



Bab 5

Mempersiapkan Tenaga Kerja Masa Depan: Peran Tenaga Kerja dan Institusi Sektor Minyak dan Gas Indonesia

*Filda C. Yusgiantoro, Massita Ayu C. Putriastuti, dan Hidayatul M. Rohmawati
Purnomo Yusgiantoro Center*

Hampir semua kekuatan yang dimiliki oleh operasi minyak dan gas Indonesia saat ini dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan pengembangan panas bumi. Ini merupakan aset besar bagi Indonesia, karena pencapaian target yang diuraikan dalam laporan ini berpotensi menciptakan lebih dari 650.000 lapangan kerja, yang sebagian besar dapat diisi oleh tenaga kerja dari sektor minyak dan gas.

Sektor energi Indonesia saat ini tengah mengalami transformasi signifikan seiring dengan upaya negara untuk mengurangi ketergantungannya pada bahan bakar fosil. Komponen utama dari transformasi ini adalah perluasan energi terbarukan, khususnya energi panas bumi. Sumber daya panas bumi menawarkan banyak peluang untuk perluasan pembangkit listrik konvensional, sistem generasi baru, panas industri untuk penggunaan langsung, dan pendinginan berbasis panas bumi.

Faktanya, Indonesia memiliki beberapa potensi panas bumi terbaik di dunia, diperkirakan sekitar 23,7 gigawatt sumber daya konvensional¹ dan 2.160 gigawatt potensi panas bumi generasi baru (Lihat suplemen Bab 3, “Memperluas Cakupan: Peluang Panas Bumi Generasi

Baru”). Potensi ini menempatkan Indonesia pada posisi yang sangat menguntungkan untuk mengembangkan energi panas bumi dalam skala besar. Hingga September 2025, kapasitas terpasang listrik panas bumi adalah 2.744 megawatt, yang berarti hanya 11,5% yang telah dimanfaatkan dari sumber daya konvensional negara. Bahkan, Indonesia dapat mencapai target 15 gigawatt listrik panas bumi dan 15 gigawatt panas bumi pada tahun 2035—serta 25 gigawatt listrik dan 35 gigawatt panas bumi pada tahun 2045 (lihat Bab 7, “Mengubah Potensi Menjadi Kekuatan: Cetak Biru Kebijakan untuk Transformasi Panas Bumi Indonesia”, Rekomendasi #2). Jika tujuan ini tercapai, Indonesia dapat menghasilkan lebih dari 650.000 lapangan kerja baru.



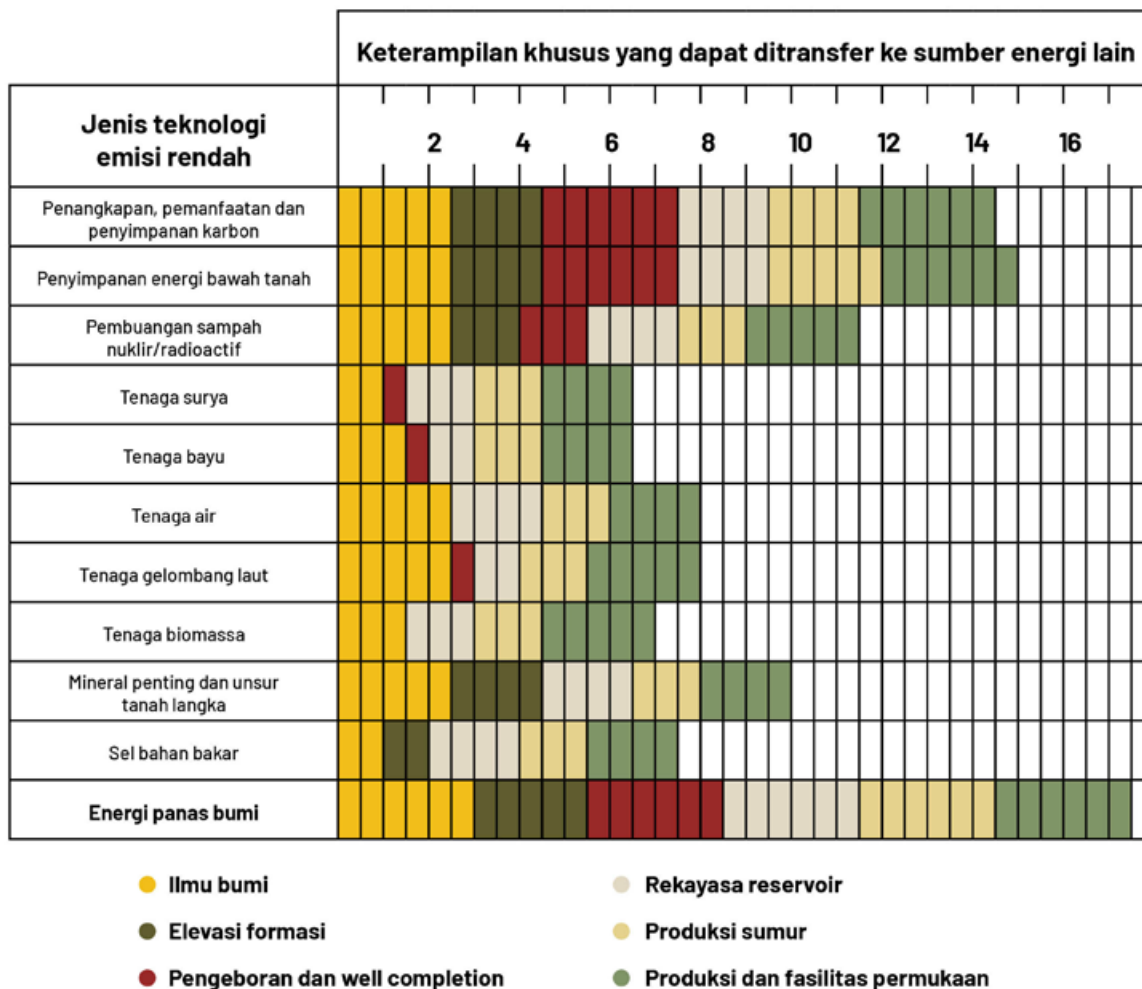
Namun, ketersediaan sumber daya hanyalah sebagian dari cerita: ekspansi panas bumi memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan energi terbarukan lainnya karena adanya tumpang tindih yang signifikan dalam keterampilan, teknologi, dan infrastruktur dengan industri minyak, gas, dan pertambangan Indonesia yang telah lama berkembang, serta dukungan keahlian yang telah terbangun dari industri panas bumi konvensional.

TENAGA KERJA SEKTOR MINYAK DAN GAS INDONESIA SAAT INI DAN POTENSI PEKERJAAN DI SEKTOR PANAS BUMI

Indonesia telah aktif di sektor minyak dan gas sejak tahun

1800-an. Komitmen jangka panjang ini telah membantu membangun fondasi pengetahuan, pengalaman, dan infrastruktur yang kuat dalam ekstraksi bawah permukaan. Hampir semua kekuatan operasi minyak dan gas Indonesia yang ada dapat diadaptasi untuk memenuhi kebutuhan pengembangan panas bumi.² Ini merupakan aset besar bagi Indonesia, karena memastikan kehadiran tenaga kerja terampil untuk membantu mengembangkan sektor panas bumi sekaligus mempertahankan ketersediaan karier berkualitas bagi tenaga kerja minyak dan gas saat ini. Tenaga kerja ini dapat berkontribusi tidak hanya pada proyek pembangkit listrik panas bumi tradisional tetapi juga aplikasi panas bumi generasi baru, termasuk sistem yang dirancang untuk panas industri langsung dan aplikasi

KETERAMPILAN YANG DAPAT DIALIHKAN DARI INDUSTRI MINYAK DAN GAS



Gambar 5.1: Energi panas bumi menempati peringkat tertinggi jika mempertimbangkan potensi dampak transfer keterampilan minyak dan gas ke teknologi transisi energi dan rendah karbon lainnya. Sumber: Tayyib, D., Ekeoma, P. I., Offor, C. P., Adetula, O., Okoroafor, J., Egbe, T. I., & Okoroafor, E. R. (2023). *Keterampilan minyak dan gas untuk teknologi energi rendah karbon*. Konferensi dan Pameran Teknis Tahunan Society of Petroleum Engineers.



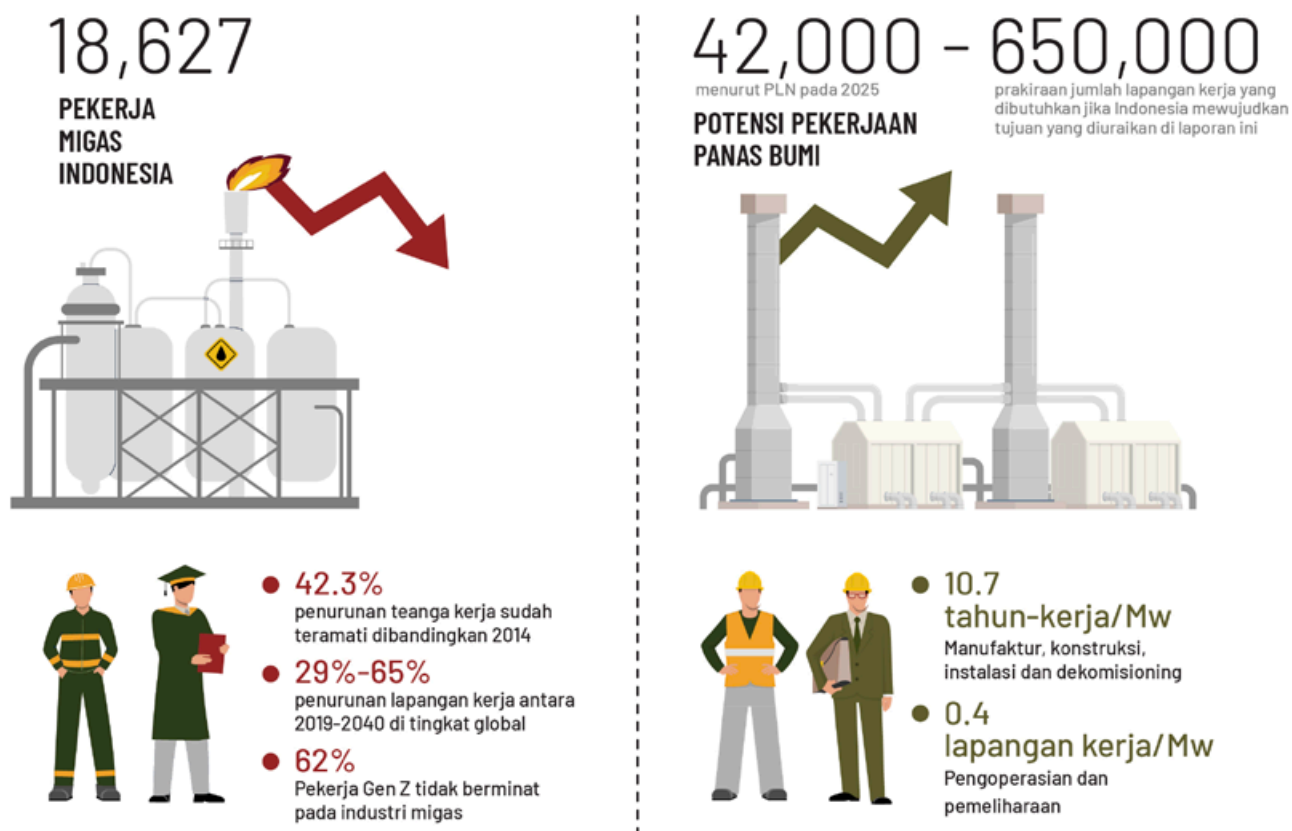
penyimpanan termal yang mendukung pendinginan dan stabilitas jaringan listrik.

Menurut data Satuan Tugas Khusus Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas (SKK Migas), pada tahun 2023, sektor minyak dan gas mempekerjakan 18.627 pekerja Indonesia³. Tenaga kerja di sektor minyak dan gas memiliki banyak keterampilan yang dapat diterapkan di sektor panas bumi, mulai dari ilmu geologi hingga pengeboran dan penyelesaian sumur (*well completion*) serta rekayasa reservoir dan produksi sumur (lihat **Gambar 5.1**). Pelatihan ulang dan reorientasi yang tepat dapat memperluas kumpulan talenta yang ada ini untuk memungkinkan pekerja berpartisipasi dalam proyek-proyek panas bumi, yang akan membantu mengatasi

kebutuhan tenaga kerja yang muncul di sektor energi terbarukan sekaligus mengurangi potensi kehilangan pekerjaan di industri bahan bakar fosil.

Industri minyak dan gas (migas) global menghadapi tantangan struktural jangka panjang yang signifikan, termasuk fluktuasi harga, otomatisasi, dan pergeseran regulasi yang didorong oleh tujuan dekarbonisasi. Tenaga kerja di sektor migas Indonesia, khususnya di operasi hulu, mulai mengalami penurunan lebih dari satu dekade lalu, dengan total penurunan sekitar 42,3% antara tahun 2014 dan 2023.⁴ Angka ini diperkirakan akan turun lebih jauh jika proyeksi di Indonesia akurat, yang dapat berarti potensi kehilangan antara 6.500 dan 14.700 pekerjaan tambahan—belum termasuk dampak percepatan perubahan iklim dan

POTENSI TRANSISI PEKERJAAN DARI MIGAS KE PANAS BUMI



Gambar 5.2: Estimasi jumlah potensi transisi pekerjaan dari minyak dan gas ke panas bumi. Sumber: Asosiasi Perminyakan Indonesia. (2017). *Gambaran umum Indonesia*; Satuan Tugas Khusus Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas (SKK Migas). (2023). *Laporan tahunan 2023*; Ernst & Young. (2020). *Preparing for the future now: Rethinking the oil and gas workforce in 2040*. EY Global; Halimatussadiyah, A., Irhamni, M., Riefky, T., Nur Ghiffari, M., & Razak Afifi, FA (2024). *Dampak ketenagakerjaan dari transisi energi di Indonesia*. Lembaga Penelitian Ekonomi dan Sosial, Universitas Indonesia; PLN. (2025). *Rencana bisnis pasokan listrik PLN (2025-2034): Meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan energi nasional*. Pemerintah Indonesia.



upaya dekarbonisasi global, yang keduanya kemungkinan akan mendorong pengurangan yang lebih dalam pada tenaga kerja global di sektor energi fosil. Sebaliknya, tenaga kerja migas global mengalami pemulihan jangka pendek, menambah sekitar 590.000 pekerjaan pada tahun 2023 hingga mencapai 12,4 juta pekerja, didorong oleh pengembangan proyek-proyek baru.⁵ Namun, terlepas dari pemulihan sementara ini, proyeksi jangka panjang tetap negatif: Skenario Emisi Nol Bersih pada tahun 2050 dari Badan Energi Internasional (IEA) memperkirakan penurunan 1,7 juta pekerjaan di sektor migas pada tahun 2030, dan lapangan kerja di sektor bahan bakar fosil secara lebih luas diperkirakan akan turun dari 12,6 juta menjadi 3,1 juta pada tahun 2050, memperlihatkan dengan jelas kontraksi struktural yang berkelanjutan di sektor ini.⁶

Survei industri migas PwC tahun 2015 menemukan bahwa sebagian besar responden memperkirakan penurunan peluang kerja dan kualitas tenaga kerja.⁷ Pada saat yang sama, dukungan pemerintah Indonesia terhadap sektor migas tetap kuat, dan minat di kalangan lulusan baru masih relatif tinggi—sebagian besar karena gaji yang kompetitif di industri ini.

Dengan sumber daya yang melimpah, industri panas bumi di Indonesia memiliki potensi pertumbuhan yang signifikan. Seiring dengan peningkatan kapasitas negara untuk memenuhi target transisi energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) memperkirakan bahwa pengembangan panas bumi akan menciptakan lebih dari 4.000 lapangan kerja baru; PLN memperkirakan angka tersebut bisa mencapai 42.000. Dan jika sebagian besar sumber daya panas bumi negara dimanfaatkan, Proyek InnerSpace memproyeksikan angka yang jauh lebih tinggi, yaitu lebih dari 650.000 lapangan kerja baru. **(Gambar 5.2).**^{8,9} Meskipun angka lapangan kerja ini tidak secara eksplisit dikaitkan dengan target penyebaran gigawatt tertentu (lihat Bab 2, “Menggerakkan Transisi: Pasar dan Peluang Panas Bumi Indonesia”), angka tersebut mencerminkan rencana pengembangan panas bumi pemerintah yang terus berkembang. Bidang karir dalam laporan ESDM meliputi eksplorasi lokasi, pengeboran, konstruksi pembangkit, instalasi sistem, dan operasi serta pemeliharaan jangka panjang.

Industri panas bumi memiliki dua fase utama penciptaan lapangan kerja: (a) konstruksi dan instalasi dan (b) operasi dan pemeliharaan. Fase konstruksi dan instalasi bersifat

padat karya, karena melibatkan pekerjaan sipil, perakitan mekanik dan listrik, logistik, dan layanan terkait lainnya. Fase ini menghasilkan sekitar 10,7 tahun kerja per megawatt, tetapi pekerjaan ini bersifat sementara.¹⁰ Fase operasi dan manajemen menciptakan lebih sedikit lapangan kerja, menghasilkan sekitar 0,4 posisi tetap per megawatt, tetapi peran ini cenderung bersifat jangka panjang dan permanen.¹¹ Posisi yang diciptakan dalam fase ini berfokus pada manajemen, perbaikan, dan optimalisasi pembangkit dan infrastruktur panas bumi.

Jika Indonesia mampu merealisasikan potensi penuh sebesar 23 gigawatt pembangkit listrik tenaga panas bumi konvensional pada tahun 2060 (sebagaimana diidentifikasi oleh ESDM dan diuraikan dalam Rencana Umum Kelistrikan Nasional; lihat Bab 2, “Menggerakkan Transisi: Pasar dan Peluang Panas Bumi Indonesia,” untuk informasi lebih lanjut tentang target energi nasional), dampaknya berpotensi menciptakan hingga 255.300 lapangan kerja, jauh melebihi jumlah yang diprediksi oleh ESDM dan PLN—dengan catatan bahwa hal ini akan bergantung pada perluasan kapasitas panas bumi yang berkelanjutan dari tahun ke tahun. Angka ini mencakup sekitar 246.100 pekerjaan sementara selama fase konstruksi dan instalasi, serta setidaknya 9.200 pekerjaan tetap di bidang operasi dan pemeliharaan setelah kapasitas penuh tercapai. Jumlah ini akan melonjak hingga 660.000 lapangan kerja jika Indonesia mencapai target gabungan 60 gigawatt pembangkit listrik dan termal untuk tahun 2045 (lihat Bab 7, “Mengubah Potensi Menjadi Kekuatan: Cetak Biru Kebijakan untuk Transformasi Panas Bumi Indonesia”), berdasarkan metodologi yang diikuti oleh Lembaga Penelitian Ekonomi dan Sosial di Universitas Indonesia.¹²

Namun, mewujudkan tingkat pertumbuhan ini akan bergantung pada ketersediaan tenaga kerja terampil; penelitian di sektor panas bumi Indonesia menunjukkan bahwa kekurangan tenaga kerja dan keterbatasan keterampilan terapan selama ini menjadi menghambat pembangunan,¹³ yang menunjukkan perlunya memperkuat kesiapan tenaga kerja nasional.

Untuk bab ini, Purnomo Yusgiantoro Center (PYC) melakukan penelitian untuk lebih memahami prospek energi panas bumi di sektor energi Indonesia yang sudah ada. Para peneliti mengumpulkan data primer melalui wawancara mendalam dengan pejabat industri dan para pakar dari berbagai instansi pemerintah, lembaga akademik, dan



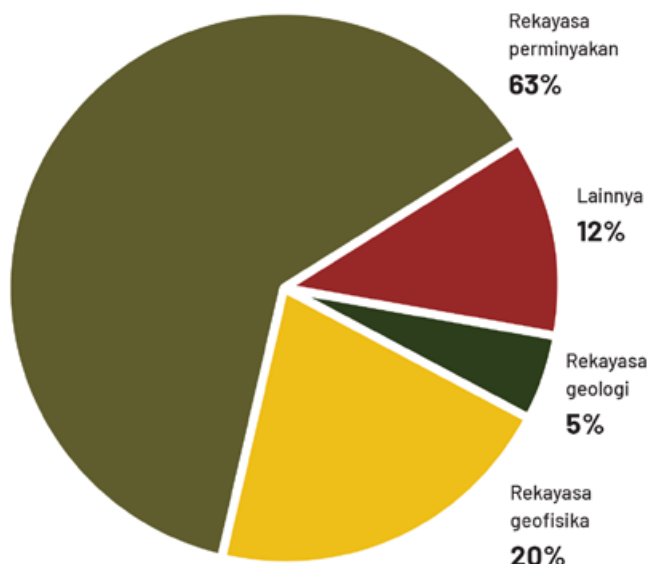
perusahaan energi, serta melalui survei terhadap lulusan baru yang ingin beralih ke karir di industri (**Gambar 5.3**).

Tujuan pengumpulan data ini adalah untuk menyoroti keterlibatan yang ada dalam perluasan dan pelatihan energi panas bumi, serta untuk memeriksa kesiapan tenaga kerja dan sikap umum terhadap energi panas bumi, baik sebagai peluang kelembagaan maupun sebagai jalur karier potensial. Temuan dari bagian ini memberikan dasar empiris untuk pembahasan selanjutnya tentang keterlibatan kelembagaan dan transisi tenaga kerja.

TRANSISI ANGKATAN KERJA: DARI MINYAK DAN GAS, PERTAMBANGAN, DAN UTILITAS KE ENERGI PANAS BUMI

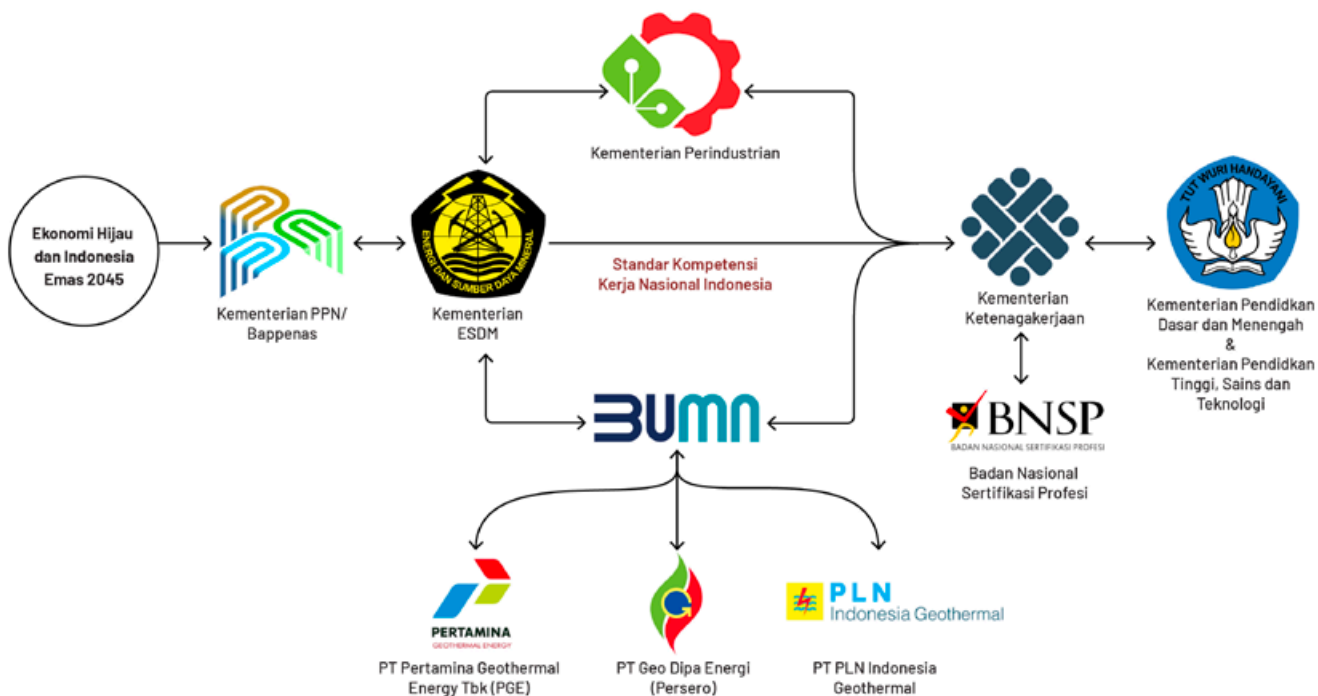
Kebijakan efektif yang dikembangkan melalui kolaborasi dengan para pelaku dari seluruh industri merupakan landasan bagi transisi tenaga kerja yang sukses. Penyelarasan di seluruh industri menciptakan alur yang kuat untuk pelatihan, penempatan karyawan, dan mobilitas tenaga kerja secara keseluruhan. Meskipun hubungan

RESPONDEN SURVEI MAHASISWA



Gambar 5.3: Rincian responden survei mahasiswa berdasarkan jurusan. Sumber: penulis.

ALUR KERJA KEMENTERIAN/LEMBAGA YANG TERLIBAT DALAM PENGEMBANGAN TENAGA KERJA DI SEKTOR ENERGI



Gambar 5.4: Alur kerja lembaga-lembaga utama yang terlibat dalam perencanaan dan implementasi tenaga kerja sektor energi. Sumber: penulis.



kelembagaan saat ini terfragmentasi dan sulit dinavigasi, Indonesia memiliki peluang untuk meningkatkan upaya penyelarasan yang sudah dilakukan di industri dan bergerak menuju strategi sektor yang lebih kohesif.

Salah satu elemen utama dari rencana transisi energi Indonesia adalah pengembangan ekonomi hijau, yang mencakup penekanan kuat pada sumber energi terbarukan dan rendah karbon.¹⁴ Salah satu langkah nyata ke arah ini adalah peluncuran Peta Jalan Pengembangan Tenaga Kerja Hijau oleh Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) pada tahun 2025; peta jalan ini secara eksplisit selaras dengan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2025–2029.¹⁵ Rencana ini membantu memandu strategi sektoral seperti Kebijakan Energi Nasional, memberikan informasi untuk rencana turunan seperti Rencana Umum Energi Nasional, dan menyediakan kerangka kerja menyeluruh untuk dokumen implementasi seperti Rencana Umum Kelistrikan Nasional dan Rencana Usaha Penyediaan Listrik PLN (lihat Bab 2, “Menggerakkan Transisi: Pasar dan Peluang Panas Bumi Indonesia”). Keselarasan ini memperkuat legitimasi kebijakan peta jalan dan menghubungkannya secara tegas dengan hierarki perencanaan nasional Indonesia. Meskipun berbagai lembaga pemerintah bertanggung jawab atas berbagai elemen transformasi ekonomi jangka panjang ini, terdapat dua kementerian yang berbagi pekerjaan mendasar yang merupakan kunci keberhasilan transisi angkatan kerja.

Bappenas menetapkan arah strategis nasional untuk peluang kerja yang ramah lingkungan—termasuk energi panas bumi—melalui penyusunan Peta Jalan Pekerjaan Hijau¹⁶ sedangkan ESDM, sebagai otoritas utama di sektor energi, kemudian menerjemahkan target strategis ini menjadi kebijakan tenaga kerja yang praktis.¹⁷

Saat ini, Kementerian Ketenagakerjaan (Kemenaker) berkolaborasi dengan kementerian-kementerian sektoral seperti ESDM dan Kementerian Perindustrian untuk mengelola pengembangan standar yang menyediakan kerangka kerja untuk tolok ukur formal di setiap industri. Standar-standar ini kemudian dikelola melalui Badan Sertifikasi Profesional, di bawah Badan Nasional Sertifikasi Profesional.

Pemerintah, industri, dan pakar akademis di setiap sektor mengembangkan standar-standar ini—Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI)—melalui

proses kolaboratif. Perwakilan sektor masing-masing mengusulkan standar yang berbeda, dan komite teknis kemudian menyusun standar tersebut untuk dikirim ke Kemenaker di bawah Direktorat Jenderal Pelatihan dan Pengembangan Produktivitas untuk ditinjau. Setelah difinalisasi, standar tersebut menjadi berkekuatan hukum melalui keputusan menteri. SDM memberikan dasar formal untuk program perekrutan, pelatihan, dan sertifikasi nasional. Misalnya, seorang teknisi yang ingin menjadi operator lapangan uap bersertifikat harus menyelesaikan pelatihan berdasarkan SKKNI yang relevan dan lulus ujian kompetensi yang dilakukan oleh Badan Sertifikasi Profesional yang berwenang.

PEKERJAAN TELAH DIMULAI: PETA PEKERJAAN DAN STANDAR KOMPETENSI KERJA NASIONAL

Transisi ekonomi sebesar ini membutuhkan perencanaan dan koordinasi yang signifikan. Sayangnya, program sertifikasi dan pelatihan panas bumi yang ada di Indonesia tidak dirancang untuk memanfaatkan kemampuan dan keterampilan teknis negara yang cukup besar. Namun, karena sektor ini sudah sangat terkait dengan industri

STANDAR KOMPETENSI KERJA EKSISTING YANG TERKAIT DENGAN PANAS BUMI

Nomor	Judul SKKNI
1	Operator dan Supervisor Pengujian Arus Fluida Sumur Panas Bumi
2	Operator Fasilitas Lapangan Uap Panas Bumi
3	Supervisor Operasi Panas Bumi
4	Ahli Geokimia Panas Bumi
5	Ahli Geologi Panas Bumi
6	Ahli Geofisika Panas Bumi
7	Pemeliharaan Peralatan Lapangan Uap
8	Pengambilan Sampel Fluida Sumur Panas Bumi

Gambar 5.5: Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia yang ada terkait pengembangan dan pengoperasian energi panas bumi. Tautan untuk setiap judul SKKNI memberikan informasi SKKNI yang sesuai.



migas Indonesia, negara memiliki banyak kesempatan untuk memperbaiki arah dan mempercepat transisi.

Peta pekerjaan yang jelas dan terkini untuk energi panas bumi dapat secara signifikan mempermudah upaya ini dengan memberikan gambaran umum tentang jenis pekerjaan, persyaratan keterampilan, dan kualifikasi yang dibutuhkan pada setiap tahap pengembangan energi panas bumi. Peta pekerjaan ini kemudian akan berfungsi sebagai referensi dasar untuk SKKNI, memastikan bahwa setiap standar secara akurat mencerminkan peran industri dan kebutuhan tenaga kerja yang muncul. Kejelasan pada tingkat ini memberdayakan setiap lembaga untuk melaksanakan mandatnya.

Beberapa upaya mendasar telah dimulai. ESDM, melalui Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, sedang mengembangkan kebijakan tentang pengembangan modal manusia yang mengusulkan penyusunan peta pekerjaan nasional yang disesuaikan dengan sektor energi bersih dan khususnya energi panas bumi.¹⁸ Pada saat penulisan bab ini, pembaruan kerangka kerja tersebut belum dipublikasikan. Setelah selesai, peta ini akan berfungsi sebagai dasar untuk hal-hal berikut:

- Pemetaan kesetaraan pekerjaan untuk memandu integrasi pekerja baru, termasuk lulusan kejuruan dan universitas, ke dalam peran yang relevan dengan industri. Pemetaan ini harus dipimpin oleh Kemenaker bersama Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi serta kementerian teknis terkait (seperti ESDM) sebagai pendamping.
- Proyeksi kebutuhan tenaga kerja yang diperkirakan berapa banyak pekerja yang dibutuhkan, dalam peran apa, dan di wilayah mana saja. Pengembangan proyek-proyek ini akan dikoordinasikan oleh Bappenas sebagai lembaga utama, dengan Kemenaker dan ESDM sebagai pendamping.
- Rekomendasi kebijakan dan regulasi yang disesuaikan dengan masing-masing mitra institusional, seperti Kementerian Tenaga Kerja untuk perlindungan dan pelatihan tenaga kerja serta Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi untuk pengembangan kurikulum.

Selain itu, sebuah kelompok ad hoc telah melakukan upaya perencanaan tenaga kerja dan menghasilkan delapan SKKNI khusus panas bumi (lihat **Gambar 5.5**). Secara paralel, ESDM

bekerja sama dengan Kementerian Perindustrian dan Kementerian BUMN untuk memperbarui dan memperluas SKKNI panas bumi yang ada. Namun, rencana sertifikasi saat ini sebagian besar masih berfokus pada peran operasional yang sempit dan belum secara komprehensif membahas peran lintas sektoral atau transisional yang penting bagi tenaga kerja panas bumi modern, seperti manajemen proyek panas bumi, perizinan lingkungan, instrumentasi digital, atau audit keberlanjutan.

PLATFORM TRANSISI: AREA KERJA PANAS BUMI DI INDONESIA

Dari 63 Area Kerja Panas Bumi (WKP) di Indonesia, 17 di antaranya saat ini memiliki satu atau lebih pembangkit panas bumi yang beroperasi di lokasi tersebut (yang lainnya berada dalam berbagai tahap pengembangan, eksplorasi, konstruksi, atau persiapan tender). Lokasi-lokasi ini dapat berfungsi sebagai “platform transisi” di mana keterampilan, teknologi, dan pengalaman industri migas dapat diterapkan. Dengan beroperasinya pembangkit-pembangkit ini, berarti industri tersebut sudah memiliki banyak pengetahuan dan keterampilan berharga yang dapat membantu ekspansi (lihat **Gambar 5.1**). Sebagian besar pembangkit listrik panas bumi ini dioperasikan oleh perusahaan-perusahaan yang memiliki afiliasi langsung atau historis dengan sektor migas.

Sebuah studi tahun 2023 yang meneliti peran minyak dan gas dalam industri panas bumi menyoroti pentingnya transfer pengetahuan dan pembelajaran dalam mengurangi biaya keseluruhan pengembangan panas bumi untuk memanfaatkan skala ekonomi dan mendorong inovasi.¹⁹ Manfaat paling langsung dan praktis untuk industri panas bumi generasi baru yang diperluas dapat berasal dari limpahan minyak dan gas, mengingat basis teknologi yang luas dan pengalaman operasional yang terakumulasi dari sektor migas. Indonesia dapat mengharapkan manfaat serupa karena tumpang tindih industri yang sebanding antara minyak dan gas dan panas bumi.

Perusahaan minyak dan gas memiliki posisi unik untuk menempatkan kembali para profesional minyak dan gas yang terampil ke dalam peran panas bumi dan berkontribusi pada pengembangan pelatihan, sertifikasi, dan standar kompetensi khusus industri. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6, sebagian besar daerah panas bumi aktif dioperasikan oleh perusahaan yang



PERUSAHAAN PANAS BUMI DI INDONESIA DAN AFILIASI MEREKA DENGAN INDUSTRI

No.	Area Kerja Panas Bumi (WKP)	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)	Perusahaan	Afiliasi Minyak dan Gas
1	Sibayak–Sinabung, Sumatera Utara	Sibayak	PT Pertamina Geothermal Energy Tbk (PGE)	Anak perusahaan PT Pertamina (Persero), perusahaan minyak nasional Indonesia
2	Lahendong–Tompaso, Sulawesi Utara	Lahendong		
3	Waypanas–Lampung	Ulubelu		
4	Karaha Bodas–Jawa Barat	Karaha		
5	Lumut Balai–Sumatera Selatan	Lumut Balai		
6	Kamojang–Darajat, Jawa Barat	Kamojang		
		Darajat	PT Star Energy Geothermal Darajat II	Awalnya dioperasikan oleh Chevron Geothermal, anak perusahaan dari Chevron Corporation (AS).
7	Cibeureum–Parabakti, Jawa Barat	Salak	PT Star Energy Geothermal Salak, Ltd	
8	Pangalengan, Jawa Barat	Wayang Windu	PT Star Energy Geothermal Wayang Windu Ltd.	
		Patuha	PT Geo Dipa Energi (Persero)	Awalnya merupakan usaha patungan antara Pertamina dan PLN
9	Dataran Tinggi Dieng, Jawa Tengah	Dieng		
10	Sibual–Buali–Sumatera Utara	Sarulla	PT Sarulla Operations Ltd (SOL)	Konsorsium yang terdiri dari: <ol style="list-style-type: none"> 1. Medco Power, dimiliki oleh Medco Energi, sebuah perusahaan energi yang berakar pada industri migas. 2. Inpex Corporation, sebuah perusahaan eksplorasi dan produksi Jepang. 3. Perusahaan Listrik Kyushu 4. Perusahaan Itochu 5. Ormat Technologies, Inc.
11	Ulumbu–NTT	Ulumbu	PT PLN (Persero)	Tidak ada
12	Muara Laboh–Sumatera Barat	Liki Pinangawan, Muara Laboh	PT Supreme Energy	Para pendiri memiliki latar belakang di Pertamina dan Total E&P.
13	Rantau Dedap–Sumatera Selatan	Rantau Dedap		
14	Sorik Marapi, Sumatera Utara	Sorik Marapi–Roburan–Sampuraga	PT Sorik Marapi Geothermal Power	Pemegang saham utama adalah PT Supraco Inondeisa, anggota Radiant Group, sebuah perusahaan jasa minyak dan gas.
15	Sokoria, NTT	Sokoria	PT Sokoria Geothermal Indonesia	Pemegang saham minornya adalah Bakrie Power, anggota Grup Bakrie
16	Mataloko, NTT	Mataloko	PT PLN (Persero)	Tidak ada
17	Blawan Ijen, East Java	Ijen	PT Medco Cahaya Geothermal	Anak perusahaan PT Medco Power, 25 dimiliki oleh Medco Energi, sebuah perusahaan energi dengan akar di bidang minyak dan gas.

Gambar 5.6: Pengembang panas bumi utama di Indonesia dan keterkaitannya dengan perusahaan induk atau anak perusahaan minyak dan gas. Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024). *Laporan kinerja Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Tahun 2024*. Pemerintah Indonesia.



MASUKKAN DALAM KOTAK

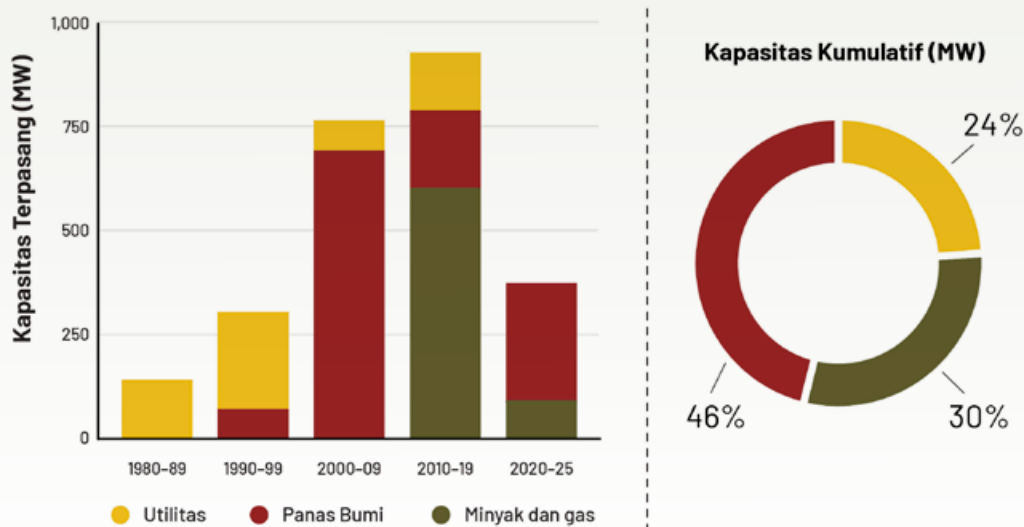
Pada tahun 1974, Survei Vulkanologi Indonesia menyelesaikan inventarisasi panas bumi selama lima tahun di Sumatra, Sulawesi, dan Kepulauan Halmahera.²⁰ Pada saat itu, sebuah dekret dikeluarkan untuk menginstruksikan perusahaan minyak milik negara, Pertamina, untuk mengambil peran utama dalam pengembangan energi panas bumi di Indonesia. Dengan bantuan sebesar NZ\$25 juta dari Pemerintah Selandia Baru, pengeboran eksplorasi dalam dilakukan di Darajat dan Kamojang di tahun yang sama. Hal ini akan meletakkan dasar bagi rencana pengembangan lima tahun ke depan, secara resmi mengurangi ketergantungan pada minyak dalam konsumsi secara keseluruhan serta meningkatkan eksplorasi sumber daya energi terbarukan.²¹

Pada tahun 1980-an, pemerintah meningkatkan upayanya untuk mengeksplorasi penggunaan panas bumi, khususnya di sektor kelistrikan. Pada tahun 1981, dekret presiden lainnya mengizinkan Pertamina untuk melakukan usaha patungan dengan mitra lokal dan internasional untuk lebih mengembangkan panas bumi. Beberapa mitra mulai melakukan kegiatan pengeboran eksplorasi dan eksploitasi secara detail, memberikan beberapa rekomendasi untuk pembangunan pembangkit listrik,²² yang akhirnya mengarah pada pengoperasian pembangkit listrik di Darajat dan Kamojang masing-masing pada tahun 1983 dan 1991.^{23,24}

Saat ini, perusahaan minyak dan gas mengoperasikan, dalam hal kapasitas pembangkitan, 15% dari pembangkit listrik panas bumi global;²⁵ operator lainnya adalah pengembang panas bumi atau perusahaan utilitas energi. Perusahaan utilitas memegang pangsa yang lebih tinggi yaitu 62%. Di Indonesia, 46,4% pembangkit listrik panas bumi dimiliki oleh pengembang panas bumi dan produsen listrik independen Star Geothermal Energy, KS Orka, Supreme Energy, dan Geo Dipa Energi. Perusahaan minyak dan gas Pertamina (melalui anak perusahaan Pertamina Geothermal Energy) dan Medco Energi (melalui anak perusahaan Medco Power Indonesia) memiliki lebih dari 30% aset panas bumi nasional. (Anak perusahaan Medco membentuk usaha patungan dengan Ormat Technology Inc., yang dikenal sebagai Medco Cahaya Geothermal.) Medco baru-baru ini mencapai tanggal operasi komersial untuk pembangkit listrik panas bumi 35 megawatt di Blawan Ijen, Jawa Timur.²⁶ Perusahaan utilitas (PLN) dan salah satu anak perusahaannya mengoperasikan 23,5% (lihat **Gambar 5.7**).²⁷

Kepemilikan pembangkit listrik panas bumi oleh industri migas yang relatif kecil menghadirkan sebuah peluang.²⁸ Tidak hanya itu, sebanyak 80% dari persyaratan untuk proyek panas bumi melibatkan kapasitas dan keterampilan yang serupa dengan yang ada di industri migas. (Lihat **Gambar 5.1** untuk melihat tumpang tindih keahlian antara industri migas dan pengembangan panas bumi).

KEPEMILIKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI DI INDONESIA



Gambar 5.7: Distribusi kepemilikan di antara entitas publik, panas bumi, dan minyak & gas yang mengoperasikan pembangkit listrik panas bumi di Indonesia. Sumber: Disiapkan oleh IESR menggunakan data dari Global Energy Monitor. (2025). [Global Geothermal Power Tracker](#); profil perusahaan untuk Geo Dipa Energi, Pertamina Geothermal Energy, PLN dan anak perusahaannya, Sarulla Operation, Star Geothermal Energy, dan Supreme Energy; Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi. (tanpa tanggal). [GENESIS: Geothermal Energy Information System/](#).



berasal dari atau tetap terhubung dengan ekosistem minyak dan gas Indonesia.

Selain pemain domestik, penyedia jasa global di bidang perminyakan yang sudah mapan di Indonesia juga mulai terjun ke bidang panas bumi. Keterlibatan internasional ini tidak hanya menawarkan peluang transfer teknologi dan pengetahuan, tetapi juga meningkatkan persaingan untuk mendapatkan tenaga kerja lokal yang terampil, yang semakin mendesak kesiapan tenaga kerja nasional. Halliburton dan Schlumberger (sekarang SLB) sama-sama memperluas bisnis mereka ke bidang panas bumi. SLB mengakuisisi GeothermEx pada tahun 2010 khusus untuk fokus pada konsultasi panas bumi dan rekayasa reservoir. Perusahaan multinasional lain yang biasanya mendukung sektor migas berada pada tahap awal keterlibatan di bidang panas bumi di Indonesia. Viridien (sebelumnya CGG) mendukung PGE dari kantornya di Eropa dan sedang menunggu kejelasan regulasi lebih lanjut untuk memperluas kehadirannya di Indonesia. Cegal (Norwegia), National Energy Services Reunited (Timur Tengah), dan Repsol (Spanyol) juga memantau perkembangan dan mempersiapkan strategi masuk pasar panas bumi di Indonesia. Hubungan internasional yang muncul ini memposisikan Indonesia untuk menjadi pusat regional bagi pengembangan teknologi dan tenaga kerja panas bumi.

KESENJANGAN PENGETAHUAN DAN KETERAMPILAN

Eksplorasi dan Karakterisasi Sumber Daya

Memahami kompetensi teknis yang saling tumpang tindih sangat penting untuk merancang program pelatihan ulang yang tepat sasaran. Baik industri migas maupun industri panas bumi membutuhkan data bawah permukaan multi-sumber untuk memodelkan dan memprediksi kondisi geologi. Selama beberapa dekade, industri migas telah mengumpulkan data tersebut (misalnya, seismik, log sumur, dan sampel inti).²⁹ Dengan mengadopsi kerangka kerja yang berpusat pada data yang sama yang memanfaatkan alat, data, dan keahlian bersama, sektor panas bumi dapat menghilangkan risiko dari penilaian sumber daya dan penargetan lokasi sumur.³⁰ Industri panas bumi juga mengembangkan kumpulan data dan model bawah permukaan beresolusi tinggi untuk memandu pengembangan sumber daya yang ekonomis dan operasi pembangkit.³¹ Namun, untuk memungkinkan ekspansi

panas bumi generasi baru, Indonesia membutuhkan basis data bawah permukaan yang jauh lebih luas dan mudah diakses untuk memandu investasi dan pergeseran teknologi; Pusat Data dan Informasi ESDM³² dapat memainkan peran ini.

Saat ini, data panas bumi Indonesia sulit diakses karena dikendalikan oleh negara, terfragmentasi di berbagai lembaga, dibatasi secara hukum, dan kurang terdigitalisasi. Meningkatkan aksesibilitas data akan sangat penting untuk mengembangkan sektor ini. Pembagian data semakin dibatasi oleh ketentuan kerahasiaan dan kepemilikan yang terfragmentasi di antara ESDM, SKK Migas, dan lembaga penelitian, yang menunjukkan perlunya kerja sama antar lembaga untuk menstandarisasi akses dan pelaporan. Publikasi sistematis data pengeboran dan kinerja dari program pemerintah serta program percontohan akan mempercepat replikasi, mengurangi risiko eksplorasi, dan membangun fondasi teknis untuk sistem panas bumi canggih (lihat Bab 7, "Mengubah Potensi Menjadi Energi: Cetak Biru Kebijakan untuk Transformasi Panas Bumi Indonesia").

Pengeboran dan Penyelesaian Sumur

Baik industri migas maupun industri panas bumi menggunakan teknologi pengeboran dan penyelesaian sumur (*well completion*). Namun, untuk panas bumi konvensional, para engineer perlu mempelajari sistem vulkanologi, yang mungkin memerlukan pelatihan tambahan dalam memindahkan volume fluida yang lebih besar daripada di industri migas.³³ *Engineer* panas bumi juga terkadang harus bekerja pada suhu yang lebih tinggi (hingga 350°C) dan lingkungan yang lebih keras karena batuan beku.³⁴

Teknologi Stimulasi

Pada sistem panas bumi generasi baru, khususnya sistem panas bumi yang direkayasa secara khusus, teknologi stimulasi digunakan untuk menciptakan permeabilitas tambahan guna mengakses panas. Stimulasi reservoir panas bumi memiliki teknik yang sama dengan fraktur hidrolik, tetapi seringkali menargetkan pengaktifan kembali retakan alami daripada pembuatan retakan baru.³⁵ Tekanan operasi dan bahaya seismisitas yang diinduksi bergantung pada lokasi dan mekanisme,



dan meskipun tekanan dan risiko terkait lebih rendah daripada operasi lapangan minyak,³⁶ praktik terbaik yang dapat dilakukan adalah merancang permeabilitas sambil mengelola risiko seismik dengan menggunakan sistem pemantauan dan respons berbasis ambang batas yang telah ditetapkan.³⁷ Jenis teknologi ini membutuhkan pengembangan keterampilan tambahan, yang harus diperkenalkan di seluruh ESDM melalui Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, berkoordinasi dengan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi untuk menyelaraskan standar pelatihan akademik dan profesional.

Manajemen Operasi dan Risiko

Tenaga kerja di sektor migas memiliki pengalaman dalam pembiayaan dan manajemen risiko untuk pengembangan sumber daya bawah permukaan, serta hubungan yang sudah ada dengan investor yang memahami persyaratan pengembangan bawah permukaan. Memanfaatkan hubungan ini dapat memfasilitasi investasi sektor swasta tambahan dalam proyek-proyek panas bumi.³⁸

MENGEMBANGKAN TENAGA KERJA BARU: WAWANCARA DENGAN PARA PAKAR

Wawancara yang dilakukan PYC dengan para pakar pendidikan menyoroti cakupan kesenjangan kompetensi yang lebih luas bagi lulusan teknik perminyakan yang ingin beralih ke bidang panas bumi. Meskipun ada banyak keterampilan yang dapat ditransfer (misalnya, pengeboran, geomekanika), cakupan studi minyak dan gas lebih sempit daripada yang dibutuhkan oleh panas bumi (misalnya, pemodelan aliran panas, kimia panas bumi). Pengetahuan yang dibutuhkan di sektor energi panas bumi meliputi eksplorasi, eksploitasi, dan penggunaan hilir seperti pembangkitan listrik. Seiring dengan perluasan panas bumi di luar pembangkit listrik ke pemanasan dan pendinginan industri, pengetahuan yang dibutuhkan akan mencakup aplikasi suhu rendah dan menengah, integrasi sistem untuk manufaktur, dan teknologi panas bumi skala bangunan. **Gambar 5.1** mengilustrasikan bagaimana bidang keahlian lulusan baru atau engineer reservoir berpengalaman berkaitan dengan persyaratan untuk seorang engineer reservoir panas bumi.³⁹

PROGRAM TERKAIT PANAS BUMI DI UNIVERSITAS DI INDONESIA

TIDAK	Universitas	Program yang Ditawarkan	Rincian Program
1	Universitas Gadjah Mada	Pusat Penelitian Panas Bumi	<ul style="list-style-type: none"> Di bawah Departemen Teknik Geologi. Mendorong kolaborasi multidisiplin, khususnya para peneliti dari Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
		Konsentrasi Geoteknologi Panas Bumi untuk Mahasiswa Magister Teknik Geologi	Di bawah Departemen Teknik Geologi.
2	Universitas Indonesia	Kursus geologi panas bumi	Ditawarkan sebagai mata kuliah wajib bagi mahasiswa S1 tahun ketiga jurusan Geologi di bawah Departemen Geosains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3	Veteran UPN Yogyakarta	Kelompok Penelitian Eksplorasi Panas Bumi	Di bawah Departemen Teknik Geofisika.
4	Universitas Padjajaran	<ul style="list-style-type: none"> Kursus Eksplorasi Geokimia Panas Bumi Kursus Geologi Panas Bumi Indonesia Kursus Hidrogeokimia Panas Bumi 	Ditawarkan sebagai mata kuliah pilihan bagi mahasiswa magister Program Studi Teknik Geologi.
5	Universitas Pertamina	Konsentrasi Geofisika Energi Baru dan Terbarukan untuk Jurusan Teknik Geofisika	Di bawah Program Teknik Geofisika.

Gambar 5.8: Gambaran umum program gelar dan pelatihan terkait panas bumi di berbagai lembaga pendidikan tinggi di Indonesia.



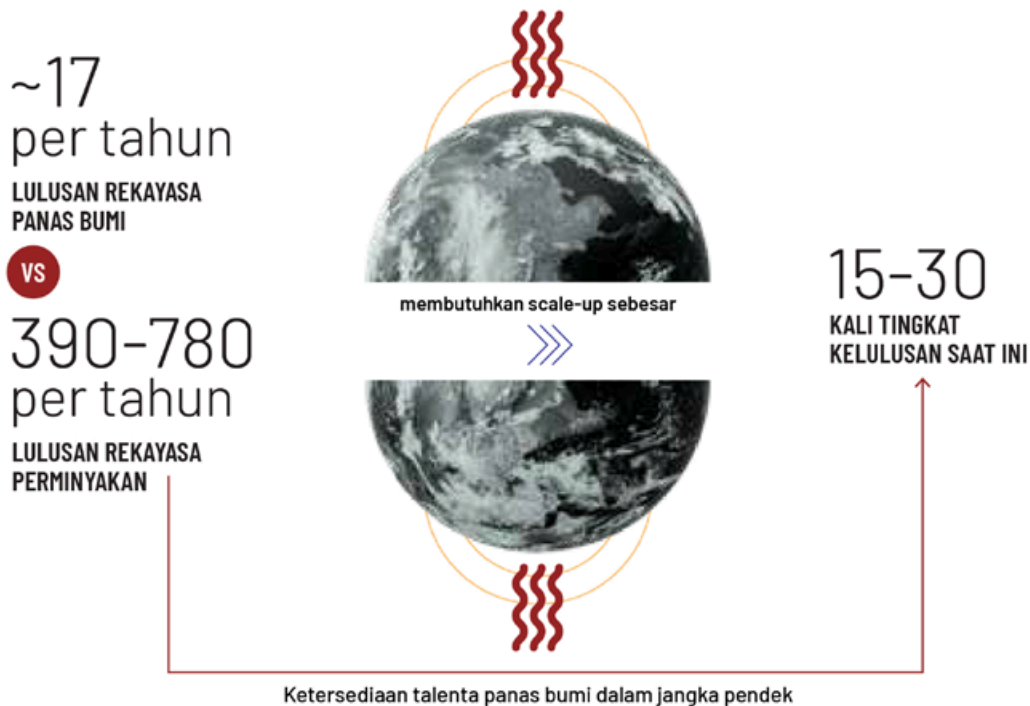
Saat ini, kurikulum akademik di Indonesia masih kekurangan mata kuliah dan pelatihan dalam keterampilan utama seperti mitigasi risiko, ekonomi proyek, dan manajemen proyek lintas fungsi—semua keterampilan vital dalam operasi panas bumi. Kesenjangan ini menyoroti kebutuhan modernisasi kurikulum di bawah agenda transformasi vokasi Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi⁴⁰ serta Peta Jalan Pengembangan Tenaga Kerja Hijau Bappenas.⁴¹ Para pelaku industri yang berpengalaman akan memiliki peran penting dalam memandu reformasi kurikulum, menawarkan platform pelatihan praktis, dan meningkatkan kesiapan kerja lulusan baru.

Saat ini Indonesia memiliki dua program pendidikan formal yang secara khusus berfokus pada Teknik Panas Bumi. Institut Teknologi Bandung (ITB) telah menawarkan program magister di bidang panas bumi sejak tahun 2008, menghasilkan total 288 lulusan, atau 12 orang per tahun. Sebagian besar alumni telah berhasil memasuki dunia kerja, dengan 36% bekerja di perusahaan pengembangan panas bumi dan 24% di industri terkait. Sebagian lainnya berkarir di bidang akademik dan instansi pemerintah atau

melanjutkan studi hingga tingkat doktoral.⁴² Program ITB juga menawarkan jalur cepat bagi mahasiswa S1 Teknik Perminyakan yang ingin belajar di program magister panas bumi dengan menyediakan mata kuliah pengantar terkait topik panas bumi di tahun ketiga. ITB juga menyediakan pelatihan kerja sama dengan perusahaan panas bumi Indonesia seperti Geo Dipa Energi dan PLN untuk meningkatkan keterampilan karyawan. Program kedua telah ditawarkan sejak tahun 2012 oleh Universitas Indonesia, di mana mahasiswa dapat mengikuti program magister di bidang eksplorasi panas bumi. Universitas-universitas lain di Indonesia hanya menawarkan mata kuliah pilihan di bidang panas bumi atau menyediakan sumber daya melalui pusat penelitian, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5.8**.

Sebaliknya, setidaknya 13 universitas di seluruh Indonesia menawarkan program teknik perminyakan.⁴³ Setiap universitas menghasilkan sekitar 30 hingga 60 lulusan, yang berarti setiap tahun sekitar 390 hingga 780 lulusan baru mencari pekerjaan di industri migas—23 hingga 46 kali lebih banyak daripada di sektor panas bumi. Banyak

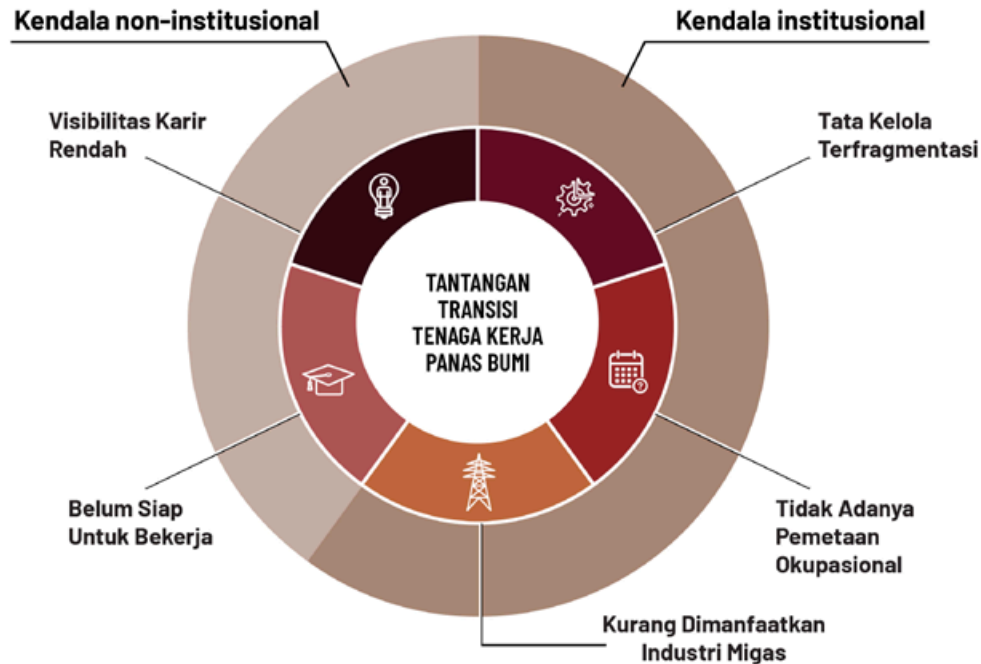
KESENJANGAN ANTARA PASOKAN LULUSAN PANAS BUMI DAN PERMINTAAN INDUSTRI



Gambar 5.9: Perbandingan proyeksi kebutuhan tenaga kerja panas bumi dan jumlah lulusan saat ini, menyoroti kekurangan pasokan tenaga kerja terampil. Sumber: perhitungan penulis.



HAMBATAN UNTUK PENGEMBANGAN TENAGA KERJA PANAS BUMI DARI SEKTOR MINYAK DAN GAS



Gambar 5.10: Hambatan institusional dan non-institusional utama yang memengaruhi transfer keterampilan tenaga kerja dari sektor migas ke pengembangan panas bumi. Sumber: penulis.

dari lulusan ini memiliki kompetensi yang juga dibutuhkan untuk pekerjaan di sektor panas bumi, khususnya di bidang teknik bawah permukaan, pengeboran, dan manajemen reservoir. Memanfaatkan jalur pendidikan perminyakan untuk memenuhi kebutuhan tenaga kerja di sektor panas bumi akan membantu mendiversifikasi prospek karir lulusan dan mempercepat perluasan sumber daya manusia di sektor panas bumi.

Menurut ESDM, pembangkit listrik panas bumi yang saat ini beroperasi di seluruh negeri mempekerjakan lebih dari 5.200 pekerja langsung dan sekitar 870.000 pekerja tidak langsung.⁴⁴ Rencana pengembangan panas bumi yang ada memproyeksikan kebutuhan tenaga kerja mulai dari 4.000⁴⁵ hingga 42.000⁴⁶ pekerja langsung pada tahun 2060 untuk memenuhi target kebijakan nasional. (Lihat Bab 2, “Menggerakkan Transisi: Pasar dan Peluang Panas Bumi Indonesia” untuk informasi lebih lanjut tentang target nasional.) Untuk memenuhi target yang lebih rendah, lembaga pendidikan tinggi Indonesia perlu menghasilkan 6 hingga 7 kali lipat jumlah lulusan berkualitas saat ini—antara sekitar 115 dan 120 lulusan per tahun, naik dari 17 lulusan saat ini. Menghasilkan 42.000 pekerja bersertifikasi panas bumi akan membutuhkan 15 hingga 30 kali lipat jumlah lulusan saat ini (Gambar 5.9).

Peningkatan skala ke tingkat ini tidak hanya membutuhkan perluasan program akademik tetapi juga sistem akreditasi yang kuat, jalur sertifikasi, dan keselarasan industri yang lebih erat untuk memastikan bahwa hasil pelatihan sesuai dengan kebutuhan tenaga kerja. Dengan perubahan pada program sertifikasi, banyak dari pekerjaan ini berpotensi diisi oleh pekerja di sektor migas.

HAMBATAN DALAM PENGEMBANGAN TENAGA KERJA DI BIDANG PANAS BUMI

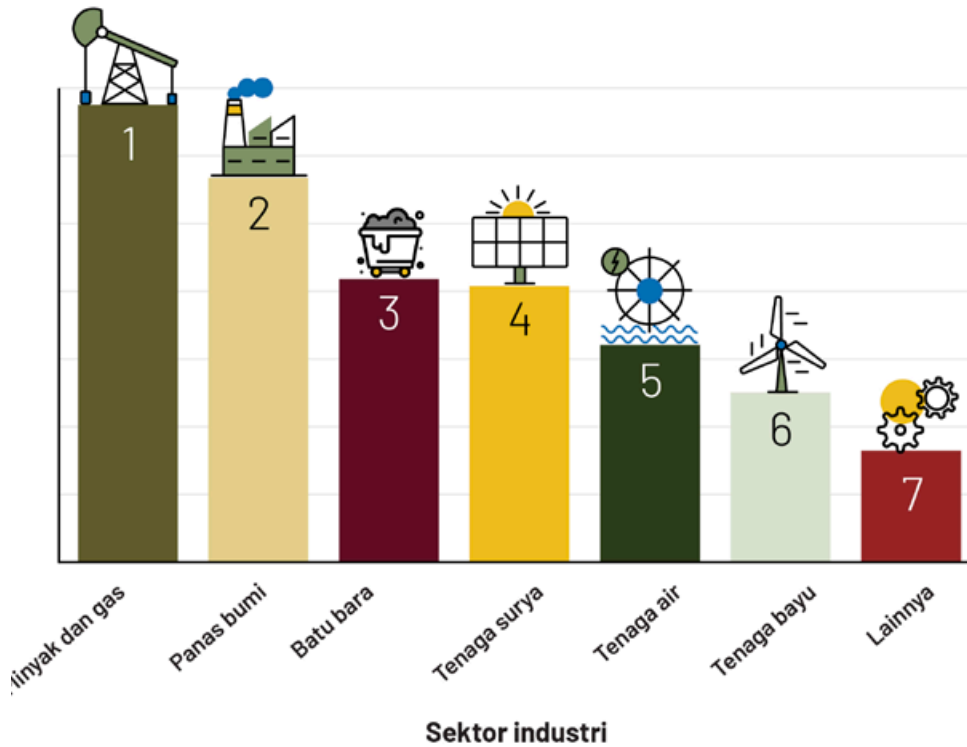
Indonesia memang menghadapi hambatan dalam mengembangkan tenaga kerja panas bumi yang kuat dan responsif, khususnya dalam konteks transisi tenaga kerja dan keahlian dari sektor migas. Hambatan-hambatan ini dikategorikan menjadi kendala kelembagaan dan non-kelembagaan (**Gambar 5.10**).

Jalur Karier yang Tidak Dikenal dan Kurang Terpilih

Dalam wawancara dan survei PYC, para pemberi kerja di sektor panas bumi Indonesia secara konsisten melaporkan bahwa lulusan baru kurang memiliki keterampilan interdisipliner dan kesiapan lapangan yang



PERINGKAT SEKTOR INDUSTRI YANG DIMINATI LULUSAN BARU



Gambar 5.11: Peringkat preferensi sektor industri berdasarkan survei di kalangan lulusan baru Indonesia. Sumber: penulis.

dibutuhkan untuk lingkungan proyek yang kompleks. Pelatihan cenderung sempit dan teoritis, menawarkan paparan minimal terhadap ekonomi, proses perizinan, dan keterlibatan pemangku kepentingan. Akibatnya, lulusan sering kesulitan saat memasuki dunia kerja.

Meskipun Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar, sektor ini masih relatif kurang dikenal dan diremehkan di kalangan mahasiswa dan profesional muda. Panas bumi sering dianggap memiliki keterbatasan teknis dan kurang menguntungkan dibandingkan minyak dan gas. Masalah-masalah ini menghambat kemampuan sektor ini untuk bersaing memperebutkan lulusan terbaik. Penyertaan modul panas bumi dalam program penyuluhan universitas, beasiswa yang didukung pemerintah atau industri, dan penempatan kerja dapat membantu mengatasi persepsi ini.

Survei PYC menemukan bahwa terlepas dari keterampilan yang dapat ditransfer, 84% responden lebih memilih minyak dan gas sebagai pilihan karir pertama mereka; hanya 7% yang memilih panas bumi sebagai pilihan utama mereka. Panas bumi dipilih sebagai jalur pilihan kedua oleh 66% responden (lihat **Gambar 5.11**). Hampir 63% lulusan menempatkan gaji dan tunjangan yang menarik

sebagai prioritas utama mereka dalam pengambilan keputusan karir, memperkuat persepsi bahwa industri migas menawarkan imbalan finansial yang lebih unggul. Sebaliknya, pertimbangan sosial dan lingkungan menempati peringkat terendah di antara faktor-faktor yang memengaruhi pilihan karir responden, menyoroti kesenjangan nilai yang terus-menerus yang dapat menghambat minat pada karir energi bersih.

Untuk menyelaraskan pengembangan tenaga kerja di bidang panas bumi dengan target kapasitas nasional, Indonesia harus meningkatkan dan mendiversifikasi jalur pendidikan panas bumi, termasuk mendirikan program gelar baru, mengintegrasikan konten panas bumi ke dalam disiplin ilmu terkait, dan memperluas program kejuruan dan diploma di seluruh rantai nilai panas bumi.

Selama wawancara yang dilakukan PYC, seorang konsultan panas bumi menyebutkan bahwa mereka menawarkan pelatihan untuk mengisi "kesenjangan kompetensi" bagi para profesional yang ingin beralih karier ke bidang panas bumi. Kursus-kursus tersebut berkisar dari tingkat pemula hingga mahir dan mencakup keterampilan teknis seperti pengelolaan sumur dan keterampilan non-teknis seperti manajemen proyek dan aspek ekonomi.



Tata Kelola yang Terfragmentasi dan Koordinasi Kelembagaan yang Lemah

Seperti yang dijelaskan sebelumnya dalam bab ini, perencanaan tenaga kerja Indonesia untuk sektor panas bumi masih terfragmentasi secara kelembagaan. Mandat Bappenas (perencanaan); ESDM (kebijakan sektoral); Kemenaker (pengembangan tenaga kerja); dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (pendidikan dan pelatihan) tidak selaras di bawah kerangka kerja operasional yang sama, yang membuat perumusan kebijakan, pendanaan, desain kurikulum, dan pelatihan sulit dilaksanakan. Indonesia akan mendapat manfaat dari mempelajari bagaimana negara-negara seperti Selandia Baru dan India bekerja lintas kementerian dan menyelaraskan pengembangan keterampilan dengan tujuan transisi energi nasional.⁴⁷

Tidak Adanya Pemetaan Okupasi Komprehensif untuk Transisi Geotermal

Tanpa taksonomi yang jelas tentang pekerjaan yang muncul, kompetensi yang dibutuhkan, dan hasil pembelajaran, lembaga-lembaga seperti Kementerian Tenaga Kerja dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi tidak dapat merancang program yang koheren untuk meningkatkan tingkat keterampilan yang dibutuhkan untuk angkatan kerja atau mengembangkan strategi kurikulum. Kurangnya pemetaan pekerjaan juga membatasi keselarasan sektor swasta dengan rencana pengembangan sumber daya manusia nasional. Pengalaman internasional seperti platform European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO) Uni Eropa.⁴⁸ Dewan Keterampilan untuk Pekerjaan Ramah Lingkungan di India⁴⁹ menggambarkan

PEMETAAN REKOMENDASI UNTUK MASING-MASING HAMBATAN

Rekomendasi			Hambatan				
			Tata Kelola Terfragmentasi	Tidak Adanya Pemetaan Okupasional	Kurang Dimanfaatkan Industri Migas	Belum Siap untuk Bekerja	Visibilitas Karir Rendah
Menyiapkan Fondasi Kelembagaan dan Strategis	Rekomendasi #1	Pementuan Satuan Tugas Transisi Tenaga Kerja Energi	✓	✓	✓	✓	✓
	Rekomendasi #2	Pengembangan Kerangka Program Bridging dan Sertifikasi Cepat untuk Profesional Migas	✓	✓	✓	✓	✓
Implementasi Program dan Pengembangan Sistem	Rekomendasi #3	Pelembagaan Peta Okupasional Panas Bumi dan SKKNI	✓	✓	✓	✓	✓
	Rekomendasi #4	Uji Coba Program Imersi Panas Bumi untuk Mahasiswa Tingkat Akhir dan Lembaga Kejuruan	✓	✓	✓	✓	✓

Gambar 5.12: Kaitan antara kendala yang teridentifikasi dalam pengembangan tenaga kerja panas bumi dan rekomendasi strategis yang sesuai. Sumber: penulis.



bagaimana kerangka kerja pekerjaan yang terstruktur dapat memfasilitasi mobilitas tenaga kerja, standarisasi, dan desain kurikulum. Bagi Indonesia, pelajaran ini menekankan perlunya mengembangkan Peta Pekerjaan Panas Bumi Nasional di bawah SKKNI untuk menyatukan perencanaan tenaga kerja dan sertifikasi keterampilan di seluruh sektor panas bumi.

Kurang Dimanfaatkannya Industri Minyak dan Gas sebagai Mitra Transisi Tenaga Kerja

Meskipun terdapat tumpang tindih kompetensi yang kuat antara sektor migas dengan panas bumi, keahlian para profesional minyak dan gas masih kurang dimanfaatkan dalam transisi tenaga kerja di Indonesia. Mekanisme untuk mengenali dan mentransfer keterampilan ini ke proyek-proyek panas bumi masih terbatas, sehingga mengakibatkan hilangnya peluang untuk mempercepat alokasi tenaga kerja dan mengatasi kesenjangan kapasitas yang mendesak.

STRATEGI UNTUK MENGATASI HAMBATAN

Strategi dan rekomendasi berikut ini berfokus pada mekanisme praktis untuk mengatasi hambatan. Setiap strategi dipetakan ke kendala spesifik yang ditanganinya. Seiring Indonesia menyempurnakan kerangka pelatihan dan sertifikasinya, Indonesia harus merancang program yang mencerminkan spektrum penuh teknologi panas bumi—konvensional, generasi baru, dan penggunaan langsung—yang akan membantu mempersiapkan tenaga kerja tidak hanya untuk pembangkit listrik tetapi juga panas industri dan sistem pendinginan panas bumi (lihat **Gambar 5.12**).

Meletakkan Landasan Kelembagaan dan Strategis

Indonesia memiliki semua elemen yang diperlukan untuk membangun perekonomian yang dinamis. Tenaga kerja di bidang panas bumi dengan mekanisme kelembagaan yang kuat dan koherensi kebijakan. Empat rekomendasi berikut dapat membantu negara menjembatani sektor-sektor, memobilisasi pemangku kepentingan, dan menyampaikan program-program yang dapat berkembang.

#1: Membentuk Satuan Tugas Transisi Tenaga Kerja Energi.

Satuan Tugas Transisi Tenaga Kerja Energi (Satgas TTKE) harus diformalkan melalui instruksi presiden untuk memastikan mandat lintas kementerian yang kuat, penyaluran sumber daya, dan keberlanjutan kebijakan. Satgas ini akan dikoordinasikan oleh Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia di Kementerian Energi dan Sumber Daya Manusia (ESDM), yang bertindak sebagai sekretariat, dengan anggota dari Kementerian Tenaga Kerja (Kemenaker); Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi; Bappenas; Badan Nasional Sertifikasi Profesi; dan asosiasi industri.

Mandat satgas ini akan mencakup proyeksi tenaga kerja, pemetaan pekerjaan, pelatihan, dan perancangan sertifikasi. Melalui platform koordinasi terpadu, Satgas TTKE akan menjembatani tata kelola yang terfragmentasi dalam perencanaan tenaga kerja, menyelaraskan kebutuhan pendidikan dan industri, serta memandu pengembangan standar pekerjaan transisi energi panas bumi dan energi yang lebih luas untuk meningkatkan kesiapan kerja lulusan dan ketahanan tenaga kerja sektoral.

#2: Mengembangkan Kerangka Program Penghubung dan Sertifikasi Jalur Cepat untuk Para Profesional Minyak dan Gas.

Kerangka kerja terstruktur untuk menghubungkan industri-industri tersebut harus secara formal mengakui kompetensi minyak dan gas yang relevan dengan panas bumi. Pengembangan kerangka kerja ini akan dimulai dengan matriks kesetaraan yang memetakan peran pekerjaan minyak dan gas ke fungsi panas bumi, diikuti dengan pelatihan untuk menutup kesenjangan tersebut. Mengintegrasikan program ini ke dalam SKKNI dan menggunakan Pengakuan Pembelajaran Sebelumnya di bawah Badan Nasional untuk Sertifikasi Profesional sebagai mekanisme untuk memvalidasi kompetensi yang ada akan memungkinkan para profesional minyak dan gas saat ini untuk melakukan transisi secara efisien.

Selain itu, pengembangan program sertifikasi jalur cepat akan memvalidasi keterampilan yang dimiliki para profesional minyak dan gas terhadap standar SKKNI



panas bumi. Penyusunan jalur untuk menjembatani kesenjangan keterampilan dapat menutup celah kecil, dengan sertifikasi yang terkait dengan jalur perekrutan langsung. Proses ini menciptakan mekanisme formal untuk menyerap pekerja terampil ke sektor panas bumi dan membantu memastikan negara memiliki tenaga kerja yang dibutuhkan untuk memenuhi pertumbuhan besar dalam energi, pemanasan, dan pendinginan panas bumi.

Tindakan-tindakan ini akan memastikan bahwa pengalaman puluhan tahun dalam eksplorasi bawah permukaan, pengeboran, dan manajemen proyek digunakan untuk energi panas bumi. Tindakan ini juga akan meningkatkan visibilitas karier di bidang panas bumi dengan menunjukkan jalur yang jelas dan terstruktur bagi para profesional minyak dan gas untuk memasuki sektor ini, sehingga menjadikan panas bumi sebagai pilihan karier yang lebih menarik.

Implementasi Program dan Pembangunan Sistem

Setelah fondasi kelembagaan terbentuk, langkah selanjutnya adalah memperluas program dan sistem yang memastikan kesiapan tenaga kerja jangka panjang.

#3: Melembagakan Peta Pekerjaan Panas Bumi dan SKKNI.

Peta pekerjaan geotermal nasional harus mendefinisikan kelompok pekerjaan di seluruh siklus hidup proyek dan menerjemahkannya ke dalam dokumen SKKNI formal. Langkah ini akan memberikan kejelasan tentang keterampilan yang dibutuhkan sekaligus menetapkan standar bersama di seluruh kementerian dan lembaga pelatihan. Selain itu, hal ini akan memperkuat kesiapan kerja lulusan, karena kurikulum dan sertifikasi akan secara langsung terkait dengan hasil pekerjaan yang telah ditentukan dan diakui oleh pemerintah dan industri.

#4: Program Percontohan Pendalaman Panas Bumi untuk Mahasiswa Tingkat Akhir dan Lembaga Vokasi.

Lokasi proyek panas bumi dan kementerian serta lembaga terkait harus mengembangkan program magang selama tiga hingga enam bulan di lokasi proyek panas bumi bagi mahasiswa tingkat akhir, yang akan memberikan pengalaman praktis dan bimbingan dalam eksplorasi, pengeboran, pengujian

reservoir, dan operasi. Program ini akan memastikan bahwa pengetahuan teoretis dilengkapi dengan keterampilan dunia nyata. Rekomendasi ini juga menanggapi rendahnya visibilitas dan daya tarik karier di bidang panas bumi, karena keterlibatan langsung dengan proyek-proyek aktif akan menunjukkan relevansi panas bumi, potensi karier, dan kontribusinya terhadap transisi energi Indonesia.

KESIMPULAN

Potensi panas bumi Indonesia tidak hanya menawarkan jalur menuju pembangkitan energi rendah karbon, tetapi juga peluang berharga untuk menyerap dan mengerahkan kembali talenta dari sektor bahan bakar fosil yang sedang menurun. Keselarasan ini memastikan bahwa pertumbuhan energi Indonesia bebas karbon, adil secara sosial, dan menjamin lapangan kerja. Dengan negara yang menghadapi pergeseran struktural dalam lanskap energi global, membangun tenaga kerja panas bumi yang terampil dan responsif sangat penting untuk memastikan transisi energi yang inklusif dan adil.

Indonesia menempati posisi unik untuk mengejar transisi tenaga kerja yang berpusat pada panas bumi: Indonesia memiliki sumber daya dan tenaga kerja. Mulai dari eksplorasi dan pengeboran hingga pengelolaan reservoir dan operasi pembangkit, banyak fungsi teknis di sektor migas serta panas bumi di Indonesia tidak hanya analog tetapi seringkali dapat dipertukarkan, dengan beberapa pelatihan yang ditargetkan. Selain itu, warisan kelembagaan dalam pendidikan, pelatihan, dan keahlian industri—terutama di perusahaan milik negara dan perusahaan afiliasi minyak dan gas—dapat berfungsi sebagai aset berharga untuk mempercepat kesiapan tenaga kerja di bidang panas bumi.

Transisi ini harus mencakup semua solusi panas bumi. Pemanfaatan panas secara langsung, aplikasi industri, dan pendinginan panas bumi dapat melipatgandakan manfaat pembangkit listrik dan menciptakan sistem energi terpadu yang tangguh yang mendukung tujuan dekarbonisasi dan efisiensi Indonesia yang lebih luas. Mengintegrasikan aplikasi generasi baru dan aplikasi termal ini ke dalam pelatihan, kebijakan, dan perencanaan investasi akan memastikan Indonesia memanfaatkan sepenuhnya potensi ekonomi dan lapangan kerja dari energi panas bumi. Dengan pelatihan



dan sertifikasi yang tepat, pertumbuhan panas bumi dapat menopang lebih dari 600.000 lapangan kerja terampil yang berkelanjutan di seluruh Indonesia.

Namun, kemajuan berjalan lambat karena beberapa hambatan yang tidak kunjung usai. Secara institusional, ekosistem pengembangan tenaga kerja Indonesia masih terfragmentasi. Kementerian yang bertanggung jawab untuk perencanaan (Bappenas), kebijakan sektoral (ESDM), pelatihan dan sertifikasi (Kementerian Tenaga Kerja dan Badan Nasional Sertifikasi Profesi), serta pendidikan (Kementerian Pendidikan Tinggi, Ilmu Pengetahuan dan Teknologi) beroperasi di bawah mandat yang terpisah, dengan koordinasi yang terbatas, sehingga meninggalkan kesenjangan dalam proyeksi tenaga kerja, standarisasi pekerjaan, dan implementasi program. Pembentukan platform terkoordinasi seperti Satuan Tugas Transisi Tenaga Kerja Energi akan membantu menyelaraskan mandat, anggaran, dan sistem pemantauan di seluruh kementerian. Pada saat yang sama, sebagian besar kompetensi khusus panas bumi masih kurang terdefinisi dengan baik dalam peta pekerjaan nasional dan SKKNI, yang menghambat pengembangan kurikulum dan membatasi penyelarasan di seluruh lembaga akademik dan kejuruan.

Rekomendasi yang ditawarkan dalam bab ini dapat menjadi landasan program transisi tenaga kerja nasional yang dapat diintegrasikan ke dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Indonesia, Rencana Umum Energi Nasional, dan agenda transisi yang adil.

Yang dibutuhkan Indonesia saat ini adalah kemauan politik, keselarasan kelembagaan, dan investasi untuk menghubungkan aset-aset ini dengan masa depan energi bersih nasional. Jika diimplementasikan secara tegas, pendekatan ini dapat menjadikan Indonesia pemimpin regional dalam transformasi tenaga kerja hijau pada tahun 2035. Dengan mengambil langkah-langkah ini, Indonesia dapat memastikan bahwa transisi energinya tidak hanya layak secara teknologi dan ekonomi, tetapi juga inklusif secara sosial dan digerakkan oleh tenaga kerja.



REFERENSI

- 1 Antara News. (24 Oktober 2025). *Illuminating the future with geothermal power*. ANTARA News. <https://en.antaranews.com/news/387789/illuminating-the-future-with-geothermal-power>
- 2 Asosiasi Perminyakan Indonesia. (2017, 11 Januari). *Indonesia overview*. <https://www.ipa.or.id/en/about/indonesia-overview>
- 3 Satuan Tugas Khusus untuk Kegiatan Bisnis Hulu Minyak dan Gas (SKK Migas). (2023). *Laporan Tahunan 2023*. <https://www.skkmigas.go.id/publication?tab=laporan%20tahunan>
- 4 SKK Migas, 2023.
- 5 Badan Energi Internasional (IEA). (2025). *Pekerjaan di sektor energi dunia 2024*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d2b4b054-4a55-4c6f-893f-fc2c8b77e9a1/WorldEnergyEmployment2024.pdf>
- 6 Saha, D., Walls, G., Waskow, D., & Lazer, L. (2023). *Transisi yang adil di sektor minyak dan gas: Pertimbangan untuk mengatasi dampak pada pekerja dan masyarakat di negara-negara berpenghasilan menengah*. World Resources Institute. <https://doi.org/10.46830/wriwp.21.00040>
- 7 PwC. (2015). *Tantangan untuk era baru: Survei investor industri minyak dan gas Indonesia*. <https://www.pwc.com/id/en/publications/assets/eumpublications/oilandgas/oil-and-gas-survey-2015.pdf>
- 8 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2012, 8 Juni). *Kembangkan Panas Bumi, Indonesia Memerlukan 3.000 Operator Terlatih dan 1.000 Orang Tenaga Pakar* <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kembangkan-panas-bumi-indonesia-memerlukan-3000-operator-terlatih-dan-1000-orang-tenaga-pakar>
- 9 PLN. (2025). *Rencana bisnis penyediaan listrik PLN (2025-2034): Meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan energi nasional*. Pemerintah Indonesia. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/b967d-ruptl-pln-2025-2034-pub-.pdf
- 10 Halimatussadiyah, A., Irhamni, M., Riefky, T., Nur Ghiffari, M., & Razak Afifi, FA (2024). *Dampak transisi energi terhadap lapangan kerja di Indonesia*. Lembaga Penelitian Ekonomi dan Sosial Universitas Indonesia. <https://en.lpem.org/employment-impacts-of-energy-transition-in-indonesia/>
- 11 Halimatussadiyah dkk., 2024.
- 12 Halimatussadiyah dkk., 2024.
- 13 Douglas, J., Stuart, C., & Dwi Yudha, H. (2021). Supporting sustainability in the Indonesian geothermal sector through new training methods for technicians and operators. In *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*. Reykjavik, Iceland. <https://www.worldgeothermal.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/09005.pdf>
- 14 Bappenas. (nd). *Indonesia Emas 2045: Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2025-2045*. Pemerintah Indonesia. <https://indonesia2045.go.id/>
- 15 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. (2025, 12 Agustus). *Pekerjaan hijau: Peluang dan tantangan dalam mewujudkan ekonomi berkelanjutan di Indonesia*. Kementerian Pendidikan Tinggi, Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. <https://lldikti5.kemdikbud.go.id/home/detailpost/green-jobs-peluang-dan-tantangan-dalam-mewujudkan-ekonomi-berkelanjutan-di-indonesia#:~:text=salah%20satu%20kunci%20untuk%20mengubah,tercipta%20sambil%20membantu%20menurunkan%20emisi>
- 16 Bappenas. (2025). *Peta Jalan Pengembangan Tenaga Kerja Ramah Lingkungan di Indonesia*. Pemerintah Indonesia. https://perpustakaan.bappenas.go.id/e-library/file_upload/koleksi/dokumenbappenas/konten/Dokumen%202025/Konten/02-06-2025%20Fin%20Peta%20Jalan%20Pengembangan%20Tenaga%20Kerja%20Hijau%20Indonesia%20%5BISBN%5D.pdf



- 17 Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2025, 25 Juli). *Peluncuran Peta Jalan Tenaga Kerja Spesialis untuk Transisi Energi Masa Depan Indonesia 2025–2060*. Pemerintah Indonesia. <https://bpsdm.esdm.go.id/posts/2025/07/25/peluncuran-roadmap-tenaga-kerja-spesialis-untuk-transisi-energi-masa-depan-indonesia-2025-2060/3944>; lihat juga Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2025). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 10 Tahun 2025 tentang Peta Jalan Transisi Energi Sektor Kelistrikan*. Pemerintah Indonesia. <https://jdih.esdm.go.id/dokumen/download?id=2025pmesdm10.pdf>
- 18 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. (2025). *Dokumen kebijakan tentang pengembangan modal manusia dalam kerangka transisi energi menuju emisi nol bersih 2060*. Pemerintah Indonesia. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/buka-hcs-2025-menteri-bahlil-instrumen-penyiapan-sdm-terbaik-sektor-esdm>
- 19 Schulz, R., & Livescu, S. (2023). Chapter 5: The oil and gas industry role: Technology transfer, development, acceleration, and scale. In J. C. Beard & B. A. Jones (Eds.), *The future of geothermal in Texas: The coming century of growth and prosperity in the Lone Star State*. Project InnerSpace & Energy Institute, University of Texas at Austin. <https://doi.org/10.26153/tsw/44081>
- 20 Hochstein, MP, & Sudarman, S. (2008). *History of geothermal exploration in Indonesia from 1970 to 2000*. *Geothermics*, 37(3), 220–266. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2008.01.001>
- 21 Radja, VT (2000). Indonesian geothermal development in the national energy scenario. Development program to the year 2000. *Geothermics*, 15(5–6), 597–600. [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(86\)90069-6](https://doi.org/10.1016/0375-6505(86)90069-6)
- 22 Alhusni, H., Satria, T., Perdana, P., Purwanto, EH, & Setyawan, H. (2023). Geothermal business outlook in Indonesia. In *Proceedings of the 48th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, CA, United States. <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/GeoConf/papers/SGW/2023/Habibi.pdf>
- 23 Radja, 2000.
- 24 Hochstein & Sudarman, 2008.
- 25 International Energy Agency (IEA). (2024). *The future of geothermal energy*. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-geothermal-energy>
- 26 Kekuatan MedcoEnergi. (nd). *Medco Cahaya Panas Bumi*. <https://medcopower.co.id/id/project/medco-cahaya-geotermal/>
- 27 Global Energy Monitor. (2025). *Pelacak tenaga panas bumi global*. <https://globalenergymonitor.org/projects/global-geothermal-power-tracker/>
- 28 Beard, J. C., & Jones, B. A. (Eds.). (2023). *The future of geothermal in Texas: The coming century of growth and prosperity in the Lone Star State*. Project InnerSpace & Energy Institute, University of Texas at Austin. <https://energy.utexas.edu/research/geothermal-texas>
- 29 Program Pelestarian Data Geologi dan Geofisika Nasional. (tanpa tanggal). *Mendigitalkan log sumur*. Survei Geologi AS. <https://www.usgs.gov/index.php/programs/national-geological-and-geophysical-data-preservation-program/digitizing-well-logs>
- 30 Badan Energi Internasional (IEA). (2024). Tinjauan sinergi antara industri minyak dan gas serta industri panas bumi. Dalam IEA, *Masa Depan Energi Panas Bumi*. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-geothermal-energy/overview-of-synergies-between-the-oil-and-gas-and-geothermal-industries>
- 31 Departemen Energi AS. (2024) https://negpa.org/wp-content/uploads/2024/08/LIFTOFF_DOE_NextGen_Geothermal_v14.pdf
- 32 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (tanpa tanggal). *Repositori data Migas*. <https://datamigas.esdm.go.id/home>
- 33 International Association of Drilling Contractors (IADC). (2025). *IADC geothermal well classification*. <https://iadc.org/wp-content/uploads/2025/02/IADC-Geothermal-Well-Classification-v1.pdf>
- 34 Vivas, C., Salehi, S., Tuttle, J. D., & Rickard, B. (2020). Challenges and opportunities of geothermal drilling for renewable energy generation. *GRC Transactions*, 44, 904–918. <https://publications.mygeoenergynow.org/grc/1034261.pdf>



- 35 McClure, M., & Horne, R. (2013). Is pure shear stimulation always the mechanism of stimulation in EGS? In *Proceedings of the Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, CA, United States. <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/2013/Mcclure.pdf>
- 36 Li, N., Xie, H., Hu, J., & Li, C. (2022). A critical review of the experimental and theoretical research on cyclic hydraulic fracturing for geothermal reservoir stimulation. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 8, 7. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40948-021-00309-7>
- 37 Majer, E., Nelson, J., Robertson-Tait, A., Savvy, J., & Wong, I. (2012). *Protocol for addressing induced seismicity associated with enhanced geothermal systems*. U.S. Department of Energy. https://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/geothermal_seismicity_protocol_012012.pdf
- 38 Richter, A. (2022, January 10). *ThinkGeoEnergy's top 10 geothermal countries 2021-installed power generation capacity (MWe)*. ThinkGeoEnergy. <https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2021-installed-power-generation-capacity-mwe/>
- 39 Okoroafor, E. R., Offor, C. P., & Prince, E. I. (2022). *Mapping relevant petroleum engineering skillsets for the transition to renewable energy and sustainable energy*. SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, Lagos, Nigeria. <https://doi.org/10.2118/212040-MS>
- 40 Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi. (2025, 16 Maret). *Universitas politeknik diusulkan sebagai arah baru transformasi politeknik*. <https://kemdiktisaintek.go.id/news/article/politeknik-university-diusulkan-jadi-arah-baru-transformasi-politeknik>
- 41 Bappenas, 2025.
- 42 Program Magister Panas Bumi. (tanpa tanggal). *Sejarah*. Institut Teknologi Bandung. <https://geothermal.itb.ac.id/background-2/>
- 43 Istid'raj, S. (2025, 14 April). *Daftar kampus dan jurusan teknik perminyakan di Indonesia*. *Pelatihan Vokasi (blog)*. <https://www.diklatkerja.com/blog/daftar-kampus-dan-jurusan-teknik-perminyakan-di-indonesia>
- 44 Bata, F. (2025, 3 Juli). *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengungkapkan energi panas bumi akan mempekerjakan 870.000 pekerja, mendorong perekonomian daerah*. Republik. <https://esgnow.republika.co.id/berita/sytfxc490/esdm-ungkap-energi-panas-bumi-serap-870-ribu-tenaga-kerja-dorong-ekonomi-daerah>
- 45 ESDM, 2012.
- 46 PLN, 2025.
- 47 International Energy Agency (IEA). (2023, August 2). *India's Skill Council for Green Jobs*. <https://www.iea.org/policies/17819-indias-skill-council-for-green-jobs>
- 48 European Commission. (n.d.). *What is ESCO?* <https://esco.ec.europa.eu/en/about-esco/what-esco>
- 49 IEA, 2023.

