atau di bawah 100°C. (Faktanya, dalam manufaktur tekstil, semua kebutuhan panas proses industri berada di bawah suhu ini; lihat **Gambar 4.15**.) Ini berarti semua permintaan dalam industri tekstil saat ini, dan sebagian besar di pertanian, dapat digantikan dengan pemanfaatan langsung panas bumi.

Sebaliknya, dalam produksi mineral non-logam, bahan kimia, dan pulp dan kertas, yang memiliki total permintaan proses pemanasan tertinggi di seluruh sektor, kurang dari 5% permintaan proses pemanasan memerlukan suhu yang lebih rendah. Oleh karena itu, sedikit dari permintaan untuk proses itu yang dapat digantikan.

Industri pulp dan kertas menggunakan suhu pada atau di bawah 200°C untuk proses pemanasannya (**Gambar 4.15**). Menjelang 2050, sebagian besar permintaan ini pada prinsipnya dapat dipenuhi melalui pemanfaatan



TOTAL KEBUTUHAN ENERGI PANAS DAN ANALISIS KETERGANTIAN



Gambar 4.14: Total permintaan pemanasan proses industri dan manufaktur yang diproyeksikan dan dapat digantikan di Indonesia berdasarkan sektor industri, 2023–50. TJ = terajoule. Daftar sumber lengkap dapat ditemukan di akhir bab ini.

langsung panas bumi dengan asumsi adanya peningkatan berkelanjutan dalam kinerja pompa kalor bersuhu tinggi serta kelayakan ekonominya. Hal ini terutama karena seluruh kebutuhan pemanasan proses di sektor industri secara teknis dapat digantikan oleh pemanfaatan langsung panas bumi berdasarkan kemajuan teknologi di masa depan terkait batas suhu pompa kalor. Dengan kata lain, rentang suhu yang dibutuhkan akan dapat dicapai melalui pengembangan pompa kalor industri komersial. (Pernyataan ini tidak mencakup mandat kebijakan maupun pertimbangan ekonomi.)

Istilah “dapat digantikan” di sini merujuk pada permintaan energi termal yang secara teknis dapat digantikan semata mata berdasarkan proyeksi kemajuan teknologi pompa kalor hingga 2050.

Menariknya, sektor pertanian dan produk susu yang diproyeksikan menempati peringkat ketiga dalam total permintaan energi termal pada 2050 akan memiliki lebih dari 95% kebutuhannya pada suhu di bawah atau sama dengan 200°C.⁴¹

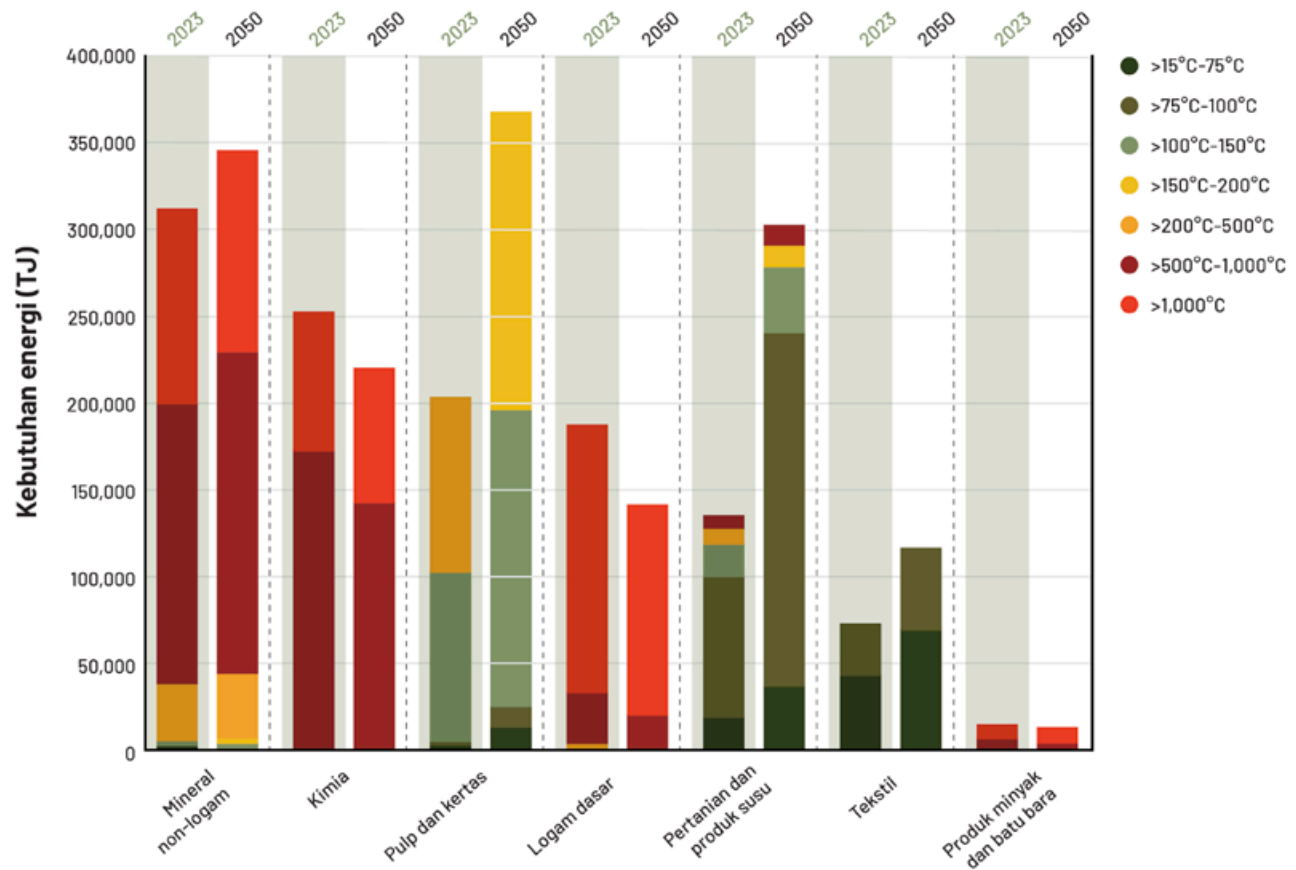
Pendinginan dan Penyimpanan Dingin

Sebagian besar energi yang digunakan di Indonesia dialokasikan untuk pendinginan dan penyimpanan pangan di fasilitas dingin dan permintaan ini diproyeksikan meningkat secara signifikan. Meskipun pemanfaatan langsung panas bumi tidak dapat menggantikan lemari es rumah tangga, teknologi ini dapat menggantikan sistem penyimpanan dingin komersial untuk makanan dan minuman.

Gambaran angkanya sebagai berikut: Pada 2023,



PERBANDINGAN 2023 DAN 2050: KEBUTUHAN ENERGI TERMAL UNTUK PROSES PEMANASAN INDUSTRI DAN MANUFAKTUR



Gambar 4.15: Total permintaan termal pemanasan proses industri dan manufaktur Indonesia berdasarkan suhu pada tahun dasar 2023 dan perkiraan untuk tahun 2050. Daftar sumber lengkap dapat ditemukan di akhir bab ini.

total kebutuhan pendinginan untuk refrigerasi dan penyimpanan dingin di Indonesia mencapai 785,950 terajoule (**Gambar 4.16**), dengan lemari es rumah tangga menyumbang hampir 91% dari total tersebut. Pada 2050, total permintaan diproyeksikan meningkat menjadi 1.002.342 terajoule. Namun yang penting, porsi permintaan dari lemari es rumah tangga akan menurun menjadi 72% seiring meningkatnya permintaan dari lemari es komersial serta penyimpanan dingin makanan dan minuman hingga 18%. Porsi 18% ini menjadi kunci karena seluruhnya dapat digantikan dengan energi panas bumi yang dikonversi menjadi daya pendinginan.

Pada 2023, sebagian besar permintaan energi penyimpanan dingin berasal dari fasilitas penyimpanan untuk mengurangi kehilangan pasca panen sebesar

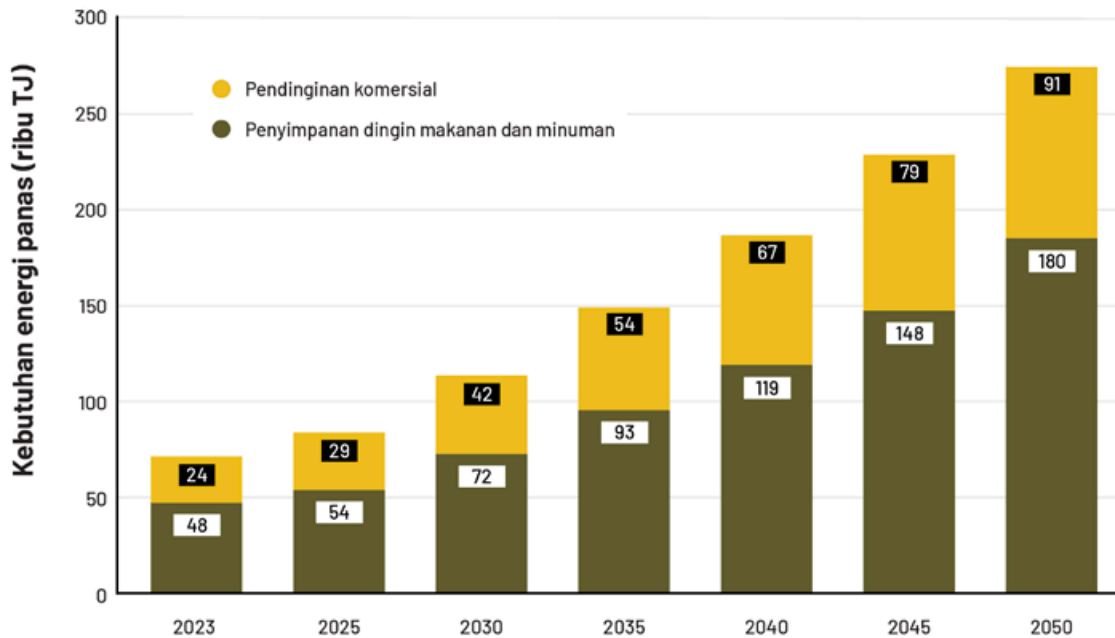
51% dan fasilitas packhouse siap pasar sebesar 46%. Pada 2050, penyimpanan diproyeksikan berada pada 49% sementara packhouse yang diperkirakan menjadi pengguna pendinginan terbesar akan menyerap 50% permintaan energi termal (**Gambar 4.18**).

Peluang Besar Permintaan Pendinginan yang Dapat Digantikan di Sektor Residensial dan Komersial

Pada 2023, total permintaan pendinginan untuk sistem pemanas ventilasi dan pendingin udara di sektor residensial dan komersial Indonesia mencapai 1.033.129 terajoule. Pada 2050, angka ini diperkirakan meningkat lebih dari empat kali lipat menjadi 4.633.361 terajoule.

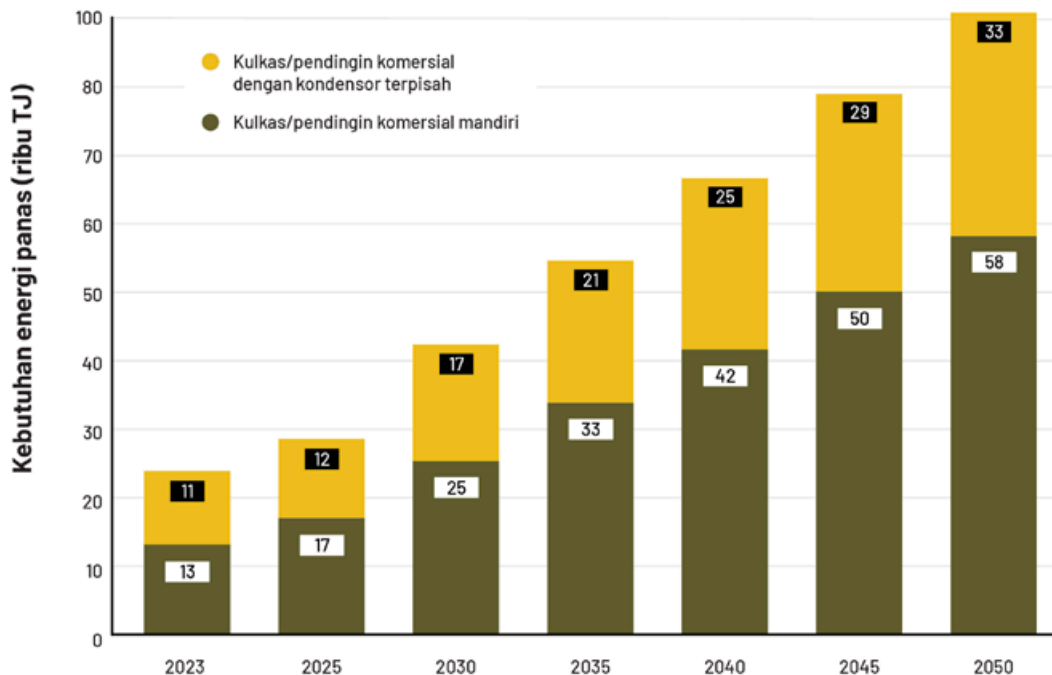


PROYEKSI KEBUTUHAN PENDINGINAN DAN PENYIMPANAN DINGIN



Gambar 4.16: Proyeksi permintaan energi termal penyimpanan dingin dan refrigerasi komersial di Indonesia dari 2023 hingga 2050. Sumber Perhitungan penulis diadaptasi dari Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). [Indonesia's National Cooling Action Plan \(I-NCAP\)](#). Government of Indonesia.

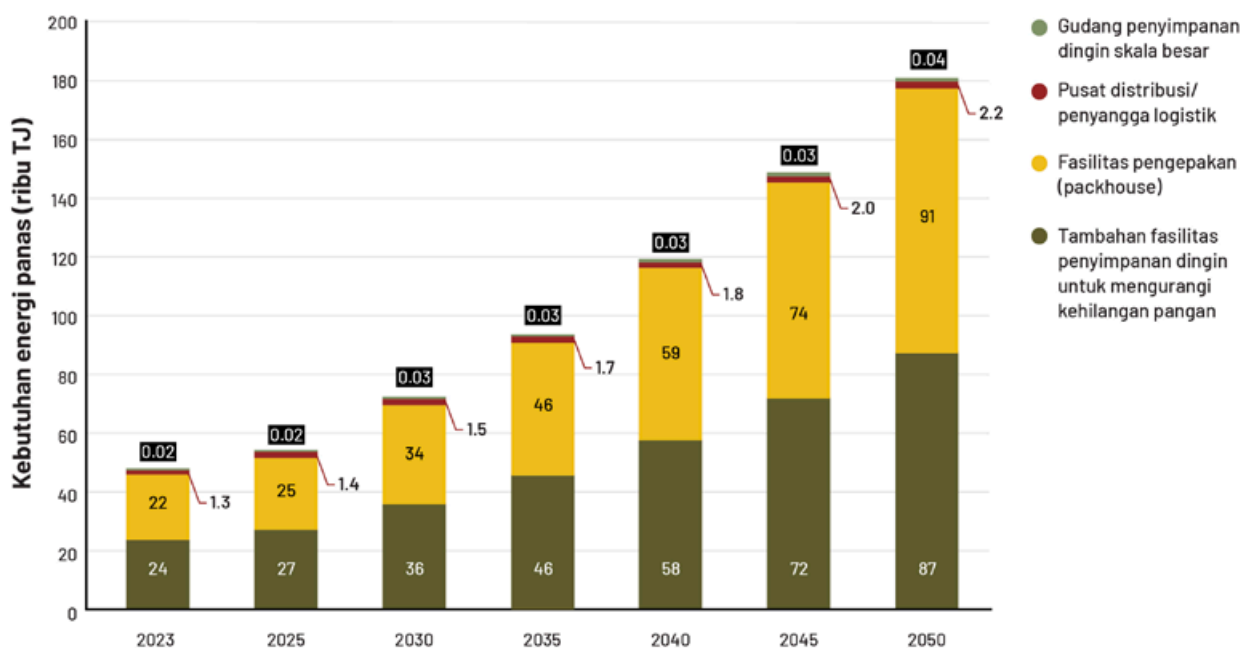
PROYEKSI KEBUTUHAN ENERGI PENDINGINAN BERDASARKAN JENIS PERALATAN



Gambar 4.17: Proyeksi permintaan energi termal refrigerasi komersial di Indonesia berdasarkan jenis peralatan dari 2023 hingga 2050. Sistem kondensasi komersial dan jarak jauh sudah dapat digantikan saat ini. Sumber: Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). [Indonesia's National Cooling Action Plan \(I-NCAP\)](#). Government of Indonesia.

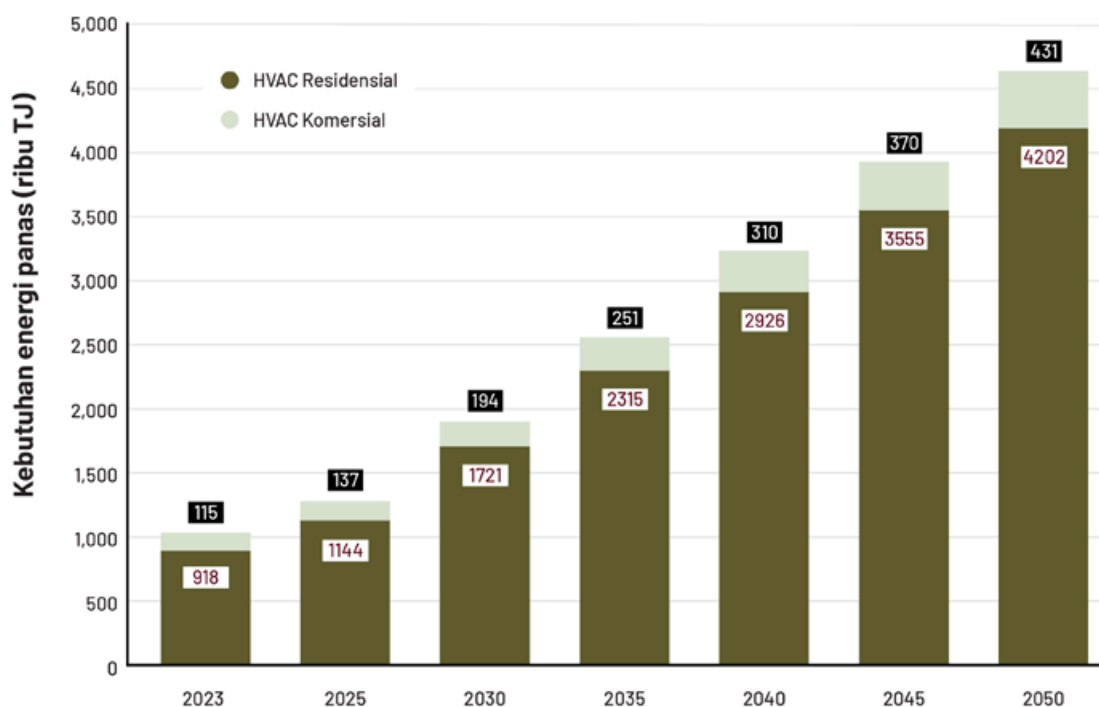


PROYEKSI KEBUTUHAN ENERGI TERMAL PENYIMPANAN DINGIN BERDASARKAN JENIS PERALATAN



Gambar 4.18: Proyeksi permintaan energi termal penyimpanan dingin di Indonesia berdasarkan jenis peralatan dari 2023 hingga 2050. Seluruh permintaan energi dari packhouse disruption hubs dan bulk cold storage dapat digantikan dengan pemanfaatan langsung panas bumi. Sumber: Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). [Indonesia's National Cooling Action Plan \(I-NCAP\)](#). Government of Indonesia.

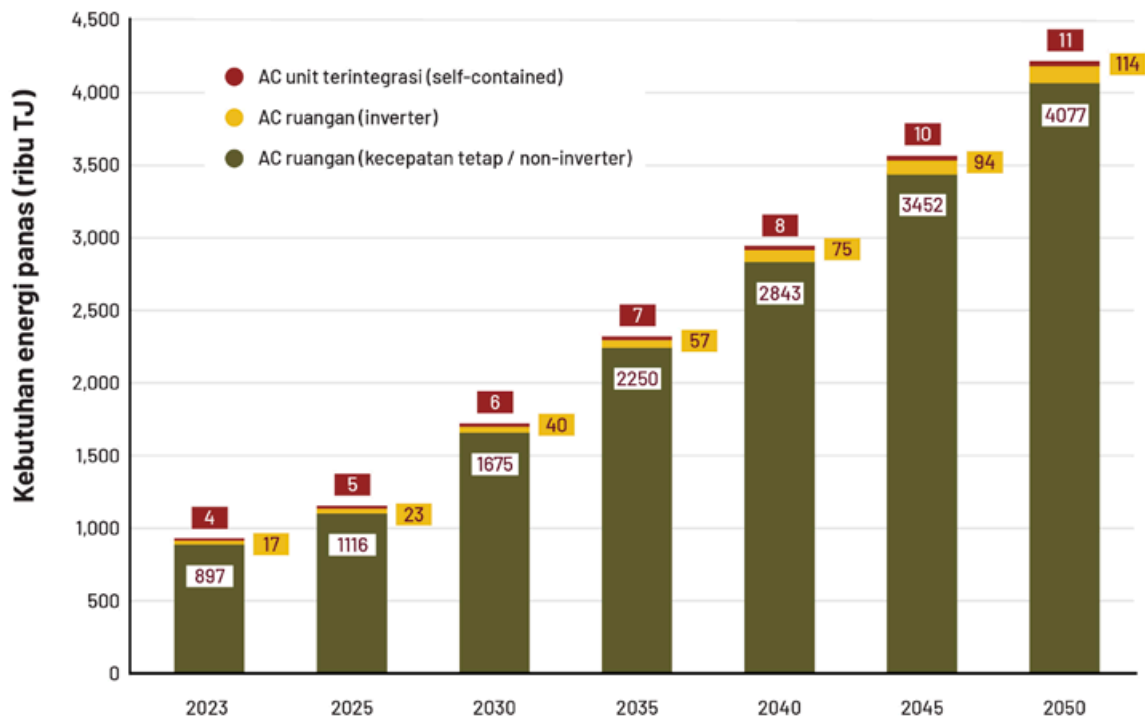
TOTAL KEBUTUHAN ENERGI PANAS UNTUK HVAC SEKTOR RESIDENSIAL DAN KOMERSIAL, 2023-2050



Gambar 4.19: Proyeksi permintaan energi termal HVAC residensial dan komersial di Indonesia dari 2023 hingga 2050. TJ = terajoule. Sumber: Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). [Indonesia's National Cooling Action Plan \(I-NCAP\)](#). Government of Indonesia.



TOTAL KEBUTUHAN ENERGI TERMAL UNTUK HVAC RESIDENSIAL BERDASARKAN JENIS PERALATAN, 2023-2050



Gambar 4.20: Proyeksi permintaan energi termal HVAC residensial di Indonesia berdasarkan jenis peralatan dari 2023 hingga 2050. TJ = terajoule. Sumber: Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). [Indonesia's National Cooling Action Plan \(I-NCAP\)](#). Government of Indonesia.

Sebanyak 89% dari total permintaan pada 2023 berasal dari sistem HVAC residensial dan porsi ini diperkirakan terus meningkat (lihat **Gambar 4.19** dan **4.20**).

Pada 2023, di sektor komersial sistem HVAC chiller sentrifugal dan screw chiller merupakan sistem pendinginan utama yang secara bersama menyumbang lebih dari setengah permintaan komersial. Sistem sistem ini diperkirakan tetap dominan pada 2050 dan banyak di antaranya berpotensi digantikan atau didukung oleh pendinginan berbasis panas bumi (**Gambar 4.21**).

RINGKASAN: APA YANG DAPAT DIGANTIKAN SEKARANG DAN DALAM WAKTU DEKAT

- Total permintaan energi termal Indonesia diproyeksikan meningkat dari **2.998.058,6 terajoule** pada 2023 menjadi **7.142.641,3 terajoule** pada 2050.
- Bagian dari permintaan tersebut yang dapat digantikan oleh panas bumi diperkirakan meningkat

dari **1.994.144,3 terajoule** pada 2023 menjadi **6.415.222,5 terajoule** pada 2050.

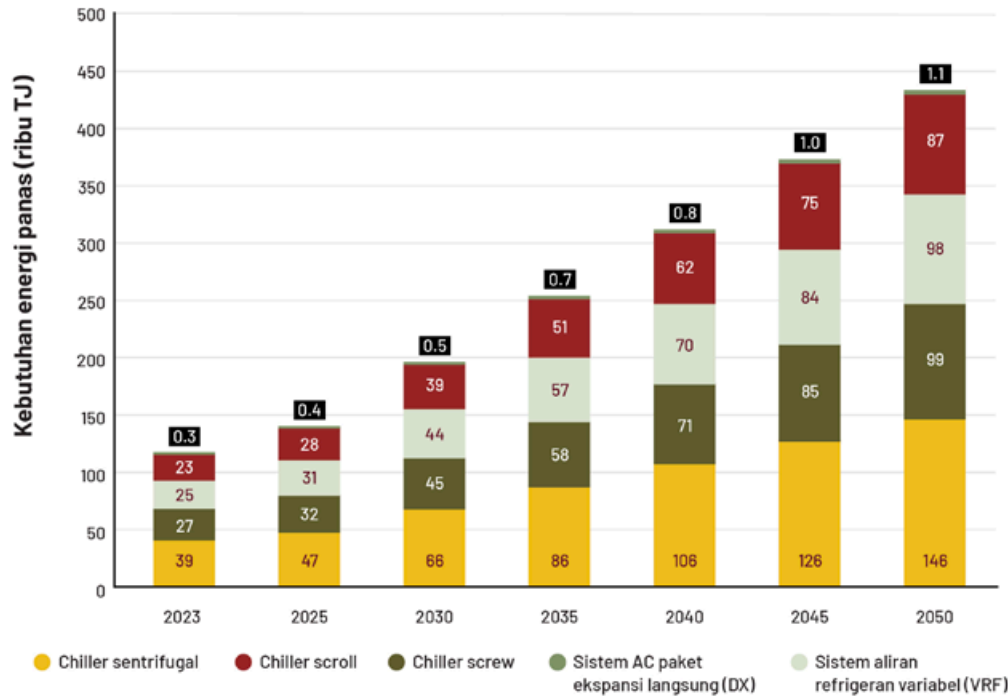
- Dengan demikian porsi permintaan energi termal yang dapat digantikan meningkat dari **66,5%** pada 2023 menjadi **89,8%** pada 2050.

Bagaimana hal ini dapat terjadi? Proyeksi kemajuan teknologi pompa kalor memungkinkan teknologi tersebut menangani seluruh rentang suhu proses HVAC residensial dan komersial yang lebih tinggi.⁴²

- Pada 2023 sektor industri dan manufaktur merupakan konsumen energi termal terbesar dengan porsi 39,3% dari total.
- Pada 2050, konsumen energi termal terbesar diperkirakan berasal dari sektor HVAC residensial dan komersial dengan porsi 64,9% dari total permintaan (lihat **Gambar 4.22**).

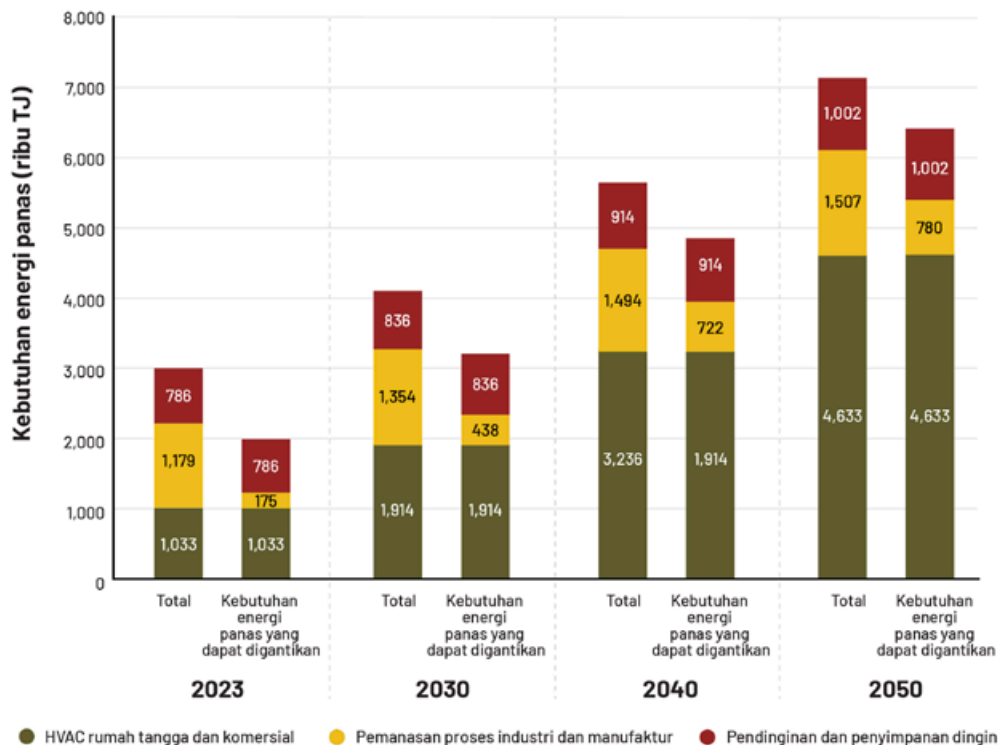


TOTAL KEBUTUHAN ENERGI TERMAL UNTUK HVAC KOMERSIAL BERDASARKAN JENIS PERALATAN, 2023-2050



Gambar 4.21: Proyeksi permintaan energi termal HVAC komersial di Indonesia berdasarkan jenis peralatan dari 2023 hingga 2050. TJ = terajoule. Sumber: Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). [Indonesia's National Cooling Action Plan \(I-NCAP\)](#). Government of Indonesia.

PROYEKSI TOTAL DAN KEBUTUHAN ENERGI TERMAL YANG DAPAT DIGANTIKAN BERDASARKAN SEKTOR PENGGUNAAN AKHIR, 2023-2050



Gambar 4.22: Proyeksi total dan permintaan energi termal yang dapat digantikan di Indonesia berdasarkan sektor penggunaan akhir dari 2023 hingga 2050 dengan kata lain 89,9% dari total permintaan energi termal dapat digantikan. TJ = terajoule. Sumber Analisis penulis berdasarkan data permintaan energi termal dari laporan resmi berbagai lembaga literatur akademik serta data Badan Pusat Statistik. Sumber data rinci disajikan dalam Lampiran 1.



- Perubahan ini didorong oleh laju pertumbuhan tahunan sektor HVAC yang sangat tinggi sebesar 12,9% dibandingkan pertumbuhan sektor industri sebesar 1,0%.
- Kabar baiknya seluruh kebutuhan pendinginan di sektor industri serta HVAC residensial dan komersial secara teknis dapat dipenuhi melalui pemanfaatan langsung panas bumi baik melalui

sistem pendinginan distrik maupun GSHP individual atau terhubung. Meskipun memerlukan pembangunan sektor secara besar besaran dan dukungan kebijakan pada 2050 sebesar 64,9% dari total permintaan energi termal Indonesia berpotensi dipenuhi oleh panas bumi yang bersih aman dan andal.

PERMINTAAN ENERGI DAN PENDINGINAN UNTUK PUSAT DATA DI INDONESIA

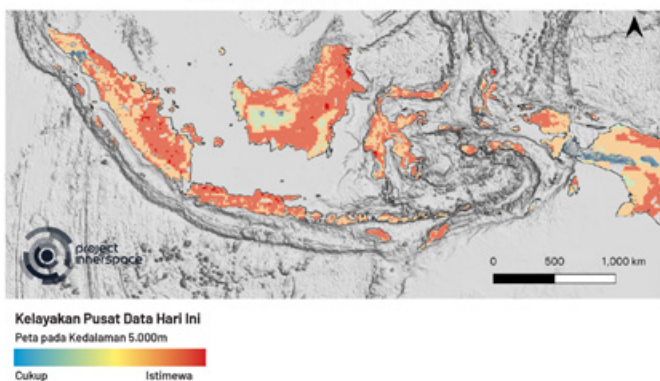
Meskipun belum menjadi kategori tersendiri dalam statistik resmi, industri pusat data di Indonesia telah berkembang sangat pesat baik dari sisi skala maupun perannya sebagaimana terjadi secara global. Pertumbuhan ini didorong oleh pesatnya ekonomi digital serta kepentingan nasional terkait kedaulatan data. Saat ini Indonesia memiliki pasar pusat data terbesar ketiga di Asia Tenggara setelah Singapura dan Malaysia.⁴³

Pusat data merupakan fasilitas dengan konsumsi energi yang sangat tinggi dan sebagian besar energi tersebut

digunakan untuk satu fungsi krusial yaitu pendinginan. Untuk menjaga kinerja server tetap optimal dan mencegah panas berlebih pusat data bergantung pada sistem pendinginan berkapasitas besar.

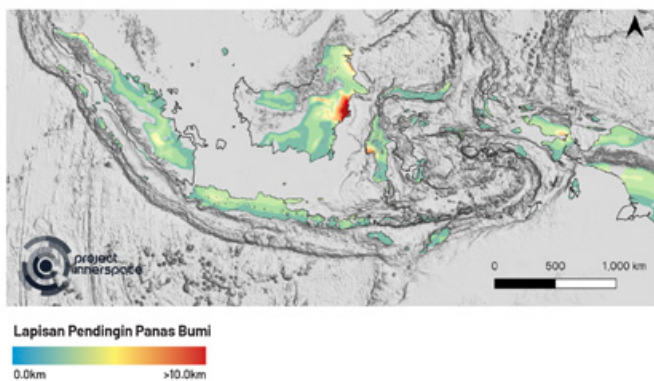
Ekspansi yang sangat cepat ini menghadirkan tantangan besar berupa lonjakan permintaan listrik yang diperkirakan mencapai 1.400 megawatt beban teknologi informasi dan 700 megawatt beban pendinginan di Indonesia pada 2030.⁴⁴

PETA KELAYAKAN PUSAT DATA



Gambar 4.23: Peta yang menunjukkan potensi panas bumi kumulatif dalam satuan gigawatt pada kedalaman antara 0 meter hingga 5.000 meter di seluruh dunia dengan ambang batas suhu 150°C sebagai batas minimum pembangkitan listrik. Peta ini digabungkan dengan peta jarak terhadap simpul serat optik untuk menghasilkan peta tingkat kelayakan. Sumber: Project InnerSpace. (2025). [Today's global data center favorability Map at 5000 m](#) [Data Centers Module]. GeoMap.

LAPISAN RESERVOIR PENDINGIN PANAS BUMI



Gambar 4.24: Energi panas bumi tidak hanya untuk pembangkitan listrik tetapi juga merupakan solusi pendinginan terobosan. Peta ini menyoroti akuifer sedimen yang mengandung air asin atau payau di bawah muka air tanah sehingga tidak mengganggu air minum yang layak serta memiliki porositas dan permeabilitas alami yang menjadikannya ideal untuk aplikasi pendinginan. Sumber: Project InnerSpace. (2025). [Geothermal cooling layer](#) [Data Centers Module]. GeoMap.



Saat ini pusat data terkonsentrasi di kawasan ekonomi Jabodetabek. Kota Batam yang terletak di seberang Singapura dengan cepat berkembang menjadi pusat sekunder untuk menangkap limpahan permintaan dari negara tersebut.⁴⁵ Hal ini merupakan kabar baik karena kedua wilayah tersebut memiliki potensi pendinginan panas bumi yang kuat sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4.23**.

Teknologi panas bumi generasi berikutnya menawarkan peluang strategis bagi pusat data di Indonesia melalui dua jalur utama:

- **Pembangkit Listrik *behind-the-meter*:** Penempatan pusat data yang berdekatan dengan sumber daya panas bumi menyediakan pasokan listrik yang bersih stabil dan langsung di lokasi. Analisis terbaru yang berfokus pada Amerika Serikat menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat menurunkan biaya listrik rata-rata antara 31% hingga 45% dibandingkan model konvensional yang bergantung pada jaringan. Analisis tersebut juga menunjukkan bahwa panas bumi secara ekonomis dapat memenuhi sekitar dua pertiga dari proyeksi permintaan energi pusat data.⁴⁶ Besaran penghematan di Indonesia akan bergantung pada faktor lokal seperti tarif jaringan dan biaya pengeboran panas bumi. Namun, temuan di Amerika Serikat memberikan pembelajaran penting bagi Indonesia. Sejumlah inisiatif telah mulai muncul termasuk rencana pembangunan pusat data di dekat pembangkit panas bumi besar di Jawa Barat⁴⁷ serta fasilitas pusat data berbasis panas bumi di Jakarta, Bandung, dan Sumatra melalui skema Sertifikat Energi Terbarukan dari PLN.

- **Pendinginan Langsung Panas Bumi:** Dengan menggantikan sistem pendinginan konvensional, teknologi pendinginan langsung berbasis panas bumi dapat mengurangi hingga 40% dari total konsumsi energi pusat data.⁴⁸ Penerapan sistem ini akan secara signifikan menurunkan beban listrik jaringan nasional terutama di wilayah dengan permintaan tinggi. Untuk menghasilkan dampak terbesar, pengembang perlu memprioritaskan penerapan pendinginan langsung panas bumi pada proyek pusat data di Jabodetabek dan Batam.

Indonesia merupakan pemimpin global dalam panas bumi. Di tengah meningkatnya kebutuhan perusahaan akan energi bersih dan stabil untuk pusat data hanya sedikit negara yang memiliki potensi pusat data berbasis panas bumi sebesar Indonesia.

Untuk mengembangkan sektor ini secara optimal diperlukan kebijakan yang terarah dan dukungan teknis yang kuat sebagaimana dijelaskan dalam Bab 7 “Mengubah Potensi Menjadi Kekuatan: Cetak Biru Kebijakan untuk Transformasi Panas Bumi Indonesia”. Prioritas utama meliputi hal-hal berikut:

- Regulasi yang lebih jelas untuk sistem pembangkitan listrik *behind the meter*
- Penetapan hak sumber daya panas bumi khusus untuk aplikasi pendinginan pemanfaatan langsung
- Peningkatan data bawah permukaan untuk mendukung pengembangan sistem panas bumi *enhanced* dan *advanced* sehingga memperluas pilihan lokasi pusat data

Untuk informasi lebih lanjut mengenai lanskap energi dan pendinginan untuk pusat data di Indonesia, lihat **Gambar 4.23** and **4.24**.

Proyeksi untuk Tahun 2030

- ~1400 megawatts kapasitas beban IT
- ~700 megawatts beban pendinginan, dengan asumsi PUE (*power usage effectiveness*) 1,5 (teknologi pendinginan yang lebih efisien)
- ~6,132 gigawatt-hours energi yang dibutuhkan untuk pendinginan per tahun

Sumber: Mordor Intelligence. (2025). [Indonesia data center cooling market size and share analysis—growth trends & forecasts \(2025–2031\)](#).

Distribusi Lokasi Pusat Data

- 150 pusat data dari 25 pasar di Indonesia
- **Jabodetabek:** Pusat utama, yang diuntungkan dari jaringan serat padat dan kedekatan dengan bisnis besar serta entitas pemerintah
- **Batam:** Alternatif pusat yang muncul, titik pendaratan kunci untuk kabel bawah laut internasional baru yang menawarkan jaringan listrik andal dan kedekatan strategis dengan Singapura

Sumber: Project InnerSpace, 2025; Data Center Map. (n.d.). [Indonesia data centers](#).



Pemetaan Spasial Potensi Panas Bumi Pemanfaatan Langsung

Kunci untuk menentukan lokasi terbaik pemasangan panas bumi pemanfaatan langsung adalah mengidentifikasi kesesuaian antara permintaan energi dan suhu bawah permukaan yang paling optimal.

Untuk menilai kondisi bawah permukaan digunakan data tahun 2024 dari Direktorat Data dan Komputasi mengenai suhu lingkungan serta berbagai himpunan data suhu bawah permukaan lainnya.^{49,50,51} Kualitas data bervariasi antar wilayah namun data terbaik tersedia untuk Jawa, Sumatra Utara, dan Riau karena adanya aktivitas eksplorasi panas bumi serta minyak dan gas sebelumnya.

Sebagaimana telah dijelaskan aplikasi pemanfaatan langsung umumnya dapat dikembangkan tanpa harus mencapai sumber daya bersuhu tinggi pada kedalaman besar yang biasanya dibutuhkan untuk pembangkitan listrik. Bahkan sumber daya bersuhu rendah hingga menengah pada kedalaman yang lebih dangkal sering kali lebih ekonomis dibandingkan sumber daya bersuhu tinggi pada kedalaman yang jauh lebih dalam. Kedalaman ditemukannya suhu yang dapat dimanfaatkan memengaruhi teknologi yang digunakan serta kelayakan proyek.

Sebagian fasilitas pemanfaatan langsung yang telah ada memanfaatkan uap berlebih dari pembangkit listrik atau manifestasi permukaan. Di wilayah yang tidak memiliki kondisi tersebut anomali panas dangkal menjadi target yang layak untuk pengeboran dekat permukaan sehingga memungkinkan pemanfaatan panas bumi tanpa biaya pengeboran dalam. Studi ini menekankan potensi pengeboran dangkal di wilayah wilayah tanpa manifestasi tersebut.

Panas yang Mudah Diakses

Analisis suhu berdasarkan kedalaman (**Gambar 4.25, 4.26, and 4.27**) mengonfirmasi bahwa Indonesia memiliki banyak wilayah dengan suhu bawah permukaan antara 30°C hingga 50°C pada kedalaman dangkal hingga sedang yaitu kurang dari 1.000 meter. Kondisi ini menjadikan wilayah tersebut sesuai untuk berbagai aplikasi pemanfaatan langsung dengan biaya yang kompetitif termasuk pemanasan industri dan pemandian.

Suhu Tanah Dangkal yang Sesuai untuk GSHP

Data suhu tanah dangkal pada kedalaman 2 meter digunakan untuk menilai dan mengidentifikasi wilayah yang sesuai bagi penerapan GSHP dangkal.⁵² Dengan membandingkan suhu tanah dangkal dan suhu udara ambien dapat diidentifikasi wilayah dengan potensi pertukaran panas yang efisien dengan tanah yang lebih dingin mendukung pendinginan dan tanah yang lebih hangat mendukung pemanasan. Semakin besar perbedaan suhu semakin tinggi efisiensi GSHP. **Gambar 4.28** menunjukkan distribusi spasial untuk mendukung pemilihan lokasi penerapan GSHP di Indonesia. Untuk pemahaman lebih lanjut mengenai potensi panas bumi generasi berikutnya lihat Lampiran Bab 3 "Memperluas Cakupan: Peluang Pengembangan Geotermal Generasi Baru."

Keterbatasan dan Arah ke Depan

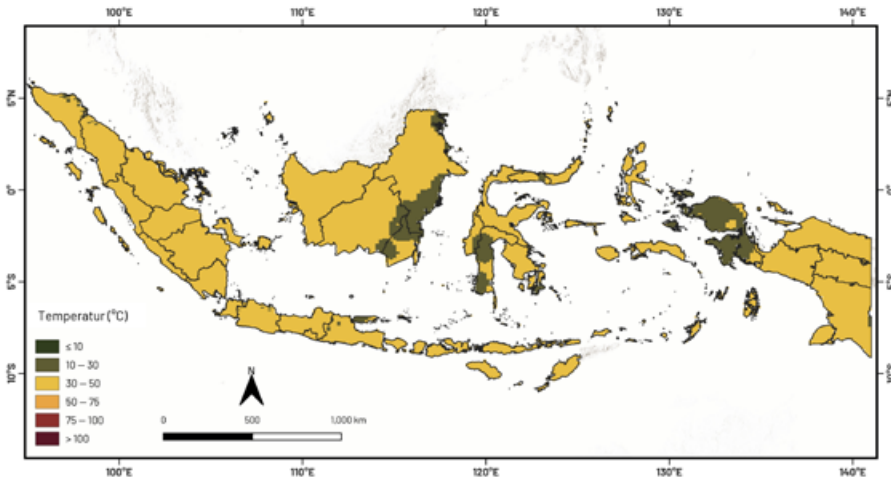
Pemetaan permintaan energi termal dan suhu bawah permukaan menunjukkan bahwa banyak wilayah di Indonesia terutama di Jawa dan sebagian Sumatra memiliki potensi untuk pemanfaatan langsung panas bumi. Namun, tingkat kesesuaian pada akhirnya ditentukan oleh faktor seperti permeabilitas dan teknologi yang dibutuhkan.

Wilayah yang secara geologi dikendalikan oleh permeabilitas primer, seperti lingkungan sedimen pengisi graben, dapat dievaluasi melalui pemetaan litologi dan kajian rinci. Sementara itu wilayah dengan rezim tektonik aktif dapat memiliki sesar dan struktur yang berfungsi sebagai zona permeabilitas sekunder. Oleh karena itu, wilayah yang dicirikan oleh permeabilitas sekunder dapat diidentifikasi melalui manifestasi permukaan dan penilaian struktur berbasis geofisika. Secara konseptual wilayah dengan permeabilitas tinggi lebih sesuai untuk aliran fluida dan perpindahan panas.

Sementara beberapa aplikasi seperti pompa kalor dapat beroperasi pada suhu yang lebih rendah dengan kebutuhan bawah permukaan yang minimal, aplikasi lain memerlukan suhu yang lebih tinggi dan permeabilitas yang lebih baik seperti chiller absorpsi. Penyesuaian teknologi dengan kondisi lokal serta pelaksanaan kajian spesifik per sektor merupakan langkah penting. Mengingat setiap sektor industri memiliki kebutuhan sumber daya

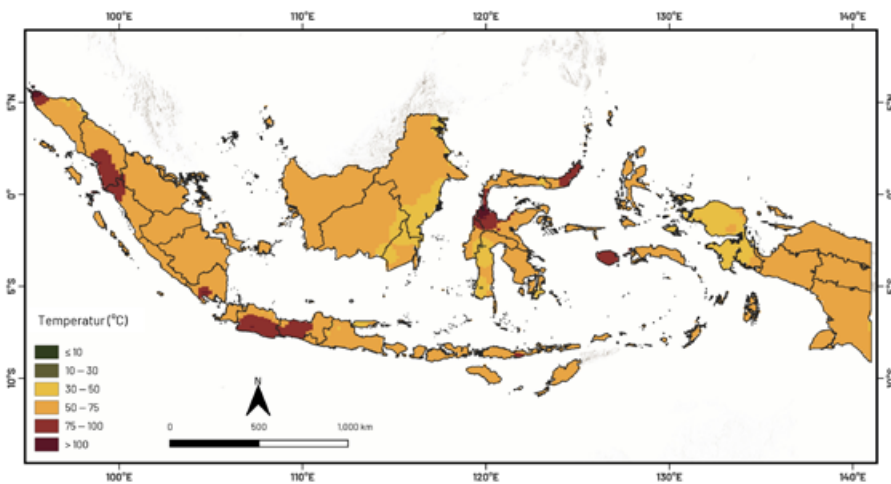


TEMPERATUR PADA KEDALAMAN 100 METER



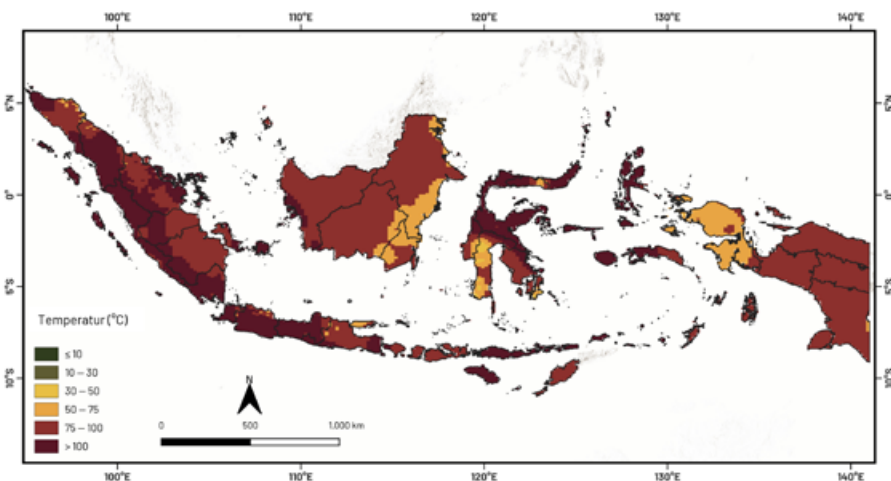
Gambar 4.25: Distribusi suhu pada kedalaman 100 meter berdasarkan data sumur panas bumi yang tersedia serta perhitungan suhu dari aliran panas gradien suhu dan konduktivitas rata-rata. Sumber: International Heat Flow Commission (IHFC). (n.d.). [The global heat flow database](#).

TEMPERATUR PADA KEDALAMAN 500 METER



Gambar 4.26: Distribusi suhu pada kedalaman 500 meter berdasarkan data sumur panas bumi yang tersedia serta perhitungan suhu dari aliran panas gradien suhu dan konduktivitas rata-rata. Sumber: International Heat Flow Commission (IHFC). (n.d.). [The global heat flow database](#).

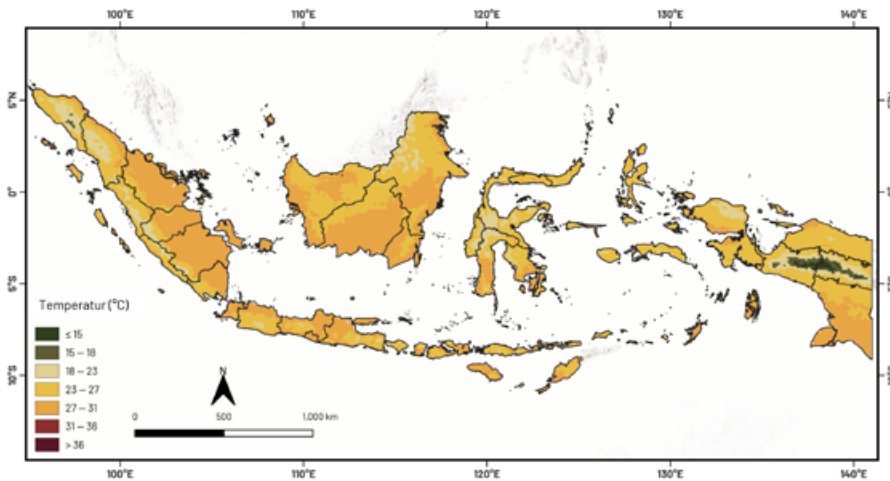
TEMPERATUR PADA KEDALAMAN 1000 METER



Gambar 4.27: Distribusi suhu pada kedalaman 1.000 meter berdasarkan data sumur panas bumi yang tersedia serta perhitungan suhu dari aliran panas gradien suhu dan konduktivitas rata-rata. Sumber: International Heat Flow Commission (IHFC). (n.d.). [The global heat flow database](#).

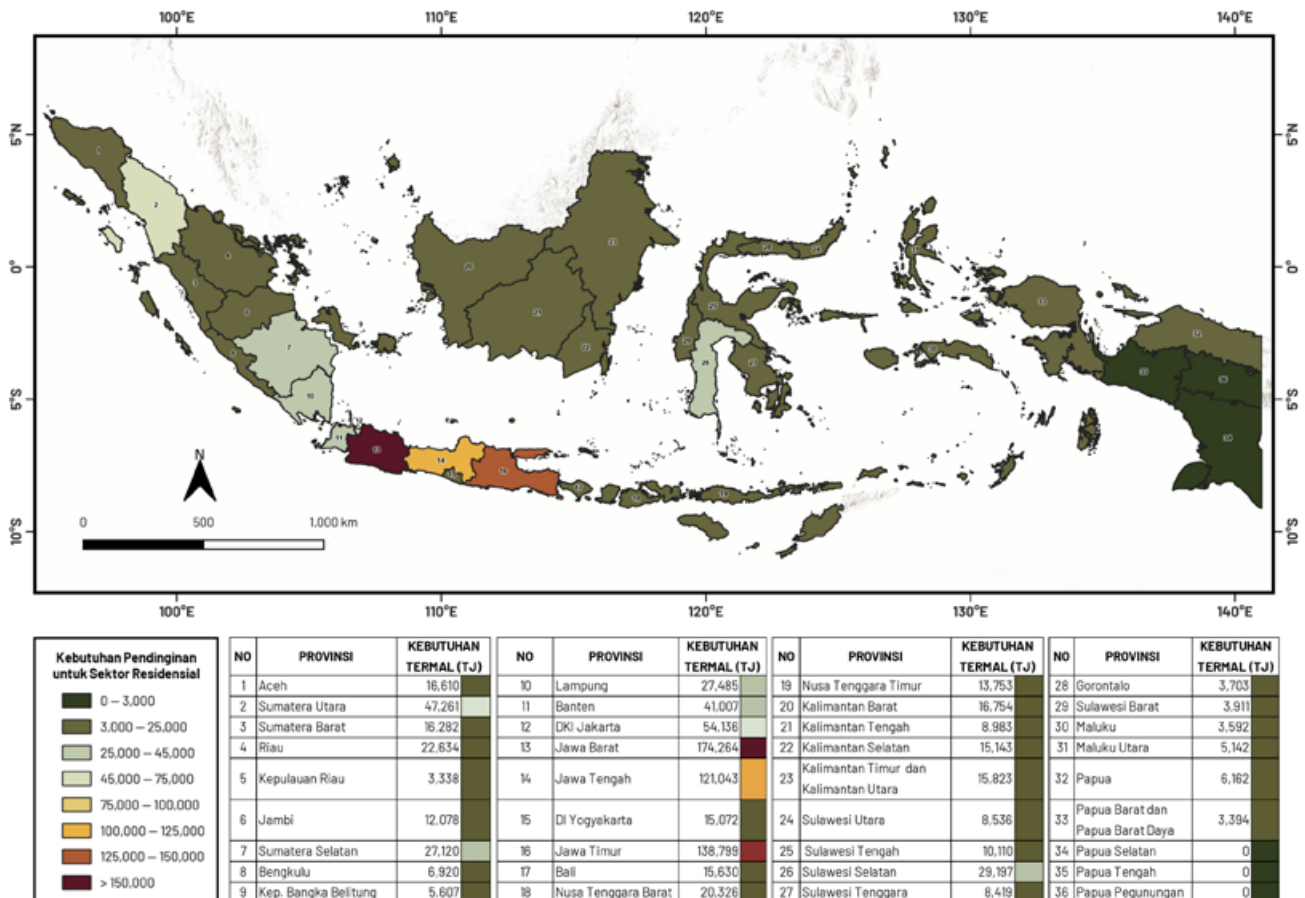


DISTRIBUSI TEMPERATUR TANAH DANGKAL



Gambar 4.28: Distribusi rata-rata tahunan suhu tanah dangkal pada 2024 di kedalaman 2 meter. Wilayah berwarna khaki dan oranye menunjukkan efisiensi GSHP terbaik. Data dihasilkan melalui pemodelan permukaan darat berbasis fisika dengan menggunakan input meteorologi aktual seperti suhu udara curah hujan radiasi matahari dan kelembapan tanah. Sumber: Copernicus Climate Change Service (C3S). (2025). *Thermal comfort indices derived from ERA5 reanalysis* [Data set]. Climate Data Store (CDS).

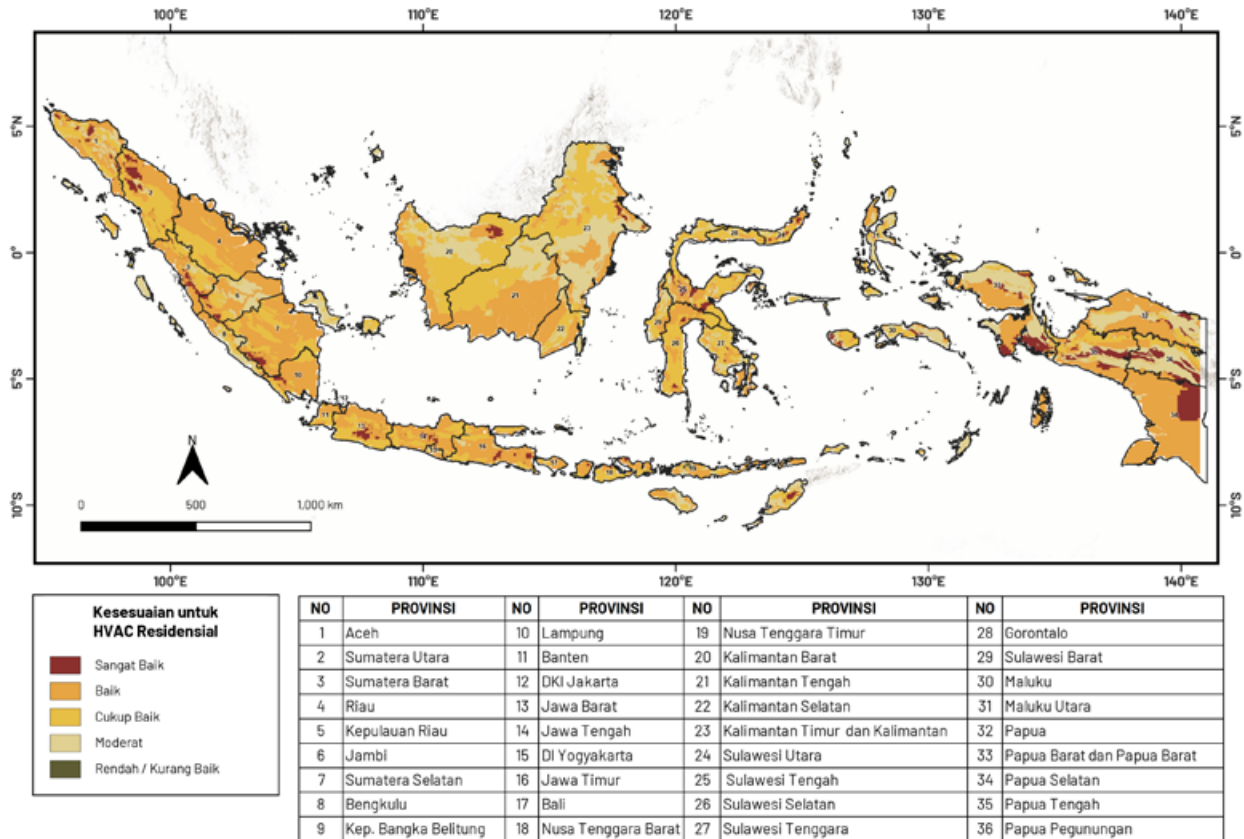
KEBUTUHAN PENDINGINAN PADA SEKTOR RUMAH TANGGA PER PROVINSI DI INDONESIA



Gambar 4.29: Pemetaan permintaan dasar pendinginan sektor residensial pada 2023 berdasarkan provinsi di Indonesia. TJ = terajoule. Sumber: Diadaptasi dari PLN. (2024). *Statistics 2023*; BPS-Statistics Indonesia. (2024). *Riau Province in figures 2024*; BPS-Statistics Indonesia. (2024). *Jawa Tengah Province in figures 2024*; BPS-Statistics Indonesia. (2024). *Sumatera Selatan Province in figures 2024*; BPS-Statistics Indonesia. (2024). *Jambi Province in figures 2024*; BPS-Statistics Indonesia. (2024). *East Java Province in figures 2024*; BPS-Statistics Indonesia. (2024). *West Java Province in figures 2024*.



PETA KESESUAIAN KEBUTUHAN HVAC RESIDENSIAL, 2023



Gambar 4.30: Peta kesesuaian HVAC residensial berdasarkan permintaan energi termal dasar 2023 perbedaan suhu udara dan tanah serta konduktivitas termal kualitatif formasi dangkal. Sumber: Diadaptasi dari PLN. (2024). [Statistics 2023](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Riau Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Jawa Tengah Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Sumatera Selatan Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Jambi Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [East Java Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [West Java Province in figures 2024](#).

yang berbeda diperlukan evaluasi yang lebih terarah dan mendalam untuk menentukan tingkat kesesuaian aktual secara kasus per kasus.

Temuan ini menunjukkan adanya peluang realistis bagi Indonesia untuk memanfaatkan panas bumi alamnya guna memenuhi sebagian besar kebutuhan pemanasan dan pendinginan di masa depan sekaligus memberikan jalur yang jelas untuk mendukung target transisi menuju energi yang lebih bersih. Potensi ini terutama signifikan untuk pengurangan emisi karbon melalui penerapan GSHP untuk pendinginan rumah tangga serta sistem pemanfaatan langsung untuk pendinginan bangunan komersial di mana kebutuhan energi termal diperkirakan tumbuh paling cepat.

PELUANG TERBESAR PENDINGINAN DI JAWA DAN PEMANASAN PROSES DI AGRIBISNIS

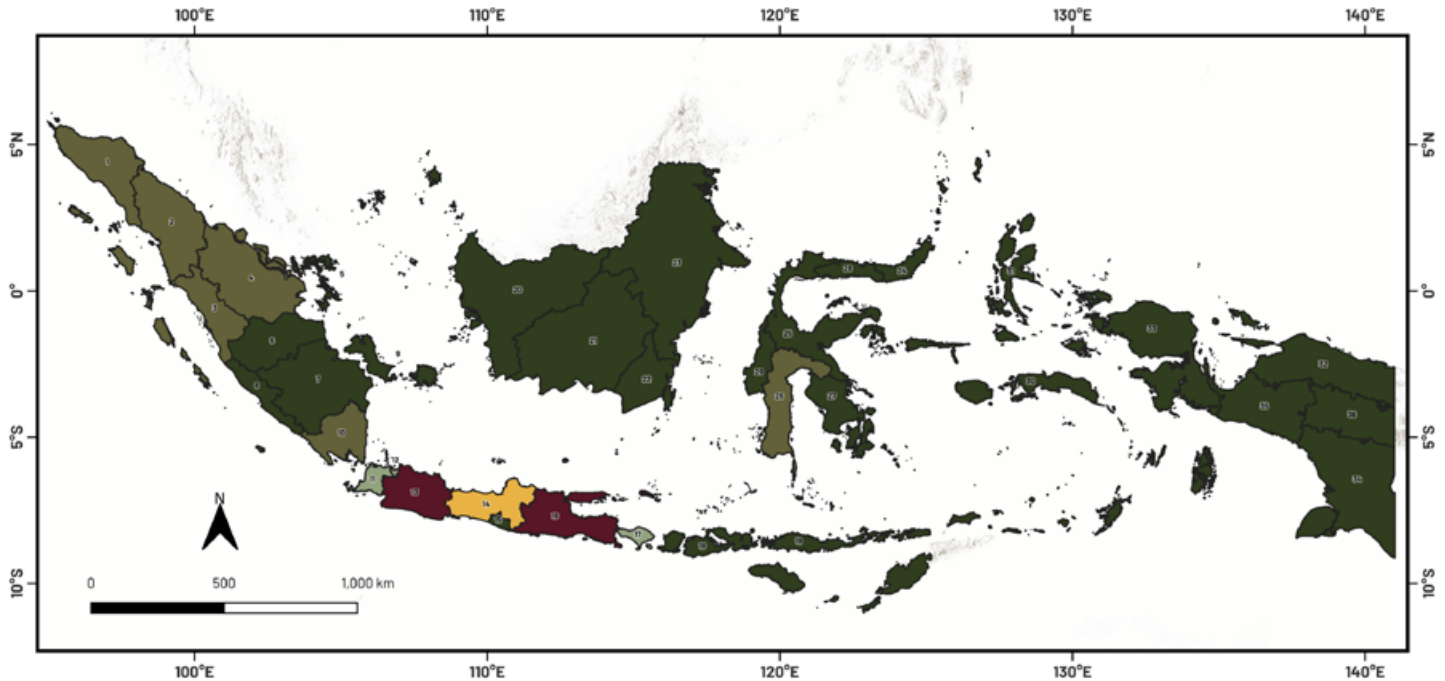
Evaluasi menyeluruh terhadap permintaan energi termal ketersediaan sumber daya potensi ekonomi serta kesiapan teknologi mengidentifikasi dua peluang dengan dampak terbesar yaitu pendinginan di Jawa dan pemanasan proses di sektor agribisnis.

Pendinginan di Pusat Perkotaan Jawa

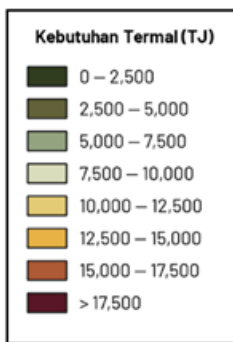
Provinsi-provinsi di Pulau Jawa yang padat penduduk dan memiliki peran ekonomi strategis menunjukkan tingkat permintaan tertinggi serta kesesuaian geologi yang sangat baik. Penerapan teknologi pendinginan panas bumi di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa



KEBUTUHAN ENERGI PANAS DASAR UNTUK HVAC KOMERSIAL PER PROVINSI DI INDONESIA



| NO | PROVINSI | KEBUTUHAN TERMAL (TJ) | NO | PROVINSI | KEBUTUHAN TERMAL (TJ) | NO | PROVINSI | KEBUTUHAN TERMAL (TJ) | NO | PROVINSI | KEBUTUHAN TERMAL (TJ) |
|----|----------------------|-----------------------|----|---------------------|-----------------------|----|---------------------------------------|-----------------------|----|----------------------------------|-----------------------|
| 1 | Aceh | 4,002 | 10 | Lampung | 2,633 | 19 | Nusa Tenggara Timur | 885 | 28 | Gorontalo | 255 |
| 2 | Sumatera Utara | 3,865 | 11 | Banten | 5,720 | 20 | Kalimantan Barat | 2,026 | 29 | Sulawesi Barat | 307 |
| 3 | Sumatera Barat | 4,654 | 12 | DKI Jakarta | 7,412 | 21 | Kalimantan Tengah | 1,722 | 30 | Maluku | 277 |
| 4 | Riau | 4,267 | 13 | Jawa Barat | 20,350 | 22 | Kalimantan Selatan | 1,828 | 31 | Maluku Utara | 348 |
| 5 | Kepulauan Riau | 742 | 14 | Jawa Tengah | 14,014 | 23 | Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara | 2,283 | 32 | Papua | 808 |
| 6 | Jambi | 1,368 | 15 | DI Yogyakarta | 1,769 | 24 | Sulawesi Utara | 699 | 33 | Papua Barat dan Papua Barat Daya | 409 |
| 7 | Sumatera Selatan | 1,584 | 16 | Jawa Timur | 18,047 | 25 | Sulawesi Tengah | 681 | 34 | Papua Selatan | 0 |
| 8 | Bengkulu | 510 | 17 | Bali | 5,959 | 26 | Sulawesi Selatan | 2,746 | 35 | Papua Tengah | 0 |
| 9 | Kep. Bangka Belitung | 976 | 18 | Nusa Tenggara Barat | 1,018 | 27 | Sulawesi Tenggara | 734 | 36 | Papua Pegunungan | 0 |



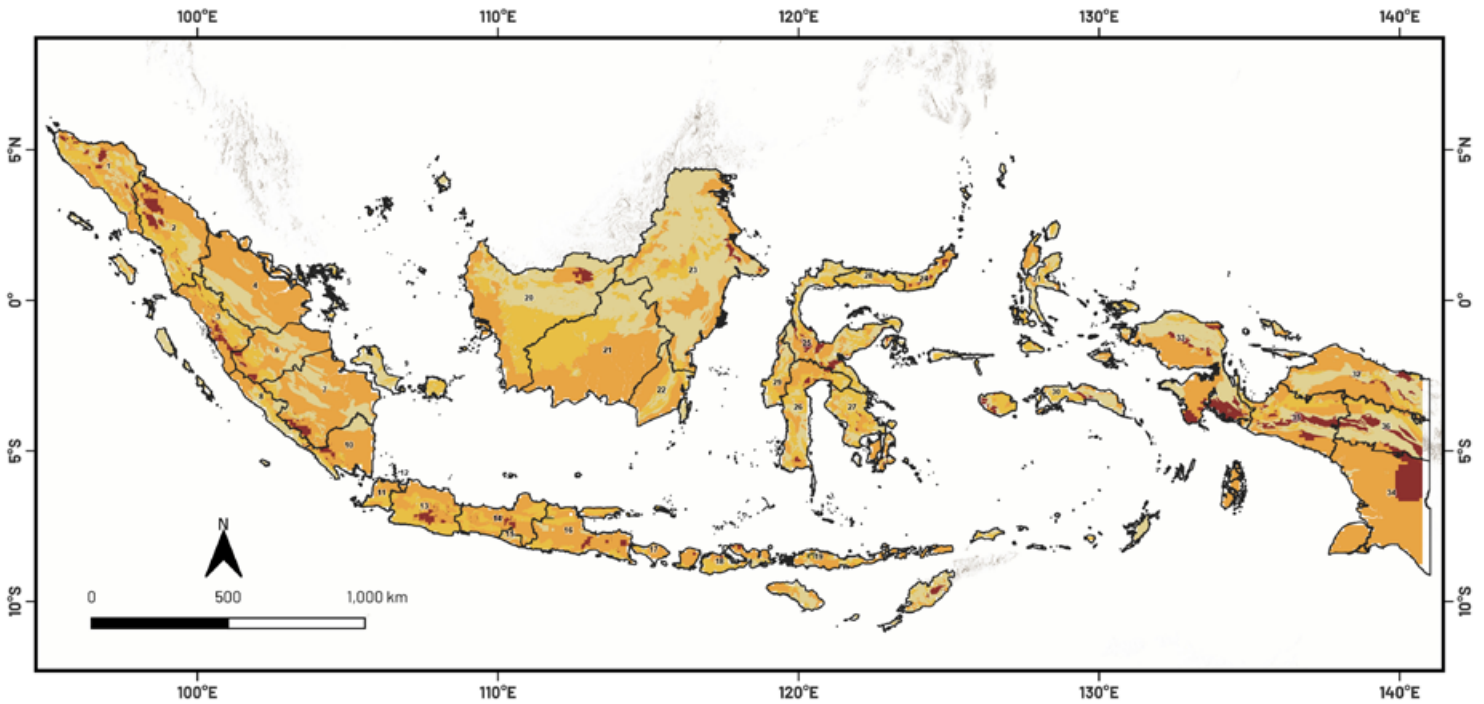
Gambar 4.31: Pemetaan permintaan energi termal dasar HVAC komersial pada 2023 berdasarkan provinsi di Indonesia. TJ = terajoule. Sumber: Diadaptasi dari PLN. (2024). [Statistics 2023](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Riau Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Jawa Tengah Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Sumatera Selatan Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Jambi Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [East Java Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [West Java Province in figures 2024](#).

Timur berpotensi menurunkan konsumsi listrik secara signifikan mengurangi beban puncak meningkatkan keandalan sistem serta menghindari kebutuhan investasi ekspansi kapasitas yang mahal. Prioritas utama pemanfaatan langsung di wilayah ini adalah penyediaan pendinginan untuk bangunan dimulai dari gedung komersial besar atau fasilitas publik seperti

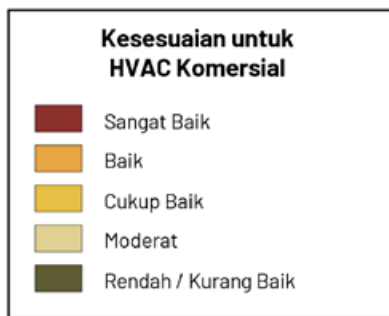
rumah sakit. **Gambar 4.29** dan **4.30** memetakan distribusi permintaan pendinginan dan kesesuaiannya, secara berurutan, untuk pendinginan rumah tangga melalui GSHP di Indonesia. Untuk pendinginan komersial, **Gambar 4.31** dan **4.32** menampilkan permintaan serta tingkat kesesuaian sumber daya panas bumi yang tersedia.



KESESUAIAN UNTUK PENDINGINAN KOMERSIAL



| NO | PROVINSI | NO | PROVINSI | NO | PROVINSI | NO | PROVINSI |
|----|----------------------|----|---------------------|----|---------------------------------|----|-----------------------------|
| 1 | Aceh | 10 | Lampung | 19 | Nusa Tenggara Timur | 28 | Gorontalo |
| 2 | Sumatera Utara | 11 | Banten | 20 | Kalimantan Barat | 29 | Sulawesi Barat |
| 3 | Sumatera Barat | 12 | DKI Jakarta | 21 | Kalimantan Tengah | 30 | Maluku |
| 4 | Riau | 13 | Jawa Barat | 22 | Kalimantan Selatan | 31 | Maluku Utara |
| 5 | Kepulauan Riau | 14 | Jawa Tengah | 23 | Kalimantan Timur dan Kalimantan | 32 | Papua |
| 6 | Jambi | 15 | DI Yogyakarta | 24 | Sulawesi Utara | 33 | Papua Barat dan Papua Barat |
| 7 | Sumatera Selatan | 16 | Jawa Timur | 25 | Sulawesi Tengah | 34 | Papua Selatan |
| 8 | Bengkulu | 17 | Bali | 26 | Sulawesi Selatan | 35 | Papua Tengah |
| 9 | Kep. Bangka Belitung | 18 | Nusa Tenggara Barat | 27 | Sulawesi Tenggara | 36 | Papua Pegunungan |



Gambar 4.32: Peta kesesuaian HVAC komersial yang menyortir potensi tinggi yang terkonsentrasi di Jawa dan sebagian Sumatra. Sumber: Diadaptasi dari PLN. (2024). [Statistics 2023](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Riau Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Jawa Tengah Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Sumatera Selatan Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Jambi Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [East Java Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [West Java Province in figures 2024](#).



PENDINGINAN DISTRIK PANAS BUMI UNTUK BANGUNAN KOMERSIAL DAN RESIDENSIAL

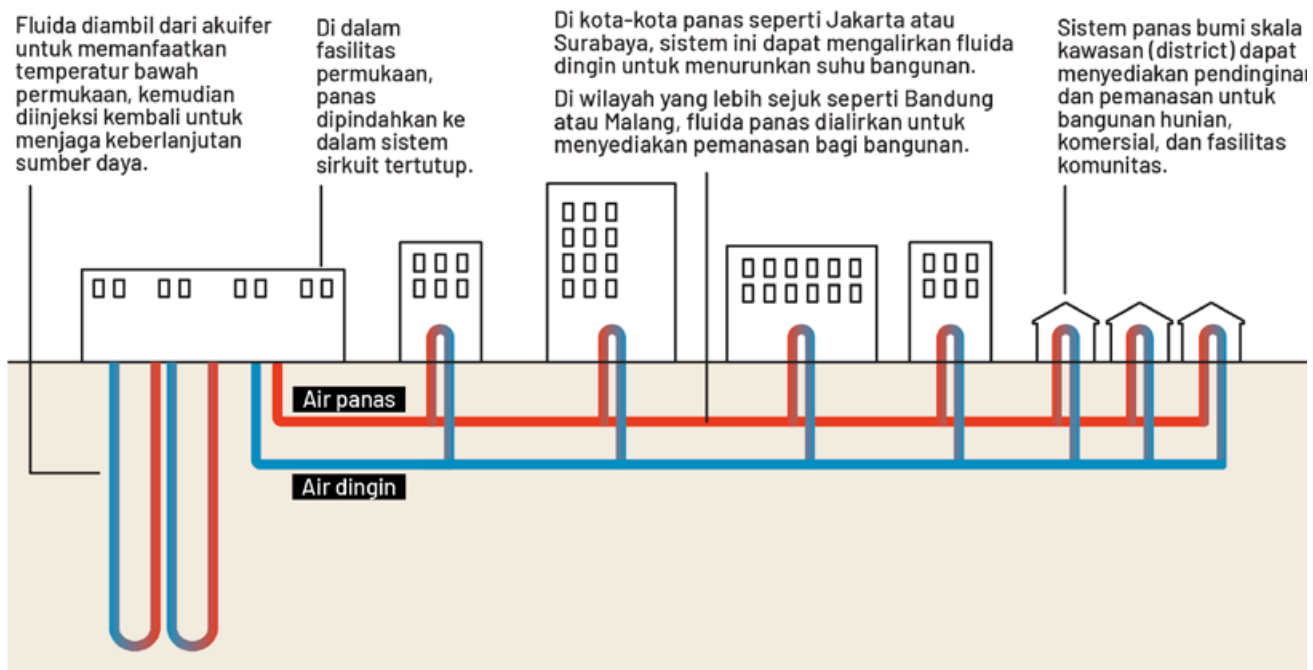
Dengan suhu lingkungan rata-rata sekitar 27 derajat Celsius pendinginan bukan hanya kebutuhan musiman melainkan kebutuhan sepanjang tahun. Indonesia menghadapi kebutuhan mendesak akan sistem pendinginan bangunan yang efisien dan berkelanjutan.

Energi panas bumi merupakan salah satu bentuk pendinginan paling efisien yang tersedia dan menawarkan jalur menuju ketahanan energi ketangguhan ekonomi serta masa depan berkelanjutan.

Zona Target: Kesesuaian Permintaan dan Sumber Daya Panas Bumi

- Potensi pendinginan terbesar Indonesia terkonsentrasi di **Jawa Barat**, **Jawa Tengah** dan **Jawa Timur** yang merupakan pusat ekonomi dan manufaktur utama.
- Wilayah **Jabodetabek** sebagai pusat bisnis dan pemerintahan nasional juga memiliki potensi pendinginan yang signifikan.
- **Sumatra Utara** khususnya Medan dan Jambi menunjukkan potensi yang baik untuk pendinginan residensial karena kepadatan penduduk yang tinggi.
- Kota Balikpapan, Banjarmasin, dan Samarinda di Kalimantan merupakan kandidat awal untuk proyek pendinginan distrik berbasis panas bumi.

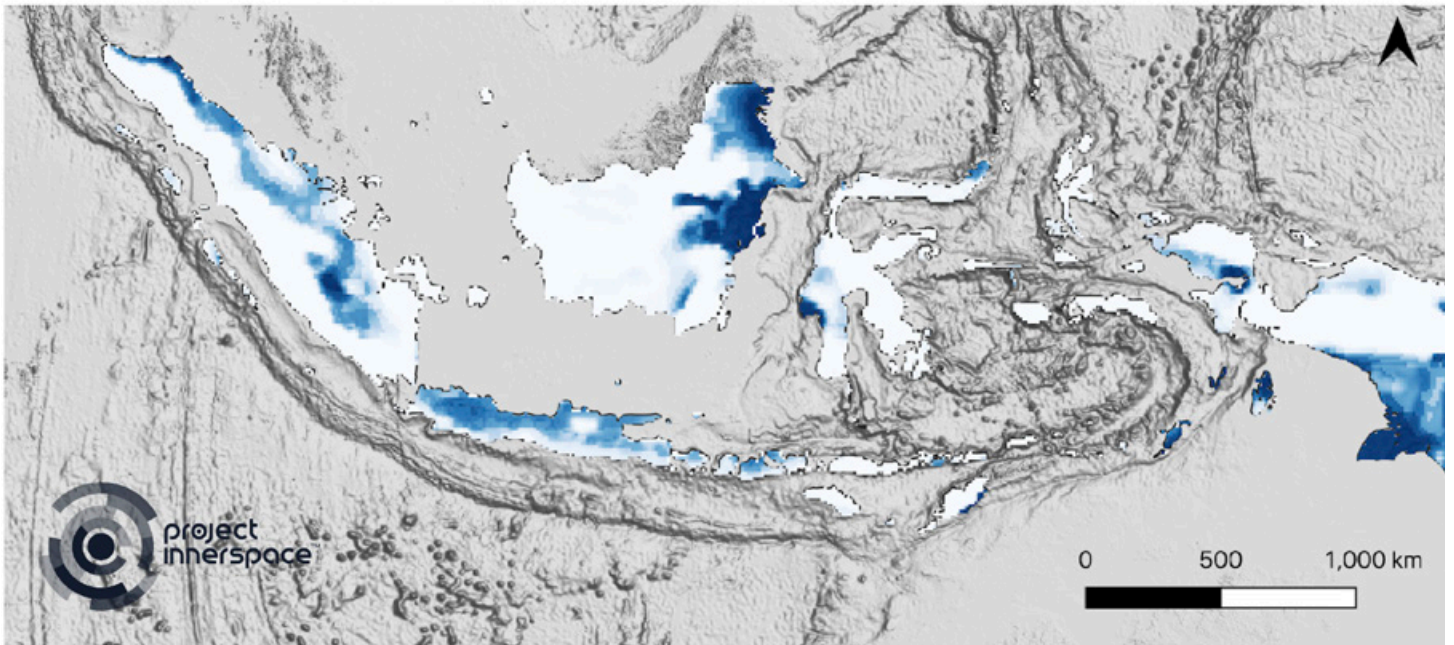
JARINGAN PENDINGINAN DAN PEMANASAN PANAS BUMI



Gambar 4.33: Fluida dalam sistem pendinginan distrik umumnya dibawa ke permukaan pada suhu target sekitar 21 derajat Celsius. Fluida ini kemudian dialirkan melalui pompa kalor untuk menghasilkan air dingin pada musim panas dan air panas pada musim dingin. Sistem ini dapat lebih dari dua kali lebih efisien dibandingkan sistem HVAC konvensional karena beban termal dibagi antar bangunan. Sumber: Diadaptasi dari U.S. Department of Energy. [Geothermal district heating & cooling](#).



KOTA YANG PALING SESUAI UNTUK DISTRICT COOLING



Potensi Pendinginan Spasial dalam GW

($\geq 90^{\circ}\text{C}$, $\leq 5\text{km}$)



Gambar 4.34: Peta yang menggambarkan potensi kumulatif hingga kedalaman 4.000 meter dalam satuan PJ per kilometer persegi yang merepresentasikan potensi termal cekungan sedimen. Peta ini menggunakan ambang suhu bawah permukaan 90°C dan suhu permukaan 15°C untuk menekankan wilayah lintang hangat yang berpotensi memanfaatkan pendinginan panas bumi. Kepadatan penduduk ditampilkan sebagai lapisan tambahan. Sumber: Project InnerSpace. (2025). *Spatial cooling 90°C 4000 m cumulative PJ/km²* [Global Volumetric, LCOE, and LCOH Models Underpinning the IEA Geothermal Report Module]. GeoMap; Project InnerSpace. (2025). *Cities for spatial cooling* [Global Volumetric, LCOE, and LCOH Models Underpinning the IEA Geothermal Report Module]. GeoMap.

BERDASARKAN ANGKA

- **365 hari per tahun:** Seberapa sering pendinginan dibutuhkan karena iklim khatulistiwa Indonesia⁵³
- **338 juta:** Proyeksi populasi Indonesia pada tahun 2050, berdasarkan proyeksi dari Badan Pusat Statistik Indonesia dan utilitas permintaan pendinginan urbanisasi⁵⁴
- **1°C - 1.5°C :** Kenaikan suhu yang diproyeksikan pada tahun 2050.⁵⁵



PEMANFAATAN LANGSUNG UNTUK PEMANASAN PROSES AGROINDUSTRI

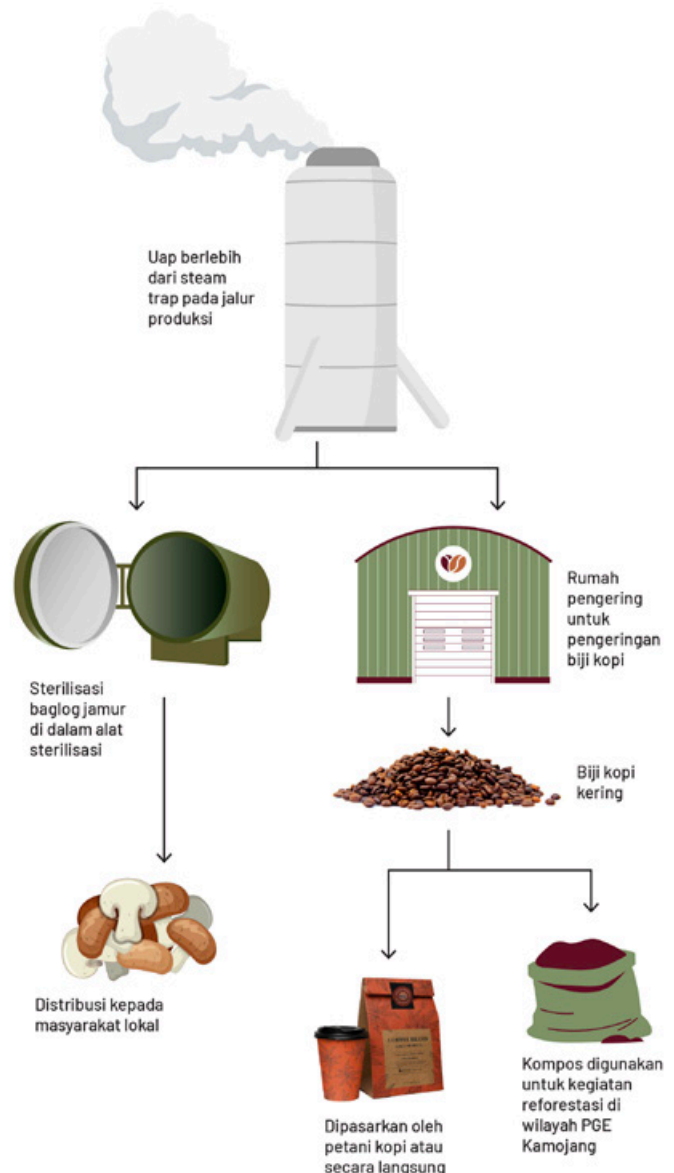
Proyek yang Berjalan Saat Ini

Saat ini aplikasi pemanfaatan langsung panas bumi di sektor pertanian dan industri sebagian besar dikembangkan melalui inisiatif tanggung jawab sosial perusahaan dan umumnya berskala kecil seperti pemanasan rumah kaca atau pengeringan dengan kemitraan bersama masyarakat lokal.

Sejumlah proyek percontohan di sektor pertanian mulai menunjukkan bagaimana pemanfaatan langsung panas bumi dapat memanfaatkan sumber daya bersuhu rendah hingga menengah terutama di wilayah dataran tinggi tempat sumber daya bawah permukaan dan aktivitas pertanian saling beririsan. Lapangan panas bumi Kamojang merupakan contoh utama. Untuk mendukung masyarakat sekitar, PT Pertamina Geothermal Energy memanfaatkan uap berlebih yang ditangkap dari sistem perangkat uap pembangkit listrik panas bumi untuk proses seperti sterilisasi jamur dan pengolahan limbah organik menjadi kompos (**Gambar 4.35**).

Berbagai aplikasi pemanfaatan langsung yang diterapkan oleh PT Pertamina Geothermal Energy memberikan bukti nyata pemanfaatan panas bumi untuk keperluan pertanian. Meskipun saat ini masih berskala kecil dan lokal inisiatif ini menunjukkan kelayakan teknis serta nilai sosial ekonomi dari proyek pemanfaatan langsung dan menjadi fondasi bagi investasi di masa depan. Contoh ini juga dapat memperkuat penerimaan sosial pengembang panas bumi di Indonesia dengan menghadirkan manfaat nyata bagi masyarakat. (lihat Bab 6, "Mencari Titik Temu: Membangun Kepercayaan dan Transparansi dalam Transisi Energi Indonesia"). Selain itu, pengembangan agroindustri telah diidentifikasi sebagai salah satu kegiatan pendukung dalam operasi panas bumi PT Pertamina Geothermal Energy. Apabila regulasi panas bumi lebih jelas dan mendukung aplikasi non kelistrikan inisiatif ini dapat direplikasi dan diperluas sehingga membuka sumber pendapatan tambahan bagi pengembang serta mendorong pengembangan sektor panas bumi nasional secara lebih luas. (Lihat Bab 7, "Mengubah Potensi Menjadi Kekuatan: Cetak Biru Kebijakan untuk Transformasi Panas Bumi Indonesia").

PEMANFAATAN UAP PANAS BUMI BERLEBIH UNTUK PERTANIAN

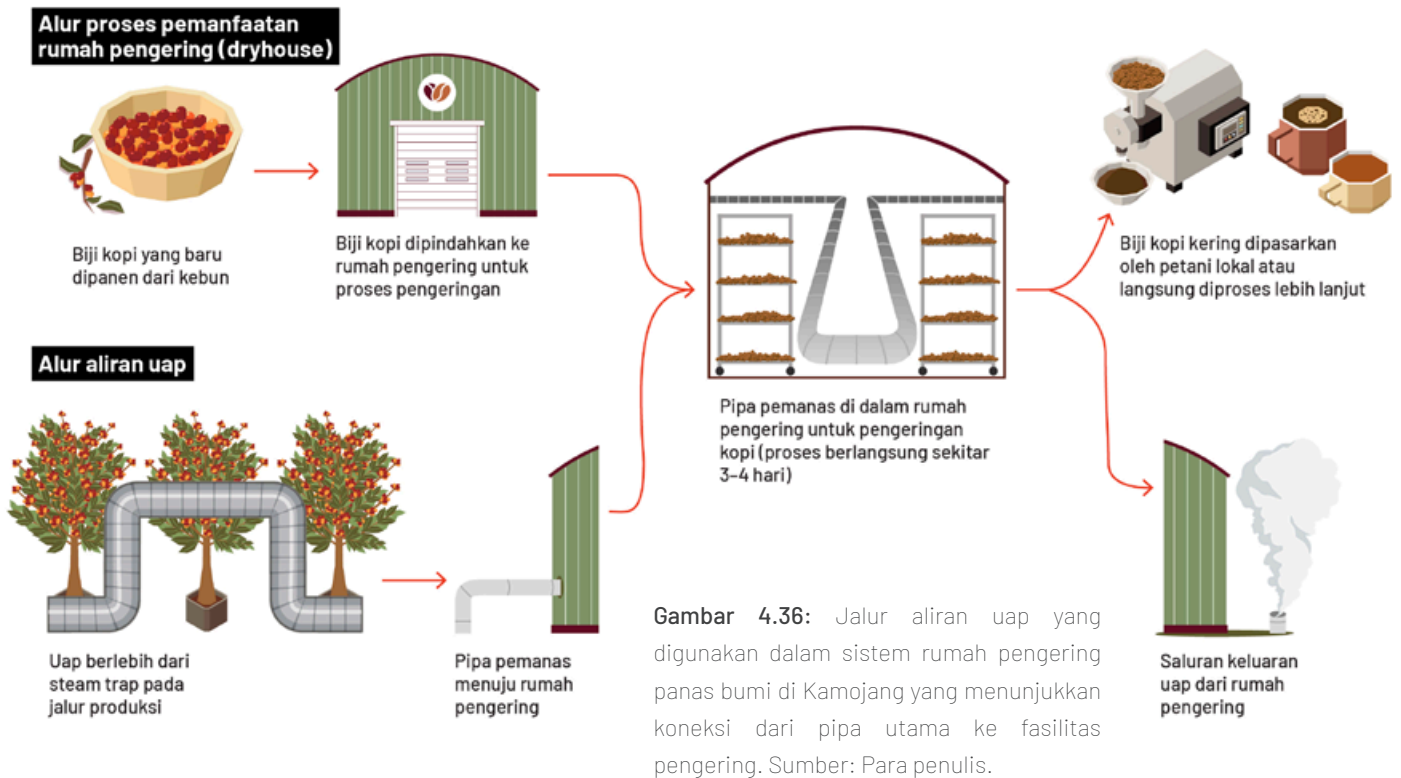


Gambar 4.35: Pemanfaatan uap panas bumi berlebih sebagai panas pemanfaatan langsung di lapangan panas bumi Kamojang. Sumber: Para penulis.

Di Canaya Coffee, para petani menggunakan rumah pengering berbasis panas bumi sebagai pengganti ketergantungan pada cuaca yang tidak menentu. Fasilitas ini berhasil memangkas waktu pengeringan biji kopi dari dua minggu menjadi tiga hingga empat hari. Penghematan waktu ini membantu petani



ALUR PANAS PROSES UNTUK PENGERINGAN KOPI DENGAN PEMANFAATAN LANGSUNG



Penghematan waktu ini membantu petani menjaga kualitas produk memperoleh pendapatan yang lebih andal serta mengurangi ketidakpastian energi.

menjaga kualitas produk memperoleh pendapatan yang lebih andal serta mengurangi ketidakpastian energi (**Gambar 4.36**).

Model ini memberdayakan petani lokal untuk mengelola operasional harian sementara PT Pertamina Geothermal Energy memastikan penyediaan uap panas bumi secara berkelanjutan. Kemitraan ini memberikan manfaat bagi masyarakat dan lingkungan. Seiring meningkatnya permintaan terhadap Canaya Coffee investasi PT Pertamina Geothermal Energy memperkuat komitmen terhadap pembangunan pedesaan berkelanjutan dan solusi energi tangguh berbasis komunitas.⁵⁶

Penerapan Pemanfaatan Langsung untuk Agribisnis ke Depan

Minat untuk memperluas pemanfaatan langsung panas bumi di sektor pertanian terus meningkat melalui berbagai proyek yang diusulkan dan dieksplorasi. Salah satu proyek yang direncanakan oleh PT Geo Dipa Energi di wilayah panas bumi Dieng bertujuan memanfaatkan panas bumi dalam rumah kaca untuk memproduksi bibit agroforestri berkualitas tinggi yang akan didistribusikan ke seluruh wilayah.

Panas bumi akan digunakan untuk sterilisasi media tanam yang terbuat dari cocopeat dan arang sekam. Benih akan disemai pada media tersebut kemudian dipindahkan ke area budidaya. Panas bumi juga akan didistribusikan di dalam rumah kaca untuk mengatur suhu dan kelembapan sehingga menjaga kondisi tumbuh yang optimal. Rencana ini mencakup pengembangan tanaman jangka panjang seperti jeruk alpukat dan kopi serta tanaman jangka pendek seperti Carica dan serai wangi untuk memastikan manfaat ekonomi jangka



pendek dan jangka panjang sekaligus mendukung agroforestri dan mata pencaharian lokal.

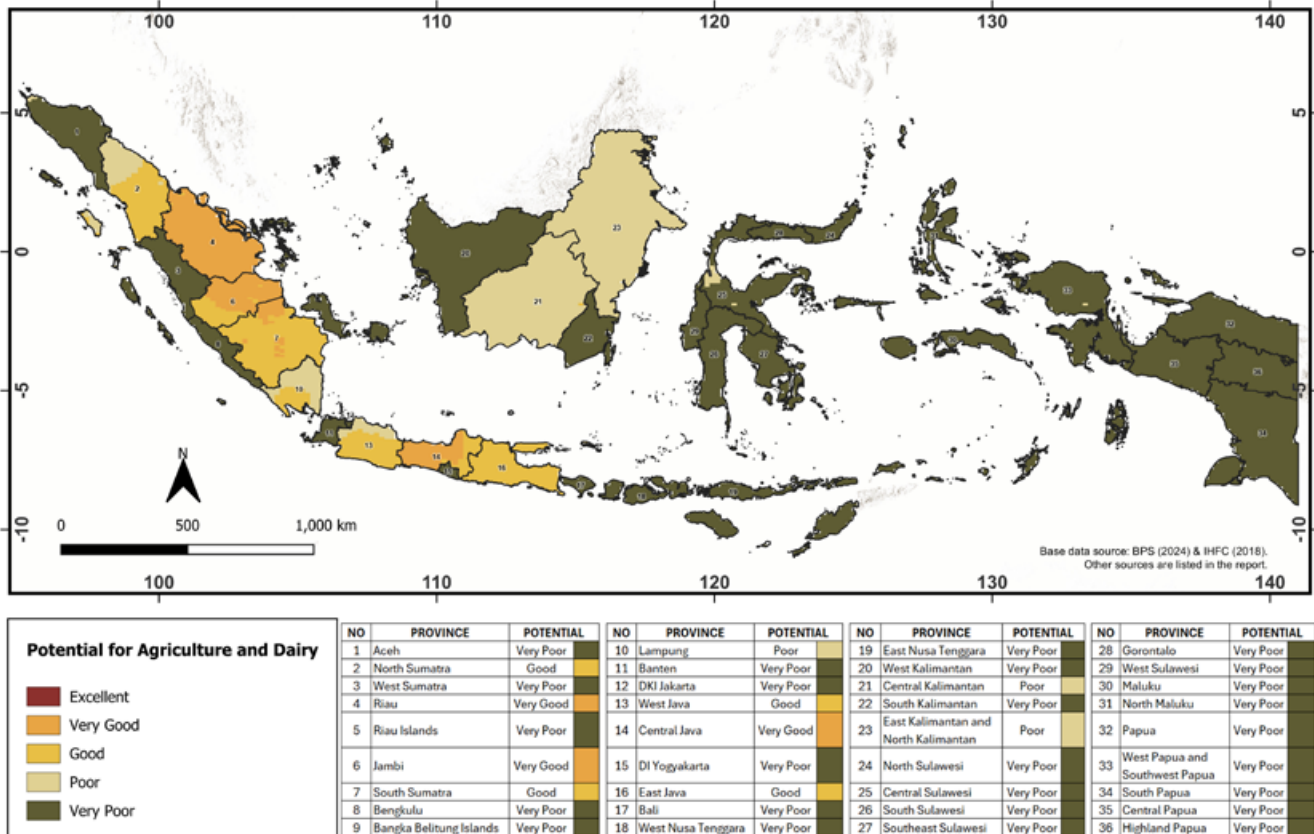
Prioritas Tinggi

Berdasarkan kapasitas produksi provinsi pada 2023 tingkat permintaan energi termal dasar tertinggi untuk pemanasan proses (**Gambar 4.37**), serta lokasi sumber daya panas bumi yang berkualitas aplikasi pertanian seperti pengeringan kayu pengawetan buah dan sayuran pengeringan pangan serta pengolahan tebu dan kentang diidentifikasi sebagai sasaran awal untuk uji coba teknologi pemanfaatan langsung. Penerapan panas bumi untuk proses pemanasan di sektor pertanian dan produk susu memiliki potensi besar untuk mendukung perekonomian lokal dan produksi komoditas nasional.

Enam provinsi berikut dinilai paling sesuai karena kombinasi permintaan yang kuat dan sumber daya panas bumi dangkal (**Gambar 4.28 dan 4.37**):⁵⁷

- **Riau:** pengeringan kayu, pengawetan buah dan sayuran, pengolahan dan pengeringan ikan
- **Jawa Tengah:** pengawetan buah dan sayuran, pengolahan produk susu
- **Jambi:** pengeringan kayu
- **Sumatra Selatan:** pengolahan dan pengeringan ikan
- **Jawa Timur:** pengolahan produk susu
- **Jawa Barat:** pengolahan dan pengeringan ikan

KESESUAIAN PEMANASAN PROSES PERTANIAN DAN PRODUK SUSU DI SELURUH INDONESIA



Gambar 4.37: Peta kesesuaian setiap provinsi di Indonesia untuk pemanasan proses sektor pertanian dan produk susu menggunakan pemanfaatan langsung panas bumi berdasarkan permintaan energi termal dasar 2023 serta kedalaman yang dibutuhkan untuk mencapai suhu bawah permukaan 50°C. Sumber: analisis penulis dari data BPS-Statistics Indonesia pada seluruh provinsi; Copernicus Climate Change Service (C3S). (2025). *Thermal comfort indices derived from ERA5 reanalysis* [Data set]. Climate Data Store (CDS); International Heat Flow Commission (IHFC). (n.d.). *The global heat flow database*.



Langkah berikutnya yang diperlukan dan logis adalah melakukan studi kelayakan rinci untuk proses komoditas tersebut di masing-masing provinsi.

KESIMPULAN: PRIORITAS UTAMA DAN PETA JALAN IMPLEMENTASI

Sebagaimana ditegaskan dalam bab ini, terdapat peluang yang sangat besar bagi pemanfaatan langsung panas bumi untuk memenuhi kebutuhan energi termal

Indonesia yang terus meningkat. Pendekatan yang jelas dan bertahap dapat membuka potensi tersebut dengan memfokuskan langkah awal pada sektor dan lokasi yang paling menjanjikan.

Peluang Utama

- Pendinginan residensial dan komersial merupakan prioritas tertinggi. Permintaan pendinginan di sektor residensial dan komersial diproyeksikan meningkat

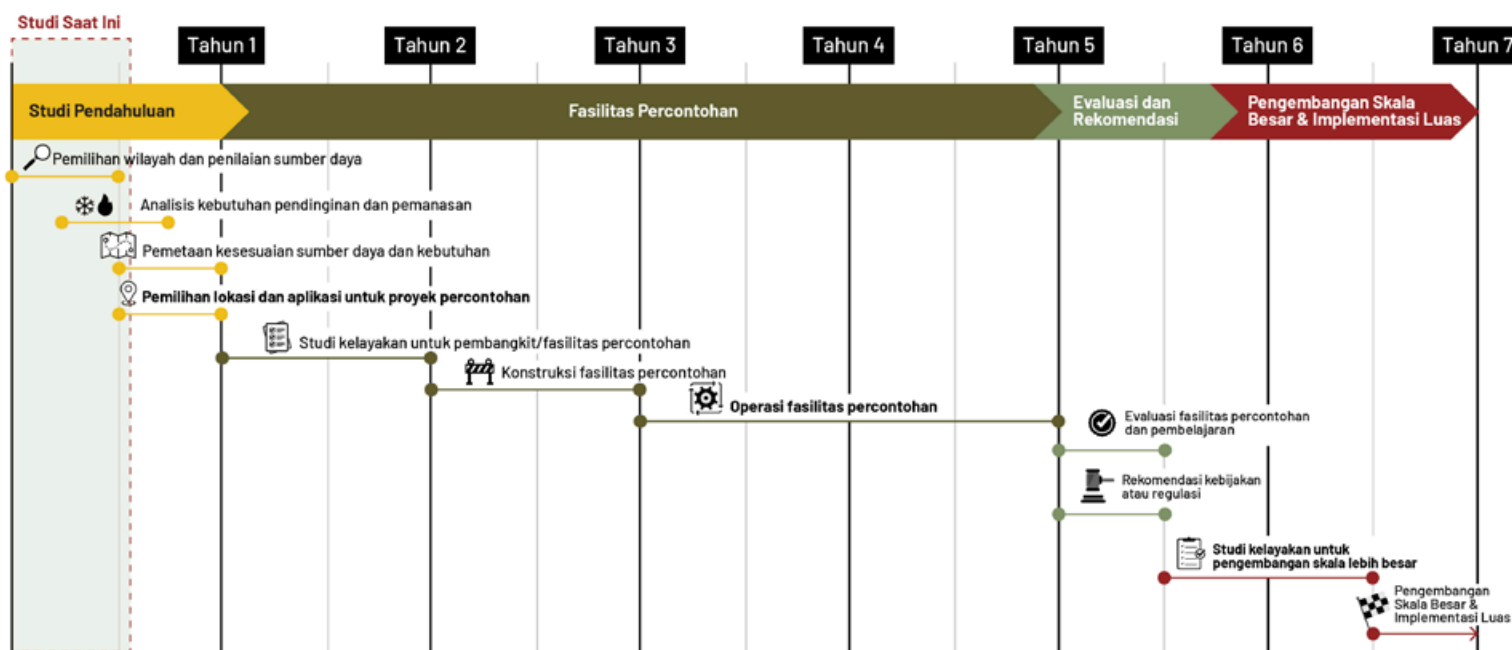
PELUANG TERBAIK PEMANASAN PROSES DI SEKTOR PERTANIAN



Gambar 4.38: Peluang berdampak tinggi untuk penerapan pemanfaatan langsung di sektor agroindustri dan produk susu di enam provinsi kaya panas bumi. Sumber: BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Riau Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Jawa Tengah Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Sumatera Selatan Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [Jambi Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [East Java Province in figures 2024](#); BPS-Statistics Indonesia. (2024). [West Java Province in figures 2024](#).



PETA JALAN IMPLEMENTASI BERTAHAP



Gambar 4.39: Peta jalan implementasi pemanfaatan langsung panas bumi yang diusulkan untuk Indonesia. Sumber: Para penulis.

hingga empat kali lipat pada 2050 dan dapat dipenuhi dengan teknologi pompa kalor residensial dan industri yang telah matang. Wilayah pengembangan yang paling potensial berada di Jawa Barat, Jawa Timur, dan Jawa Tengah.

- Agroindustri menjadi prioritas kedua yang kuat. Sektor pertanian dan peternakan memiliki kebutuhan pemanasan hingga 150°C yang berada dalam jangkauan teknologi pompa kalor industri saat ini. Provinsi yang paling menjanjikan untuk instalasi meliputi Riau, Jawa Tengah, Jambi, Sumatra Selatan, dan Jawa Timur.
- Tersedia jalur komersialisasi yang telah terbukti di sektor pertanian. Proyek tanggung jawab sosial perusahaan yang berhasil seperti pengolahan kopi di Kamojang dan pengolahan gula aren di Lahendong telah menunjukkan potensi untuk berkembang menjadi usaha komersial penuh. Model ini merupakan pendekatan yang layak untuk memulai proyek panas bumi baru di sektor pertanian.

Peta Jalan Implementasi Bertahap

Untuk menerjemahkan peluang tersebut menjadi kenyataan tujuan utamanya adalah memulai dengan proyek yang terarah membuktikan kelayakannya kemudian memperluas penerapannya secara nasional. Seluruh proses ini diperkirakan memerlukan waktu sekitar tujuh tahun (lihat **Gambar 4.39**).

Tahap 1 Proyek Percontohan

Pembangunan fasilitas percontohan di lokasi prioritas tertinggi bertujuan menguji kelayakan teknis dan ekonomi dalam kondisi nyata. Tahap ini mencakup studi lokasi secara rinci pembangunan fasilitas serta masa operasi selama satu hingga tiga tahun untuk mengumpulkan data penting terkait kinerja biaya dan keandalan. Fokus utama perlu diarahkan pada pembuktian penggunaan sistem pompa kalor untuk pendinginan kawasan (lihat **Gambar 4.40** untuk contoh penyaringan pendahuluan untuk proyek-proyek percontohan) serta eksplorasi pemanfaatan panas sisa dari pembangkit listrik panas bumi yang telah beroperasi melalui sistem berjenjang.



Tahap 2 Evaluasi dan Penguatan Kebijakan

Setelah tahap percontohan selesai hasilnya perlu dievaluasi secara menyeluruh agar pimpinan pemerintah perusahaan utilitas operator panas bumi serta masyarakat dan pemangku kepentingan lokal memahami manfaat tantangan serta pelajaran yang diperoleh. Temuan ini kemudian dapat digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi kebijakan dan regulasi yang memungkinkan adopsi yang lebih luas serta menyederhanakan pengembangan proyek di masa depan.

Tahap 3 Perluasan Skala Nasional

Dengan selesainya proyek percontohan yang berhasil dan tersedianya kebijakan pendukung tahap akhir adalah penerapan secara luas. Pengetahuan yang diperoleh dari proyek percontohan perlu dimanfaatkan untuk melakukan studi kelayakan di lokasi dan sektor baru sehingga mendorong perluasan pemanfaatan langsung panas bumi di tingkat nasional.

PERBANDINGAN TIGA LOKASI PENDINGINAN PANAS BUMI PRIORITAS TINGGI

| Parameter | Satuan | Jakarta, DKI Jakarta | Bekasi, West Java | Yogyakarta, DI Yogyakarta |
|--------------------------|------------------------------|---|--|--|
| Penduduk* | Jumlah orang | 10,672,100 | 3,172,833 | 4,073,907 |
| Luas* | km ² | 660.98 | 213.12 | 3,185.80 |
| Kepadatan penduduk* | Jumlah orang/km ² | 16,145.87 | 14,887.54 | 1,278.77 |
| Suhu udara rata-rata* | °C | 27.2 | 26.5 | 26.2 |
| Kelembapan rata-rata* | % | 74.4 | 80.2 | 80 |
| Penggunaan Lahan* | | | | |
| • Kawasan industri | km ² | 6.8 | 69 | 2.5 |
| • Hotel | Unit | 549 | 19 | 1,924 |
| • Gedung Bertingkat | Unit | 149 | 24 | 127 |
| Kebutuhan pendinginan | | Dominan untuk kebutuhan gedung bertingkat | Dominan untuk kebutuhan kawasan industri | Dominan untuk kebutuhan fasilitas perhotelan |

Gambar 4.40: Contoh hasil penyaringan awal yang merangkum aspek demografi suhu rata-rata kelembapan udara rata-rata serta kebutuhan pendinginan pada tiga lokasi prioritas tinggi untuk proyek percontohan pendinginan panas bumi dengan berbagai jenis pendekatan. Tanda bintang menunjukkan bahwa data demografi suhu rata-rata dan tingkat kelembapan merupakan data tahunan tahun 2023 yang bersumber dari laman resmi Badan Pusat Statistik masing-masing wilayah. Sumber: BPS. (2024). [DKI Jakarta Province in figures 2024](#); BPS. (2024). [Bekasi City in figures 2024](#); BPS. (2024). [Yogyakarta City in figures 2024](#).



INFORMASI TAMBAHAN SUMBER DATA

Figures 4.12, 4.14, and 4.15 sources: BPS-Statistics Indonesia. (2025). [Estates production by crops, Indonesia \(thousand tons\), 2024](#). Hongyou, L., de la Rue du Can, S., Letschert, V. E., Wong, H. LC, Zhou, N., Wijaya, F., Hidayati, F., & Husodo, D. C. (2024). [Industry decarbonization roadmaps for Indonesia: Opportunities and challenges to net-zero emissions](#). Energy Technologies Area, Berkeley Lab; PT Emdeki Utama Tbk. (2023). [Annual report and sustainability report 2023](#); Rehfeldt, M., Fleiter, T., & Toro, F. (2018). [A bottom-up estimation of the heating and cooling demand in European industry](#). *Energy Efficiency*, 11, 1057-1082.

Figure 4.22

Asahimas Flat Glass. (2024). *Annual report 2023*. PT Asahimas Flat Glass Tbk.

BN Nasional. (2024, July 18). [Throughout 2023, Inalum will produce 215,000 tons of aluminum](#).

BPS. (2021). *2020 national census*. Government of Indonesia.

BPS. (2023). [Indonesian population projection 2020-2050: Results of the 2020 population census](#). Government of Indonesia.

BPS. (2024). *Indonesia coffee statistics*. Government of Indonesia.

BPS. (2024). *Indonesia tea statistics*. Government of Indonesia.

BPS. (2024). *Statistics of forestry production 2023*. Government of Indonesia.

BPS. (2025). *Production of mineral mining commodities, 2021-2023*. Government of Indonesia.

BPS. (2025). *Annual production of large estates by crop type (thousand tons), 2022-2023*. Government of Indonesia.

BPS. (2025). *Statistical yearbook of Indonesia*. Government of Indonesia.

BPS. (2025). *Production volume of mining materials (cubic meters), 2021-2023*. Government of Indonesia.

Chandra Asri. (2024). *Chandra Asri annual report 2023: Transformation through partnerships for growth*. PT Chandra Asri Pacific Tbk.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). [Forestry production and trade](#). FAOSTAT.

Foreign Agricultural Service. (2024). *Dairy and products annual*. United States Department of Agriculture.

House of Representatives of the Republic of Indonesia. (2016). *Academic manuscript of the Tobacco Bill*. Government of Indonesia.

House of Representatives of the Republic of Indonesia. (2024). *Academic manuscript of the Textile Bill*. Government of Indonesia.

HUMI. (2024). [Annual public exposé: Fiscal year 2024](#). PT Humpuss Maritime International, Inc. (HUMI).

ICN Bureau. (2023, May 25). [Nippon Shokubai inaugurates new acrylic acid plant in Indonesia](#). Indian Chemical News.

IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP). (2023).

[Greensteam high temperature heat pump: Futraheat](#). International Energy Agency (IEA).

International Energy Agency (IEA). (2022). *The future of heat pumps*. IEA.

Lu, H., de la Rue du Can, S., Letschert, V. E., Wong, H. LC, Zhou, N., Wijaya, F., Hidayati, F., & Husodo, D. C. (2024). [Industry decarbonization roadmaps for Indonesia: Opportunities and challenges to net-zero emissions](#). Lawrence Berkeley National Laboratory.

MDQ Karbit. (2024). *Public exposé of PT Emdeki Utama Tbk Gresik, December 9, 2024*. PT Emdeki Utama Tbk.

Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). *Indonesia's National Cooling Action Plan (I-NCAP)*. Government of Indonesia.

Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR). (2024). *Oil and gas statistics, first semester 2024*. Government of Indonesia.



National Minerals Information Center. (2024). [Mineral commodity summaries 2024](#). United States Geological Survey.

Rehfeldt, M., Fleiter, T., & Toro, F. (2017). [A bottom-up estimation of the heating and cooling demand in European industry](#). *Energy Efficiency*, 11, 1057–1082.

The Global Economy.com. (2025). [Indonesia: Zinc production](#).

LAMPIRAN 1

Metodologi Rinci untuk Pengumpulan dan Analisis Data Permintaan Energi Termal

Laporan ini menggunakan pendekatan berbasis proses untuk menganalisis perbedaan kebutuhan energi termal per satuan produk yang dikenal sebagai intensitas energi pemanasan proses ketika komoditas yang sama diproduksi dengan teknologi yang berbeda. Sementara itu, aplikasi termal pada sektor penggunaan akhir pendinginan penyimpanan dingin serta heating ventilation and air conditioning atau HVAC dibagi lebih lanjut berdasarkan jenis peralatan. Secara keseluruhan, terdapat 15 jenis peralatan yang dianalisis pada sektor sektor penggunaan akhir tersebut.⁵⁸

Permintaan energi termal nasional dikuantifikasi dalam satuan terajoule berdasarkan konsep dasar perkalian antara intensitas energi termal untuk pemanasan atau pendinginan dengan jumlah produk atau peralatan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 1. Selain itu penghitungan permintaan energi termal Indonesia memerlukan sejumlah data dan asumsi yang harus dikumpulkan dan dianalisis sebagaimana dirangkum dalam Indonesia National Cooling Action Plan. Persamaan 2 menunjukkan perhitungan permintaan pendinginan nasional tahunan untuk sektor pendinginan penyimpanan dingin dan HVAC.

Persamaan 1

Permintaan pemanasan proses tahunan (TJ)
 $= \text{jumlah produksi tahunan (ton)} \times \text{unit heat input (TJ/ton)}$

Persamaan 2

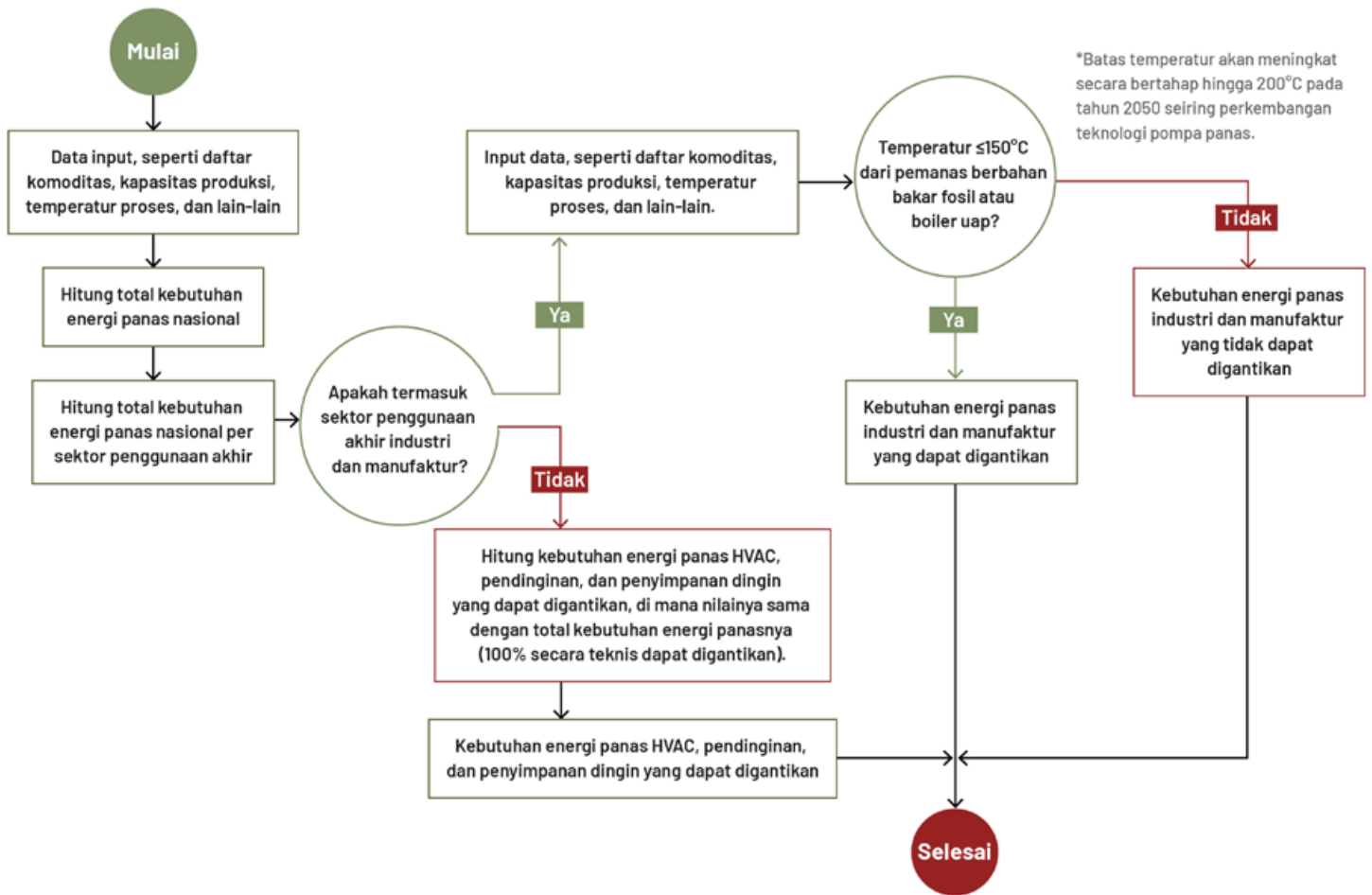
Permintaan pendinginan tahunan untuk pendinginan penyimpanan dingin dan HVAC (TJ)
 $= \text{apasitas unit (TW}_{th} \text{ per unit)} \times \text{jumlah peralatan tahunan (unit)}$
 $\times \text{faktor pemanfaatan (\%)} \times \text{waktu operasi tahunan (hours)} \times 3600$

Studi ini memperkirakan porsi permintaan energi termal Indonesia yang secara teknis dapat digantikan oleh pemanfaatan langsung panas bumi yaitu panas yang saat ini dipasok oleh pemanas atau boiler berbahan bakar fosil pada rentang suhu yang dapat dicapai oleh teknologi panas bumi komersial (**Gambar 4.42**). Metodologi yang digunakan untuk penilaian ini diuraikan **Gambar 4.41**. Pompa kalor komersial yang tersedia saat ini mampu menghasilkan suhu hingga 150°C, engan proyeksi mencapai 200°C pada 2050,⁵⁹ sehingga menunjukkan bahwa proses industri bersuhu tinggi pun berpotensi didekarbonisasi melalui panas bumi di masa depan. Namun implementasi aktual tetap bergantung pada faktor kelayakan di luar suhu seperti biaya akses lokasi dan integrasi sistem energi.

Meskipun uap panas bumi, fluida reinjeksi atau sumur tidak aktif dapat menyediakan panas hingga 200°C,⁶⁰ sumber sumber tersebut bersifat spesifik lokasi dan terbatas pada wilayah yang memiliki lapangan panas bumi aktif. Oleh karena itu, analisis ini berfokus pada aplikasi pompa kalor yang memperluas potensi pemanfaatan langsung panas bumi melampaui sistem konvensional. Pompa kalor dapat beroperasi dengan suhu bawah permukaan serendah



CARA MENGHITUNG KEBUTUHAN ENERGI PANAS YANG SECARA TEKNIS DAPAT DIGANTIKAN OLEH PANAS BUMI



Gambar 4.41: Alur kerja sederhana yang digunakan untuk menghitung permintaan energi termal yang secara teknis dapat digantikan oleh pemanasan langsung panas bumi. Sumber: International Energy Agency (IEA). (2022). *The future of heat pumps*.



TEKNOLOGI BERBASIS PANAS BUMI UNTUK MENGGANTIKAN KEBUTUHAN ENERGI PANAS

| Sektor Penggunaan Akhir | Temperatur Keluaran yang Dibutuhkan | Teknologi Pengganti Kebutuhan Energi Panas | Kapasitas Temperatur Keluaran untuk Teknologi Komersial | Sumber/Pelepas Panas Minimum yang Dibutuhkan (Temperatur) | Sumber |
|--|-------------------------------------|---|--|---|--|
| Proses pemanasan industri dan manufaktur | 15°C hingga >1.000°C | Pompa panas industri yang digerakkan oleh panas bumi sistem sirkuit tertutup (closed-loop geothermal) | Saat ini: hingga 100°C 2030: hingga 150°C 2040: hingga 200°C | Sumber panas: 25°C untuk keluaran >100°C 70°C untuk keluaran >100°C-150°C 150°C untuk keluaran >200°C | IEA, 2022 |
| Pendinginan dan penyimpanan dingin | Dari 15°C hingga tingkat pembekuan | Pendingin absorpsi berbasis campuran amonia/air yang digerakkan oleh panas bumi sistem sirkuit tertutup | -60°C hingga 25°C | Sumber panas: 80°C | Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2024 |
| Penggunaan perumahan dan komersial HVAC | 15°C-25°C | Pompa panas yang digerakkan oleh panas bumi sistem sirkuit tertutup (ground source heat pump) | 15°C hingga 25°C | Pelepas panas (heat sink): 25°C | Paul & Kumar, 2025 |

Gambar 4.42: Asumsi teknologi berbasis panas bumi yang sesuai untuk menggantikan permintaan energi termal melalui pemanfaatan langsung panas bumi. Sumber: International Energy Agency (IEA). (2022). *The future of heat pumps*. IEA; Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (2024). *CHP technologies: Absorption chillers* [Combined Heat and Power Technology Fact Sheet series]. U.S. Department of Energy; Paul, S. D., & Kumar, K. R. (2025). *Advancements in adsorption bed for cooling applications: A comprehensive review of configurations and operating parameters*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 211, 115301.

20°C-25°C untuk menyediakan panas proses hingga 75°C⁶¹ atau mendukung sistem HVAC residensial dan komersial dengan suhu pendinginan antara 15°C-25°C.⁶² Kebutuhan panas yang lebih tinggi (seperti 150°C) dapat memerlukan suhu bawah permukaan sekitar 70°C, yang dapat dicapai pada kedalaman sekitar 1.5 kilometers di wilayah dengan gradien panas bumi yang tinggi.⁶³ Ini merupakan karakteristik umum di banyak wilayah Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa pompa kalor menawarkan jalur yang layak dan dapat ditingkatkan skalanya untuk memperluas pemanfaatan langsung panas bumi di seluruh kepulauan Indonesia.

Untuk sektor pendinginan penyimpanan dingin dan HVAC, permintaan energi termal yang dapat digantikan diasumsikan setara dengan seluruh permintaan pendinginan. Asumsi ini didasarkan pada kemampuan teknologi pendinginan komersial yang tersedia untuk memenuhi seluruh rentang suhu pendinginan seperti pompa kalor sumber tanah untuk keluaran pendingin

udara pada 15°C dan 25°C chiller absorpsi berbasis campuran amonia air untuk keluaran pendinginan dari 10°C hingga mencapai titik beku.⁶⁴ Formulasi untuk menghitung permintaan energi termal yang dapat digantikan disajikan pada Persamaan 3 dan Persamaan 4.

Persamaan 3

Permintaan pemanasan proses yang dapat digantikan (T_J) = masukan panas dari pembakaran bahan bakar atau uap (T_J) × proporsi masukan panas pada suhu proses yang dapat dicapai oleh pompa kalor industri komersial (%)

Persamaan 4

Permintaan pendinginan, penyimpanan dingin, dan HVAC yang dapat digantikan (T_J) = permintaan pendinginan penyimpanan dingin dan HVAC (T_J)



DATA DAN ASUMSI PEMANASAN PROSES INDUSTRI DAN MANUFAKTUR

Parameter Dasar Pemanasan Proses Tahun 2023

| Industri Sasaran | Proses | Produksi Industri | | Kebutuhan Panas Proses berdasarkan Jenis Pemanas | | | | | | Porsi Kebutuhan Panas Proses berdasarkan Rentang Suhu | | | | | | | |
|-------------------|---|-------------------|-----------------------------|--|---------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|---|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------|--|
| | | Jumlah (ton) | Sumber | Bahan bakar langsung (TJ/ton) | Uapa (TJ/ton) | Listrik bruto (TJ/ton) | Porsi listrik untuk pemanasan proses | Listrik bersih (TJ/ton) | Sumber | >15°C - 75°C | >75°C - 100°C | >100°C - 150°C | >150°C - 200°C | >200°C - 500°C | >500 - 1000°C | >1000°C | Sumber |
| Mineral Non Logam | Manufaktur semen kalsinasi klinker kering | 62,000,000 | Lu et al., 2024 | 3.6 | - | 0.14 | 0% | 0.00 | Lu et al., 2024; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | 10% | 60% | 30% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Mineral Non Logam | Manufaktur kapur | 17,822,329 | BPS, 2025c | 3.7 | - | 0.14 | 0% | 0.00 | Korczak et al., 2022; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | 40% | 60% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Mineral Non Logam | Manufaktur kaca datar | 1,261,463 | Asahimas Flat Glass, 2024 | 19.2 | - | 3.32 | 0% | 0.00 | Korczak et al., 2022; Rehfeldt et al., 2017 | - | 2% | 11% | 11% | 43% | 12% | 22% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Industri Kimia | Manufaktur amonia gas sintesis | 5,800,000 | USGS, 2024; Lu et al., 2024 | 37.0 | - | 0.48 | 0% | 0.00 | Lu et al., 2024; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | 67% | 33% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Industri Kimia | Manufaktur etilena | 743,000 | Chandra Asri, 2024 | 35.9 | - | 0.00 | 0% | 0.00 | Thiel & Stark, 2021; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | 100% | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Industri Kimia | Manufaktur metanol gas sintesis | 660,000 | HUMI, 2024 | 7.5 | 7.5 | 0.49 | 0% | 0.00 | Thiel & Stark, 2021; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | 22% | 78% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Industri Kimia | Manufaktur polietilena | 650,000 | Chandra Asri, 2024 | - | 0.6 | 2.04 | 0% | 0.00 | Thiel & Stark, 2021; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | 50% | 50% | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Industri Kimia | Manufaktur polipropilena | 517,000 | Chandra Asri, 2024 | - | 0.8 | 1.15 | 0% | 0.00 | Thiel & Stark, 2021; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | 50% | 50% | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Industri Kimia | Manufaktur Akrilik | 110,231 | ICN, 2023 | - | 0.0418 | - | - | - | Turton, 2018 | - | - | - | 50% | 50% | - | - | Turton, 2018 |
| Industri Kimia | Manufaktur Kalsium Karbida | 20,647 | MDQ Karbit, 2024 | 6.1 | - | 8.32 | 95% | 7.90 | Thiel & Stark, 2021; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | - | 100% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |



| Industri Sasaran | Proses | Produksi Industri | | Kebutuhan Panas Proses berdasarkan Jenis Pemanas | | | | | | Porsi Kebutuhan Panas Proses berdasarkan Rentang Suhu | | | | | | | |
|----------------------------------|---|-------------------|--|--|---------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|---|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------|--|
| | | Jumlah (ton) | Sumber | Bahan bakar langsung (TJ/ton) | Uapa (TJ/ton) | Listrik bruto (TJ/ton) | Porsi listrik untuk pemanasan proses | Listrik bersih (TJ/ton) | Sumber | >15°C-75°C | >75°C-100°C | >100°C-150°C | >150°C-200°C | >200°C-500°C | >500-1000°C | >1000°C | Sumber |
| Pulp dan Kertas | Pembuatan kertas mekanik | 1,765,755 | FAO, 2025; Lu et al., 2024 | - | 1.2 | 7.92 | 1% | 0.08 | Lu et al., 2024; Rehfeldt et al., 2017 | 50% | 50% | - | - | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Pulp dan Kertas | Pembuatan kertas kimia | 15,891,794 | FAO, 2025; Lu et al., 2024 | - | 12.7 | 2.30 | 1% | 0.02 | Lu et al., 2024; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | 50% | 50% | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Logam Dasar | Besi dan baja tanur tinggi | 6,460,000 | World Steel Association, 2025; Lu et al., 2024 | 20.0 | - | 0.60 | 0% | 0.00 | Lu et al., 2024; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | 3% | 20% | 77% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Logam Dasar | Besi dan baja tanur listrik | 10,540,000 | World Steel Association, 2025; Lu et al., 2024 | - | - | 2.28 | 95% | 2.17 | Lu et al., 2024; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | 10% | 90% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Logam Dasar | Manufaktur tembaga | 3,999,565 | BPS, 2025b | 8.0 | - | 2.79 | 20% | 0.56 | Dutta et al., 2022; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | - | 100% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Logam Dasar | Manufaktur Aluminium | 215,000 | BN Nasional, 2024 | 5.2 | - | 53.64 | 5% | 2.68 | Dutta et al., 2022; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | 100% | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Logam Dasar | Manufaktur Seng | 18 | The Global Economy.com, 2025 | 1.0 | - | 1.59 | 10% | 0.16 | Dutta et al., 2022; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | - | 100% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Tekstil | Pencelupan, pence- takan, dan penyem- purnaan tekstil | 1,837,760 | DPRRI, 2024 | - | 39.4 | 4.38 | 1% | 0.04 | Farhana et al., 2022; Lu et al., 2024 | 60% | 40% | - | - | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Produk minyak bumi dan batu bara | Pengilan- gan minyak | 34,935,150 | MEMR, 2024b | 0.2 | - | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | 100% | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |



| Industri Sasaran | Proses | Produksi Industri | | Kebutuhan Panas Proses berdasarkan Jenis Pemanas | | | | | | Porsi Kebutuhan Panas Proses berdasarkan Rentang Suhu | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------------------|--|---------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|---|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------|--|
| | | Jumlah (ton) | Sumber | Bahan bakar langsung a (TJ/ton) | Uapa (TJ/ton) | Listrik bruto a (TJ/ton) | Porsi listrik untuk pemanasan proses | Listrik bersih b (TJ/ton) | Sumber | >15°C-75°C | >75°C-100°C | >100°C-150°C | >150°C-200°C | >200°C-500°C | >500-1000°C | >1000°C | Sumber |
| Produk minyak bumi dan batu bara | Manufaktur karbon hitam | 130,000 | Ardy-ansa, 2022 | 64.8 | - | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | - | - | - | - | 100% | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Pertanian dan produk susu | Pengolahan susu | 2,743,200 | Foreign Agricultural Service, 2024 | - | 1.6 | 0.53 | 5% | 0.03 | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 | 45% | 45% | 7% | 3% | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Pertanian dan produk susu | Pengolahan tebu | 869,030 | BPS, 2025a | - | 4.5 | - | - | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 | 5% | 5% | 30% | 30% | 0% | 30% | - | Su et al., 2021; Rehfeldt et al., 2017 |
| Pertanian dan produk susu | Pengolahan kopi | 758,730 | BPS, 2024a | - | 0.0039 | 0.0004 | 100% | 0.0004 | | 90% | 10% | - | - | - | - | - | (BPS, 2024a) |
| Pertanian dan produk susu | Pengolahan tembakau | 272,175 | BPS, 2025a; DPR RI, 2016 | - | 2.8 | 3.65 | 5% | 0.18 | Wisnilak, 2024; Rehfeldt et al., 2017 | - | - | 40% | 40% | 20% | - | - | Cozzani, et al., 2020 |
| Pertanian dan produk susu | Pengolahan teh | 116,510 | BPS, 2024b | - | 0.00126 | 0.0036 | 50% | 0.0018 | | 90% | 10% | - | - | - | - | - | BPS, 2024b |
| Pertanian dan produk susu | Pengolahan kayu | 49,406,100 | BPS, 2024c | - | 0.00187 | - | - | - | Meng et al., 2019; Carey, 2018 | - | 10% | 80% | 10% | - | - | - | Meng et al., 2019; Carey, 2018 |
| Pertanian dan produk susu | Pengolahan gula aren dan gula merah | 156,124 | BPS, 2025a | - | 0.00015 | - | - | - | Kurniawan et al., 2024 | 90% | 10% | - | - | - | - | - | Kurniawan et al., 2024 |

Catatan:
a. Diasumsikan bahwa 100% energi digunakan untuk pemanasan proses dan tidak termasuk panas yang dihasilkan dari fasilitas kogenerasi.
b. Mencakup kebutuhan listrik untuk keperluan selain pemanasan proses, seperti peralatan pendukung proses dan bangunan.
c. Mencakup kebutuhan listrik yang digunakan khusus untuk pemanasan proses saja.
Catatan: - = 0%, berarti komoditas tersebut memerlukan 0% panas proses pada rentang suhu tersebut.

Gambar 4.43: Data dan asumsi pemanasan proses industri dan manufaktur.



PROYESKI PARAMETER PEMANASAN PROSES TAHUN 2050

| Industri sasaran | Proses | Pertumbuhan linier produksi tahunan | Penurunan linier input panas tahunan (peningkatan efisiensi) | Sumber | Keterangan |
|-------------------|--|-------------------------------------|--|--|--|
| Mineral non logam | Manufaktur semen melalui kalsinasi klinker kering | 1.8% | 0.7% | Lu et al., 2024 | - |
| Mineral non logam | Manufaktur kapur | 2.6% | 2.1% | BPS, 2025c; IEA, n.d. | - |
| Mineral non logam | Manufaktur kaca lembaran | 5.5% | 2.1% | Asahimas Flat Glass, 2024; IEA, n.d. | - |
| Kimia | Manufaktur amonia untuk gas sintesis | 0.6% | 0.8% | USGS, 2024; Lu et al., 2024 | - |
| Kimia | Manufaktur etilena | -1.7% | 1.7% | Chandra Asri, 2024; CEIC, n.d. | Produksi periode 2020 sampai 2023 menunjukkan tren menurun. |
| Kimia | Manufaktur metanol untuk gas sintesis | 6.4% | 1.7% | HUMI, 2024; CEIC, n.d. | |
| Kimia | Manufaktur polietilena | -1.2% | 1.7% | Chandra Asri, 2024; CEIC, n.d. | Produksi periode 2020 sampai 2023 menunjukkan tren menurun. |
| Kimia | Manufaktur polipropilena | -0.8% | 1.7% | Chandra Asri, 2024; CEIC, n.d. | Produksi periode 2020 sampai 2023 menunjukkan tren menurun |
| Kimia | Manufaktur akrilik | 2.9% | 1.7% | ICN, 2023; CEIC, n.d. | |
| Kimia | Manufaktur kalsium karbida | 1.2% | 1.7% | MDQ Karbit, 2024; CEIC, n.d. | |
| Pulp dan kertas | Pembuatan kertas mekanis | 24.8% | 1.8% | FAO, 2025; Lu et al., 2024 | |
| Pulp dan kertas | Pembuatan kertas kimia | 1.4% | 0.9% | FAO, 2025; Lu et al., 2024 | Pangsa kertas kimia diperkirakan menurun dibandingkan kertas mekanis |
| Logam dasar | Pembuatan besi dan baja—Tanur tinggi (blast furnace) | -1.75% | 0.5% | World Steel Association, 2025; Lu et al., 2024 | Diperkirakan bahwa total pangsa baja yang diproduksi menggunakan tanur tiup (blast furnace) akan menurun di masa depan, berbeda dengan baja yang diproduksi menggunakan tanur listrik (electric furnace) |
| Logam dasar | Pembuatan besi dan baja—Tanur busur listrik (electric arc furnace) | 6.2% | 1.0% | World Steel Association, 2025; Lu et al., 2024 | |



| Industri sasaran | Proses | Pertumbuhan linier produksi tahunan | Penurunan linier input panas tahunan (peningkatan efisiensi) | Sumber | Keterangan |
|----------------------------------|---|-------------------------------------|--|---|--|
| Logam dasar | Manufaktur Tembaga | 5.3% | 2.1% | BPS, 2025b; IEA, n.d. | |
| Logam dasar | Manufaktur Aluminium | 3.0% | 2.1% | BN Nasional, 2024; IEA, n.d. | |
| Logam dasar | Manufaktur Seng | -1.4% | 2.1% | The Global Economy.com, 2025; IEA, n.d. | Produksi periode 2020 sampai 2023 menunjukkan tren menurun |
| Tekstil | Pencelupan, pencetakan, dan penyempurnaan tekstil | 6.7% | 1.6% | DPR RI, 2024; IEA, n.d. | |
| Produk minyak bumi dan batu bara | Pengilangan minyak | 1.2% | 2.1% | MEMR, 2024b; IEA, n.d. | |
| Produk minyak bumi dan batu bara | Manufaktur karbon hitam | 6.3% | 2.1% | Ardyansa, 2022; IEA, n.d. | |
| Pertanian dan susu | Pengolahan susu | 9.7% | 2.1% | Foreign Agricultural Service, 2024; IEA, n.d. | |
| Pertanian dan susu | Pengolahan tebu | 9.4% | 2.1% | BPS, 2025a; IEA, n.d. | |
| Pertanian dan susu | Pengolahan kopi | 1.0% | 2.1% | BPS, 2024a; IEA, n.d. | |
| Pertanian dan susu | Pengolahan tembakau | 2.8% | 2.1% | BPS, 2025a; DPR RI, 2016 | |
| Pertanian dan susu | Pengolahan teh | 0.4% | 2.1% | BPS, 2024b; IEA, n.d. | |
| Pertanian dan susu | Pengolahan kayu | 18.3% | 2.1% | BPS, 2024c; IEA, n.d. | |
| Pertanian dan susu | Pengolahan gula aren dan gula merah | 3.6% | 2.1% | BPS, 2025a; IEA, n.d. | |

Gambar 4.44: Proyeksi parameter pemanasan proses tahun 2050



SUMBER VERSI LENGKAP

- Ardyansa, N. J. (2022). *Preliminary design of a carbon black plant from decant oil and air using the oil furnace process* [Bachelor's thesis]. National Development University "Veteran" of East Java. <https://repository.upnjatim.ac.id/9221/>
- Asahimas Flat Glass. (2024). *Annual report 2023*. PT Asahimas Flat Glass Tbk.
- BN Nasional. (2024, July 18). *Through 2023, Inalum will produce 215,000 tons of aluminium*. <https://bnnasional.com/sepanjang-tahun-2023-inalum-produksi-215-ribu-ton-aluminium/#::~:~:text=Sepanjang%20Tahun%202023%2C%20Inalum%20Produksi%20215%20Ribu%20Ton%20Aluminium,-admin%2018%2>
- BPS. (2024a). *Indonesia coffee statistics*. Statistics Indonesia (BPS). <https://www.bps.go.id/en/publication/2024/11/29/d748d9bf594118fe112fc51e/indonesian-coffee-statistics-2023.html>
- BPS. (2024b). *Indonesia tea statistics*. Statistics Indonesia (BPS). <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/11/29/04f3ce433a368afa83384b7a/indonesian-tea-statistics-2023.html>
- BPS. (2024c). *Statistics of forestry production 2023*. Statistics Indonesia (BPS). <https://www.bps.go.id/en/publication/2024/07/26/3a38028576970e086c1cf32f/statistics-of-forestry-production-2023.html>
- BPS. (2025a). *Annual production of large estates by crop type (thousand tons), 2022-2023*. Statistics Indonesia (BPS). <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/OTQjMg==/produksi-perkebunan-besar-menurut-jenis-tanaman-ton.html>
- BPS. (2025b). *Production of mineral mining commodities, 2021-2023*. Statistics Indonesia (BPS). <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTA4lzI=/produksi-barang-tambang-mineral.html>
- BPS. (2025c). *Production volume of mining materials (cubic meters), 2021-2023*. Statistics Indonesia (BPS). <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTEwzI=/volume-produksi-pertambangan-bahan-galian.html>
- BPS. (2025d). *Statistical yearbook of Indonesia*. Statistics Indonesia (BPS). <https://www.bps.go.id/en/publication/2025/02/28/8cfe1a589ad3693396d3db9f/statistical-yearbook-of-indonesia-2025.html>
- Carey, B. (2018). *Using geothermal energy for kiln drying operations*. GNS Science.
- CEIC. (n.d.). *Indonesia energy: Consumption: Industry and construction: Chemical industry: Electricity*. <https://www.ceicdata.com/en/indonesia/energy-statistics-consumption/energy-consumption-industry-construction-chemical-industry-electricity?>
- Chandra Asri. (2024). *Chandra Asri annual report 2023: Transformation through partnerships for growth*. PT Chandra Asri Pacific Tbk.
- Cozzani, V., Barontini, F., McGrath, T., Mahler, B., Nordlund, M., Smith, M., Schaller, J. P., & Zuber, G. (2020). An experimental investigation into the operation of an electrically heated tobacco system. *Thermochimica Acta*, 684, 178475. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2019.178475>
- DPR RI (House of Representatives of the Republic of Indonesia). (2016). *Academic manuscript of the Tobacco bill*. DPR RI.
- DPR RI (House of Representatives of the Republic of Indonesia). (2024). *Academic manuscript of the Textile Bill*. DPR RI.
- Dutta, S. K., Saxena, J., & Choudhury, B. K. (2022). *Energy efficiency and conservation in metal industries with selected cases of investment grade audit*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003157137>
- Farhana, K., Kadirgama, K., Mahamude, A. S. F., & Mica, M. T. (2022). Energy consumption, environmental impact, and implementation of renewable energy resources in global textile industries: An overview towards circularity and sustainability. *Materials Circular Economy*, 4, 15. <https://doi.org/10.1007/s42824-022-00059-1>



- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). *Forestry production and trade* [Data set]. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
- Foreign Agricultural Service. (2024). *Dairy and products annual*. U.S. Department of Agriculture.
- The Global Economy.com. (2025). *Indonesia: Zinc production*. https://www.theglobaleconomy.com/Indonesia/zinc_production/
- HUMI. (2024). *Annual public exposé: Fiscal year 2024*. PT Humpuss Maritim Internasional Tbk (HUMI).
- ICN Bureau. (2023, May 25). *Nippon Shokubai inaugurates new acrylic acid plant in Indonesia*. Indian Chemical News. <https://www.indianchemicalnews.com/petro-chemical/nippon-shokubai-inaugurates-new-acrylic-acid-plant-in-indonesia-17601#:~:text=recently%20announced%20that%20its%20subsidiary,200%20million%20US%20dollars>
- IEA (International Energy Agency). (n.d.). *Energy system of Indonesia*. <https://www.iea.org/countries/indonesia>
- Korczak, K., Kochański, M., & Skoczkowski, T. (2022). Mitigation options for decarbonization of the non-metallic minerals industry and their impacts on costs, energy consumption and GHG emissions in the EU: Systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 358, 132006. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132006>
- Kurniawan, M. P., Maharani, A. D., Pradita, S. P., Nurramdhana, A. D., Gunawan, C. A., & Larasati, E. A. (2024). Analysis of energy and material efficiency in traditional sugar mills using STEM-based approaches. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 24(3).
- Lu, H., de la Rue du Can, S., Letschert, V. E., Wong, H. LC., Zhou, N., Wijaya, F., Hidayati, F., & Husodo, D. C. (2024). *Industry decarbonization roadmaps for Indonesia: Opportunities and challenges to net-zero emissions*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- MDQ Karbit. (2024). *Public exposé of PT Emdeki Utama Tbk Gresik, December 9, 2024*. PT Emdeki Utama Tbk.
- Meng, Y., Chen, G., Hong, G., Wang, M., Gao, J., & Chen, Y. (2019). [Energy efficiency performance enhancement of industrial conventional wood drying kiln by adding forced ventilation and waste heat recovery system: A comparative study](#). *Maderas Ciencia y tecnología*, 1(4), 545–558.
- Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR). (2024a). *Indonesia's National Cooling Action Plan (I-NCAP)*. Government of Indonesia.
- Ministry of Energy and Mineral Resources (MEMR). (2024b). *Oil and gas statistics, first semester 2024*. Government of Indonesia.
- Rehfeldt, M., Fleiter, T., & Toro, F. (2017). A bottom-up estimation of the heating and cooling demand in European industry. *Energy Efficiency*, 11, 1057–1082. <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9571-y>
- Su, Z., Zhang, M., Xu, P., Zhao, Z., Wang, Z., Huang, H., & Ouyang, T. (2021). Opportunities and strategies for multigrade waste heat utilization in various industries: A recent review. *Energy Conversion and Management*, 229, 113769. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113769>
- Thiel, G. P., & Stark, A. K. (2021). To decarbonize industry, we must decarbonize heat. *Joule*, 5(3), P531–550. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.12.007>
- Turton, R. (2018). *Acrylic acid process*. West Virginia University.
- USGS (U.S. Geological Survey). (2024). *Mineral commodity summaries 2024*. USGS.
- Wismilak. (2024). *Sustainability report 2023*. PT Wismilak Inti Makmur Tbk.
- World Steel Association. (2025). *Total production of crude steel*. https://WorldSteelAssociation.org/data/annual-production-steel-data/?ind=P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND



LAMPIRAN 2

Kode Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI) yang Memenuhi Syarat untuk Memperoleh Izin Usaha Pemanfaatan Langsung Panas Bumi

| Kode KBLI | Judul KBLI | Deskripsi KBLI |
|-----------|--|---|
| 01640 | Seleksi Benih Tanaman untuk Pengembangan | Mencakup seluruh kegiatan pascapanen yang bertujuan meningkatkan kualitas benih melalui pemilahan dari bahan nonbenih benih berukuran terlalu kecil benih yang rusak secara mekanis benih yang rusak akibat serangga serta benih yang belum matang serta menjaga kadar air benih pada kondisi aman. Termasuk kegiatan penyimpanan benih. Aktivitas ini meliputi pengeringan, pembersihan, penyortiran dan kegiatan sejenis hingga benih dipasarkan. Pemeliharaan benih hasil modifikasi juga termasuk dalam kelompok ini. |
| 10211 | Industri Penggaraman dan Pengeringan Ikan | Mencakup usaha pengolahan dan pengawetan ikan melalui proses penggaraman atau pengeringan seperti ikan tembang asin, teri asin, dan ikan segar kering. |
| 10291 | Industri Penggaraman dan Pengeringan Biota Air Lainnya | Mencakup usaha pengolahan dan pengawetan krustasea moluska echinodermata dan biota air lainnya melalui proses penggaraman atau pengeringan seperti udang asin, cumi asin, udang kering, ubur-ubur asin, sotong asin, teripang kering, sotong kering, dan sejenisnya. |
| 10313 | Industri Pengolahan Susu Segar dan Krim | Mencakup pengawetan buah dan sayuran melalui proses pengeringan baik dalam bentuk kemasan maupun tidak seperti kismis, bawang merah, bawang putih, cabai kering, rebung kering, dan jamur kering. Termasuk industri keripik buah dan sayuran. |
| 10510 | Industri Pengolahan Susu Segar dan Krim | Mencakup industri pengolahan susu cair segar yang dipasteurisasi, disterilisasi, dihomogenisasi, dan atau dipanaskan ultra tinggi serta industri pengolahan krim dari susu cair segar melalui proses pasteurisasi, sterilisasi, dan homogenisasi dalam bentuk cair atau setengah cair serta produk sejenis lainnya. |
| 10722 | Industri Gula Merah | Mencakup usaha pembuatan gula merah dalam bentuk cetakan bubuk atau cair yang berbahan baku nira murni baik dari tebu maupun palma seperti aren kelapa dan sejenisnya. |
| 10733 | Industri Buah Manisan dan Sayuran Kering | Mencakup pengawetan buah dan sayuran baik berupa buah, biji, kulit buah, maupun bagian tanaman lainnya melalui proses pemanisan dan pengeringan baik dalam bentuk kemasan maupun tidak seperti manisan pala, mangga kering, sayuran dan buah kering lainnya. |
| 10761 | Industri Pengolahan Kopi | Mencakup usaha penyangraian penggilingan dan ekstraksi kopi menjadi berbagai bentuk produk bubuk atau cair seperti kopi sangrai, kopi bubuk, kopi instan, ekstrak kopi, dan esens kopi. |
| 10763 | Industri Pengolahan Teh | Mencakup usaha pengolahan daun teh menjadi produk teh. Termasuk kegiatan pencampuran teh dan mate serta industri ekstraksi dan pengolahan berbasis teh dan mate. |
| 12091 | Industri Pengeringan dan Pengolahan Tembakau | Mencakup usaha pengeringan daun tembakau melalui pengasapan atau metode lainnya termasuk usaha perajangan daun tembakau. |



| Kode KBLI | Judul KBLI | Deskripsi KBLI |
|-----------|---|---|
| 15111 | Industri Pengawetan Kulit | Mencakup pengawetan kulit yang berasal dari hewan besar, hewan kecil, reptil, ikan dan hewan lainnya baik melalui proses pengeringan penggaraman maupun pengasaman seperti kulit sapi, kerbau, domba kambing, buaya, ular, biawak, ikan pari, hiu, kakap, belut, dan kulit hewan lainnya. |
| 16102 | Industri Pengawetan Kayu | Mencakup pengawetan kayu melalui proses pengeringan perlakuan kimia serta perendaman kayu dengan bahan pengawet atau bahan lainnya. |
| 17011 | Industri Kertas (Pulp) | Mencakup usaha pembuatan pulp dari kayu atau serat lainnya dan atau kertas bekas. Kegiatannya meliputi industri pulp yang diputihkan sebagian diputihkan atau tidak diputihkan melalui proses mekanis kimia atau semikimia termasuk pulp dari serat kapas serta industri penghilangan tinta dan pulp dari kertas bekas. |
| 20294 | Industri Minyak Atsiri | Mencakup usaha pembuatan minyak atsiri seperti minyak jahe, minyak keningar, minyak ketumbar, minyak cengkeh, minyak kapulaga, minyak pala, minyak melati, minyak kenanga, minyak mawar, minyak akar wangi, minyak serai, minyak nilam, minyak cendana, minyak kayu putih, minyak kayu manis, minyak rempah, minyak jarak, serta minyak dari rumput semak daun dan kayu yang tidak termasuk dalam kelompok lainnya. |
| 93221 | Pemandian Alam / Pemandian Air Panas / Air Terjun | Mencakup usaha penyediaan tempat dan fasilitas pemandian dengan menggunakan air panas dan atau air terjun sebagai kegiatan utama serta dapat dilengkapi dengan penyediaan jasa makanan dan minuman serta akomodasi. |
| 93231 | Agrowisata | Mencakup usaha pengelolaan daya tarik wisata dengan memanfaatkan kawasan pertanian yang meliputi tanaman pangan hortikultura, perkebunan, perikanan, dan peternakan sebagai kegiatan utama serta dapat dilengkapi dengan berbagai fasilitas termasuk jasa makanan minuman dan akomodasi. Kegiatan meliputi produksi pengumpulan konservasi pengolahan serta aktivitas budaya masyarakat. |

Sumber: BPS. (n.d.). [Indonesian Standard Classification of Business Fields \(KBLI\) 2020](#).



REFERENSI

- 1 Al Asy'ari, M. R., Adityatama, D. W., Brilian, V. A., Erichatama, N., & Purba, D. (2024). Beyond electricity: Geothermal direct use business models and potential applications in Indonesia. In *Proceedings of the 49th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, CA, United States. <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/2024/Al.pdf&sa=D&source=docs&ust=1763046407379240&usg=AOvVaw1W9VRcWJQbGR6Kb8IVg9e3>
- 2 Bagaskara, A., Al Asy'ari, R. M., Adityatama, D. W., Purba, D., Ahmad, A. H., Pratama, A. R., Banjarnahor, N. E., & Mukti, A. W. (2023). Exploring new ideas to promote and improve geothermal direct use in Indonesia. In *Proceedings, 48th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, CA, United States.
- 3 Lund, J. W., & Toth, A. N. (2021). Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*, 90, 101915. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101915>
- 4 Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). (2022). *Direct utilization of geothermal resources*. World Bank. https://www.esmap.org/sites/default/files/esmap-files/16103-WB_ESMAP%20Direct%20Use-WEB.pdf
- 5 Lund, J., Hutterer, G., & Toth, A. (2023). Geothermal development and use, 1995–2023. In *GRC Transactions* (Vol. 48). Geothermal Rising Conference.
- 6 Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). *Policy plan for direct utilization of geothermal energy in Indonesia*. Government of Indonesia.
- 7 Lund, J. W., Hutterer, G. W., & Toth, A. N. (2024). Geothermal development and use, 1995–2024. *Geothermal Resources Council Transactions*, 48, 2496–2507. <https://www.geothermal-library.org/index.php?mode=pubs&action=view&record=1035162>
- 8 Lund et al., 2024.
- 9 Lund et al., 2024.
- 10 Richter, A. (2023). *Talk #1 – Low enthalpy geothermal: An attempt to positioning* [YouTube video]. SPE Europe Energy GeoHackathon. https://www.youtube.com/watch?v=Ujx5SIQeHUs&utm_source=chatgpt.com
- 11 Richter, 2023.
- 12 World Bank. (2025, March 26). *World Bank and El Salvador promote geothermal energy for sustainable and inclusive development* [Press release]. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/03/26/banco-mundial-el-salvador-impulsan-energia-geotermica-desarrollo-sostenible-inclusivo>
- 13 Cariaga, C. (2025, March 31). *World Bank announces \$150 million investment for geothermal in El Salvador*. ThinkGeoEnergy. <https://www.thinkgeoenergy.com/world-bank-announces-150-million-investment-for-geothermal-in-el-salvador/>
- 14 Darma et al. (2021). Country update: The fast growth of geothermal energy development in Indonesia. In *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*. Reykjavik, Iceland.
- 15 Al Asy'ari et al., 2024.
- 16 Education Gazette editors. (2023, October 27). Curious minds drill to the core of geothermal Aotearoa. *Education Gazette*, 102, 14. <https://gazette.education.govt.nz/articles/curious-minds-drill-to-the-core-of-geothermal-aotearoa/>
- 17 Anugrah, A. N. M., Hastuti, S. W., Nafista, K., Ilham, A. K., & Nandiwardhana, D. (2021). A review: Study of potential direct use geothermal in Indonesia. In *Proceedings of the 10th ITB International Geothermal Workshop 2021*. Bandung, Indonesia. https://www.researchgate.net/publication/366093887_A_Review_Study_of_Potential_Direct_Use_Geothermal_in_Indonesia



- 18 Utomo, G. P., & Muslim, D. (2021). Preliminary characterization of thermal waters for direct-use application in Indonesia: Case study Dieng. In *Proceedings of the World Geothermal Congress 2020+1*. Reykjavík, Iceland. <https://www.worldgeothermal.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/28047.pdf>
- 19 Taqwim, S., Saptadji, N., & Ashat, A. (2013). Measuring the potential benefits of geothermal cooling and heating applications in Indonesia. In *Proceedings of the 13th Indonesia International GEOTHERMAL Convention & Exhibition 2013*. Jakarta, Indonesia.
- 20 Global Economy. (2025). *Primary energy consumption—Country rankings*. https://www.theglobaleconomy.com/rankings/prime_energy_consumption/
- 21 National Energy Council. (2024). *National energy balance analysis book*. Government of Indonesia. <https://den.go.id/publikasi/Neraca-Energi>
- 22 National Energy Council, 2024.
- 23 McNeil, M. A., Karali, N., & Letschert, V. (2019). Forecasting Indonesia’s electricity load through 2030 and peak demand. *Energy for Sustainable Development*, 49, 65–77. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/forecasting_indonesias_electricity_load.pdf
- 24 Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2023*. Government of Indonesia. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2023.pdf>
- 25 Pemerintah Indonesia hingga saat ini belum merilis pembaruan rincian penggunaan energi berdasarkan jenis aplikasi untuk sektor rumah tangga dan komersial.
- 26 McNeil et al., 2019.
- 27 McNeil et al., 2019.
- 28 Tidak ada data tambahan yang tersedia, karena pemerintah baru menerbitkan rincian hingga tahun 2020. Untuk standarisasi, kita dapat menerapkan proyeksi berdasarkan estimasi pertumbuhan pemerintah. Namun, penting untuk dicatat bahwa proyeksi ini mungkin tidak secara akurat mencerminkan situasi aktual.
- 29 Palladium. (2023). *Commercial sector NZE calculator 2023*. Mentari. <https://nzecalculator.mentari.info/documents/demand-sector-commercial.pdf>
- 30 International Energy Agency (IEA). (2022). *The future of heat pumps*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4713780d-c0ae-4686-8c9b-29e782452695/TheFutureofHeatPumps.pdf>
- 31 Seluruh data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) awalnya dilaporkan dalam satuan terawatt-hour (TWh). Untuk memperjelas analisis kebutuhan energi panas lintas sektor, kajian ini menggunakan satuan terajoule (TJ), yang merupakan satuan baku untuk energi panas. Penggunaan TJ membantu menghindari kebingungan antara keluaran listrik dan produksi panas, karena energi panas diukur dalam joule, bukan watt-hour. Konversinya sederhana: 1 TWh = $3,6 \times 10^{15}$ joule = 3.600 TJ. Sebagai contoh, jaringan pemanasan distrik panas bumi yang memasok 180 TJ per tahun setara dengan 0,05 TWh.
- 32 Angka-angka ini mengasumsikan bauran konsumsi energi sebesar 50% batu bara, 30% minyak, dan 20% gas dari total 2.998.058,6 TJ, serta menggunakan faktor emisi CO₂ baku dari Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), yaitu: batu bara ≈ 94,6 tCO₂/TJ, minyak ≈ 73,3 tCO₂/TJ, dan gas alam ≈ 56,1 tCO₂/TJ. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories (Vol. 2: Energy)*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. See Table 2.2 in Chapter 2, “Stationary Combustion.”
- 33 BPS–Statistics Indonesia. (2025). *Physical supply and use for GHG emission of Indonesia (thousand ton CO₂), 2023*. https://www.bps.go.id/en/statistics-table/2/Mjl4NyMy/physical-supply-and-use-for-ghg-emission-of-indonesia.html?utm_source=chatgpt.com
- 34 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2022). *Enhanced Nationally Determined Contribution, Republic of Indonesia*. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf



- 35 Daftar lengkap temperatur proses untuk setiap kebutuhan energi panas disajikan dalam Lampiran 1.
- 36 Chandra Asri Group. (2024). *Chandra Asri annual report 2024: Unleashing transformational growth*. <https://chandra-asri.com/en/investor/reports>
- 37 Lu, H., de la Rue du Can, S., Letschert, V., Wong, H. L. C., Zhou, N., Wijaya, F., Hidayati, F., & Husodo, D. C. (2024). *Industry decarbonization roadmaps for Indonesia: Opportunities and challenges to net-zero emissions*. Lawrence Berkeley National Laboratory & Institute for Essential Services Reform.
- 38 Ministry of Energy and Mineral Resources, 2024.
- 39 GMI Research. (2025). *Indonesia flat glass market and analysis report–Opportunities and forecast 2025-2032*. <https://www.gmiresearch.com/report/indonesia-flat-glass-market/>
- 40 IEA, 2022.
- 41 Informasi yang disediakan dalam bagian ini dan bagian berikutnya didasarkan pada banyak referensi. Lihat akhir dari Lampiran 1 untuk semua sumber yang digunakan.
- 42 IEA, 2022.
- 43 Business Wire. (2024, November 14). *South East Asia existing and upcoming data center portfolio report 2024-2028: White-floor space, IT load capacity, retail colocation pricing, and wholesale colocation pricing* [Press release]. <https://www.businesswire.com/news/home/20241114124821/en/South-East-Asia-Existing-Upcoming-Data-Center-Portfolio-Report-2024-2028-White-floor-Space-IT-Load-Capacity-Retail-Colocation-Pricing-and-Wholesale-Colocation-Pricing--ResearchAndMarkets.com>
- 44 Mordor Intelligence. (2025). *Data center market size and share analysis–growth trends and forecasts up to 2030*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/data-center-market>
- 45 Data Center Map. (n.d.). *Indonesia data centers*. <https://www.datacentermap.com/indonesia/>
- 46 King, B., Ricks, W., Pastorek, N., & Larsen, J. (2025). *The potential for geothermal energy to meet growing data center electricity demand*. Rhodium Group. <https://rhg.com/research/geothermal-data-center-electricity-demand/>



- 47 Gooding, M. (2024, August 8). *Star Energy Geothermal in talks to supply clean power to Indonesian data center operators*. Data Center Dynamics. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/star-energy-geothermal-in-talks-to-supply-clean-power-to-indonesian-data-center-operators/>
- 48 King et al., 2025.
- 49 Agency for Meteorological, Climatological, and Geophysics. (n.d.). *Data online*. <https://dataonline.bmkg.go.id/dataonline-home>
- 50 International Heat Flow Commission (IHFC). (n.d.). *The global heat flow database*. <https://ihfc-iugg.org/products/global-heat-flow-database/mapping-visualisation>
- 51 INDOGEO Social Enterprise. (n.d.). *Geothermal gradient map of SE Asia*. <https://indogeose.weebly.com/geothermal-gradient-map.html>
- 52 Copernicus Climate Change Service (C3S). (2019). *ERA5-Land hourly data from 1950 to present* [Data set]. Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac>
- 53 Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (n.d.). *Climate variability and change in Indonesia*. <https://iklim.bmkg.go.id/publikasi-klimat/ftp/brosur/LEAFLETINGGRISB.pdf>
- 54 BPS. (2023). *Indonesian population projection 2020-2050: Results of the 2020 population census*. <https://www.bps.go.id/id/publication/2023/05/16/fad83131cd3bb9be3bb2a657/proyeksi-penduduk-indonesia-2020-2050-hasil-sensus-penduduk-2020.html>
- 55 Institute for Essential Services Reform (IESR). (2024). *Indonesia energy transition outlook 2024*. <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2024/03/Indonesia-Energy-Transition-Outlook-2024-1.pdf>
- 56 Cariaga, C. (2025, May 16). *Pioneering geothermal use for coffee production in Kamojang, Indonesia*. ThinkGeoEnergy. <https://www.thinkgeoenergy.com/pioneering-geothermal-use-for-coffee-production-in-kamojang-indonesia/>
- 57 Prioritas yang disajikan dalam laporan ini ditentukan menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), sebuah kerangka kerja terstruktur untuk pengambilan keputusan. Metode yang sudah mapan ini memungkinkan evaluasi sistematis terhadap potensi aplikasi panas bumi dengan membandingkan faktor kualitatif dan kuantitatif. Model AHP menggabungkan enam kriteria utama untuk memastikan penilaian yang komprehensif, yaitu: industri yang sesuai (permintaan termal), ketersediaan sumber daya panas bumi, pertimbangan ekonomi (penghematan/biaya), perlindungan lingkungan dan sosial, risiko teknologi, serta regulasi dan insentif.
- 58 Ministry of Energy and Mineral Resources. (2024). *Indonesia's National Cooling Action Plan (I-NCAP)*. Government of Indonesia. <https://coolcoalition.org/wp-content/uploads/2024/08/ESCAP-2024-RP-Indonesia-National-Cooling-Action-Plan-1.pdf>
- 59 IEA, 2022.
- 60 Al Asy'ari et al., 2024.
- 61 IEA, 2022.
- 62 Paul, S. D., & Kumar, K. R. (2025). *Advancements in adsorption bed for cooling applications: A comprehensive review of configurations and operating parameters*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 211, 115301. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115301>
- 63 International Energy Agency (IEA). (n.d.). *Energy system of Indonesia*. <https://www.iea.org/countries/indonesia>
- 64 Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (2024). *CHP technologies: Absorption chillers* [Combined Heat and Power Technology Fact Sheet series]. U.S. Department of Energy. https://betterbuildingsolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/CHP_Absorption_Chillers.pdf

