



Green Jobs Outlook Menuju Indonesia Emas 2045

Peluang dan Kompetensi Masa Depan di Sektor Energi,
Pangan, Industri, dan Pengolahan Limbah



Green Jobs Outlook

Menuju Indonesia Emas 2045

Peluang dan Kompetensi Masa Depan di Sektor Energi, Pangan, Industri, dan Pengolahan Limbah



RMBooks

Green Jobs Outlook Menuju Indonesia Emas 2045

Peluang dan Kompetensi Masa Depan di Sektor Energi, Pangan, Industri, dan Pengolahan Limbah

© SRE dan Rakyat Merdeka SRE dan Rakyat Merdeka

Editor : Ratna Susilowati
Desain Sampul : Muhammad Iqbal Sugiharto
Tata Letak : Syah Rizal

Cetakan I : April 2024

Penerbit RM BOOKS

Anggota IKAPI

Graha Pena Jakarta, Lt. 8

Jln. Kebayoran Lama No.12 Jakarta Selatan 12210

Telp. 021-53651495 (Hunting), Fax. 021-53671716

Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014
Tentang Hak Cipta

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Dilarang mengutip, memperbanyak, dan menerjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Hak cipta dilindungi undang-undang
All Rights Reserved

Profil

SRE

Society of Renewable Energy (SRE) Indonesia adalah organisasi nirlaba yang bertujuan mendorong dan mendukung tercapainya target emisi nol karbon Indonesia lewat pemberdayaan generasi muda dan kolaborasi antar institusi. SRE sudah tersebar di 47 universitas di seluruh Indonesia dan memiliki lebih dari 4000 anggota. Pemberdayaan generasi muda yang dilakukan sudah berhasil melakukan pengurangan emisi karbon sebesar 153 ton CO₂eq per tahun, penulisan 5 publikasi, dan berkolaborasi dengan lebih dari 30 institusi, yang seluruhnya diinisiasi oleh generasi muda Indonesia.

www.sre.co.id



Rakyat Merdeka adalah surat kabar nasional Indonesia, yang pertama kali terbit di Jakarta, pada 22 April 1999. Dengan slogan The Political News Leader. Surat kabar ini telah diverifikasi dan mendapatkan sertifikat Dewan Pers, tertanggal 9 Februari 2017, dan dinyatakan memenuhi standar perusahaan pers dalam UU No 40 Tahun 1999 Tentang Pers.

Rakyat Merdeka dan versi digitalnya RM id memiliki perhatian yang kuat pada pengembangan dan pembangunan berkelanjutan. Sudah sering melakukan kolaborasi dengan banyak pihak yang mendukung kegiatan anak muda yang peduli dengan gerakan penanganan iklim dan pengembangan energi bersih. Kolaborasi juga Bahasa yang ditulis Rakyat Merdeka mudah dipahami, simpel dan spontan. Menjadi bacaan politisi, pemangku kebijakan di pusat dan daerah serta diplomat asing. Karena dinilai sebagai sumber referensi dan menjadi panduan politik nasional.

www.rm.id

Penafian

Publikasi dan materi yang tercantum di sini disediakan "sebagaimana adanya". Tindakan pencegahan telah dilakukan oleh pemegang hak cipta untuk memverifikasi kebenaran materi dalam publikasi ini. Namun, baik SRE maupun Rakyat Merdeka, termasuk staf, karyawan, maupun afliasinya, tidak menanggung tanggung jawab atau kewajiban atas konsekuensi penggunaan publikasi maupun materi yang ada dalam buku ini.

Para penulis yang terlibat atau SRE dan Rakyat Merdeka tidak memberikan pernyataan atau jaminan, baik yang tersurat maupun tersirat, mengenai keakuratan atau kelengkapan informasi dalam laporan ini dan tidak akan bertanggung jawab atas kerugian yang timbul dari penggunaannya.

Penyertaan perusahaan yang ditampilkan dalam laporan ini tidak menunjukkan dukungan dalam bentuk apa pun dari penulis laporan ini.

Seluruh informasi yang disajikan dapat berubah di kemudian hari. Dokumen ini disiapkan hanya untuk tujuan informasi dalam periode waktu yang terbatas dan untuk memberikan perspektif tentang pasar. Informasi proyeksi pasar dan keuangan, analisis, dan kesimpulan yang terkandung di dalamnya tidak boleh dianggap sebagai proyeksi atau jaminan kinerja atau hasil di masa depan yang pasti.

Informasi yang disajikan pada buku ini tidak serta merta mewakili pandangan seluruh anggota SRE maupun Rakyat Merdeka. Penyebutan perusahaan, organisasi, maupun proyek dalam buku ini bukan merupakan rekomendasi maupun dukungan dari SRE maupun Rakyat Merdeka.

© SRE dan Rakyat Merdeka, 2024

Keputusan dan Pengakuan

Buku *Green Jobs* menuju Indonesia Emas 2045 disusun oleh *Society of Renewable Energy* dan Rakyat Merdeka. Buku ini menjelaskan mengenai jumlah pekerjaan hijau yang dapat diraih di tahun 2045 melalui analisis internal SRE, dan dilengkapi dengan beberapa publikasi yang tersedia secara publik.

Buku ini diprakarsai dan disusun oleh Aufar Satria dan Zagy Yakana Berian (SRE), dibantu dengan Reiner Nathaniel Jabanto (SRE), Justine Kael Tanady, dan Leonardi Ryan Andika.

Bab 3 disediakan oleh Kelompok Kerja Energi, yang beranggotakan Bryan Eagan (SRE) beserta Juan Khosashi.

Bab 4 disediakan oleh Kelompok Kerja Agrikultur, yang beranggotakan Melvyn Kearney (SRE) beserta Claudia Suwardi.

Bab 5 disediakan oleh Kelompok Kerja Industri, yang beranggotakan Raffy Hakim Subekti dan Angelica Valerie (SRE) beserta Ryan Kendrick Hoatmodjo.

Bab 6 disediakan oleh Kelompok Kerja Limbah, yang beranggotakan Nala Amirah Putri (SRE) beserta Averey Sinclair.

Editor untuk finalisasi buku dilakukan oleh Ratna Susilowati (Rakyat Merdeka) serta desain grafis yang dilakukan oleh Andi Ridzky (SRE) dan tim RMBooks.

SRE dan Rakyat Merdeka ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan atas penulisan dan penyusunan buku ini.

Daftar Isi

Profil SRE dan Rakyat Merdeka	iii
Penafian	iv
Kepenulisan dan Pengakuan	v
Glosarium	xiii
Kata Pengantar	xxiii
Ringkasan Eksekutif	xxx
BAB I: KONTEKS DAN LATAR BELAKANG	1
1.1 Menuju Indonesia Emas 2045	1
1.2 Komitmen dan target dekarbonisasi Indonesia	31
1.3 Menyeimbangkan Antara Target Pertumbuhan Ekonomi dan Dekarbonisasi	33
1.4 Implikasi: Pentingnya Membangun Ekosistem Green Jobs di Indonesia	35
BAB II: ENERGI	11
2.1 Masa Depan Permintaan Energi Indonesia	15
2.1.1 Kebutuhan Listrik Indonesia dan Distribusinya	15
2.1.2 Kebutuhan Bahan Bakar End-Use	20
2.1.3 Kebijakan Pemerintah dan Komitmen Indonesia	25
2.2 Lanskap Suplai Energi Indonesia	28
2.2.1 Proyeksi Suplai Kelistrikan Indonesia	29
2.2.2 Proyeksi Suplai Bahan Bakar <i>End-Use</i> Indonesia	30
2.2.3 Penyerapan Emisi dari Sektor Migas	33
2.3 Lanskap Green Jobs di Sektor Energi s.d. 2045	34
2.3.1 Jumlah <i>green jobs</i> yang dibutuhkan	35
2.3.2 Upaya Transisi Energi dengan Negara Lain	40
2.3.3 Tenaga Ahli yang Dibutuhkan	43
2.3 Potensi Keahlian Baru yang Dibutuhkan	47
BAB III: PANGAN DAN AGRIKULTUR	52
3.1 Ketahanan Pangan dan Pemenuhan Kebutuhan	52
3.2 Lanskap Produktivitas dan Hasil Produksi	58

3.3	Apa itu <i>Green Jobs</i> dan Mengapa Dibutuhkan?	61
3.3.1	Jumlah green jobs yang dibutuhkan	62
3.4	Lessons Learned dari Negara Lain	63
3.4.1	Vietnam: Raja Pertanian ASEAN melalui Proyek Transformasi Pertanian Berkelanjutan	63
3.4.2	India: Mekanisasi Pertanian Jadi Kunci Pemenuhan Kebutuhan 1,4 Miliar Penduduknya	65
3.5	Keahlian Baru Yang Dibutuhkan	66
3.6	Prospek Teknologi Baru Yang Dapat Dikenalkan Melalui Green Jobs	77
BAB IV: INDUSTRI		83
4.1	Lanskap Permintaan Masa Depan untuk Manufaktur Hijau	85
4.2	Industri Intensif Emisi Karbon	86
4.2.1	Plastik	86
4.2.2	Amonia	88
4.2.3	Baja	89
4.2.4	Semen	91
4.3	Industri Berbasis Teknologi Hijau	92
4.3.1	Nikel	92
4.3.2	Tembaga	94
4.3.3	Bauksit	96
4.3.4	Pasir Kuarsa	97
4.4	Mengevaluasi Lanskap Pasokan untuk Transisi Hijau	98
4.4.1	Lanskap Pasokan Industri Intensif Emisi Karbon	98
4.4.2	Proyeksi Penyediaan Material Teknologi Hijau	104
4.5	Potensi Penciptaan Pekerjaan Hijau Pada Industri hingga Tahun 2045	111
4.5.1	Klasifikasi Green jobs yang dibutuhkan	112
4.5.2	Teknologi pendukung green jobs	116
4.6	Regulasi yang Dipelajari dari Negara Lain	122
BAB V: MANAJEMEN LIMBAH		127
5.1	Latar Belakang Produksi Limbah di Indonesia	128
5.2	Latar Belakang Pengolahan Limbah di Indonesia	132
5.3	Apa itu <i>Green Jobs</i> di sektor limbah?	134
5.3.1	Jumlah <i>Green Jobs</i> yang dibutuhkan	134

5.3.2	Klasifikasi <i>Green Jobs</i> yang dibutuhkan	137
5.3.3	Teknologi Mekanikal pendukung <i>green jobs</i>	146
5.3.4	Teknologi Digital pendukung <i>green jobs</i>	149
5.3.5	Regulasi yang dipelajari dari negara lain	154
5.3.6	Rencana aksi dan rekomendasi	157
BAB VI: AKSI LANJUTAN TRANSFORMASI GREEN JOBS		159
6.1	<i>Action Plan</i> Peta Jalan Perkembangan Green Jobs Indonesia Sampai Dengan 2045	159
6.1.1	Action Plan secara Umum	159
6.1.2	Action Plan Sektor Energi	167
6.1.3	Action Plan Sektor Pangan dan Agrikultur	170
6.1.4	Action Plan Sektor Industri	173
6.1.5	Action Plan Sektor Pengolahan Limbah	177
6.2	Peran Generasi Muda	183
Referensi		186

Daftar Grafik

Grafik 1.1 Kontribusi Sektor terhadap Emisi CO₂ Indonesia (2016-2020)

Grafik 1.2 Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia (2021)

Grafik 2.1 Dinamika Pasar Peralatan Energi Indonesia

Grafik 2.2 Proyeksi permintaan listrik on-grid berdasarkan sektor

Grafik 2.3 Rata-rata elastisitas pendapatan dari permintaan listrik

Grafik 2.4 Penggunaan EV pada kendaraan roda dua dan tiga

Grafik 2.5 Penggunaan EV pada bus

Grafik 2.6 Proyeksi Konsumsi Energi Final Indonesia pada 2050

Grafik 2.7 Proyeksi generasi listrik Indonesia

Grafik 2.8 Proyeksi total emisi dari bahan bakar fosil Indonesia

Grafik 2.9 Peran penyerapan karbon dalam emisi karbon pada sektor ketenagalistrikan

Grafik 2.10 Proyeksi kebutuhan pekerja hijau Indonesia

Grafik 2.12 Distribusi kebutuhan pekerja hijau per bahan bakar

Grafik 2.13 Distribusi posisi pekerjaan dalam kebutuhan pekerja hijau

Grafik 2.14 Perbandingan kebutuhan dan suplai baseline pekerja hijau

Grafik 3.2 Skor Pola Pangan Harapan 2023 versus Angka Kecukupan Gizi yang Direkomendasikan

Grafik 3.3 Rata-rata Prevalensi Penduduk Kurang Gizi di Asia Tenggara tahun 2020-2022

Grafik 3.4 Prevalensi Angka Stunting di Negara-negara Asia Tenggara tahun 2022

Grafik 3.5 Perbandingan Tingkat Produktivitas Hasil Panen dalam ton per hektar

Grafik 3.6 Proyeksi Jumlah *Green Jobs* Berdasarkan Komoditas Hingga tahun 2045

Grafik 3.7 Tren peningkatan jumlah green jobs di sektor Agrikultur Indonesia hingga 2045

Grafik 3.8 Persebaran Sektor Pekerjaan Penduduk Usia Produktif Indonesia Pada Tahun 2023 (dalam jutaan)

Grafik 3.9 Kontribusi Sektor Ekonomi Pada PDB Indonesia di Tahun 2022

Grafik 3.10 Indikator Produktivitas Pertanian Indonesia Selama 5 Dekade Terakhir (rata-rata tahunan dalam %)

Grafik 3.11 Pertumbuhan TFP Terhadap Output Tenaga Kerja dan Lahan Per Hektar (dalam %)

Grafik 4.1 Emisi GRK historis dari aktivitas industri

Grafik 4.2 Permintaan Plastik Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.3 Permintaan Amonia Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.4 Permintaan Baja Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.5 Permintaan Semen Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.6 Permintaan Nikel Global tahun 2025 - 2045

Grafik 4.7 Proporsi Penggunaan Nikel Global tahun 2025 - 2045

Grafik 4.8 Permintaan Tembaga Global tahun 2025 - 2045

Grafik 4.9 Permintaan Bauksit Global tahun 2025 - 2045

Grafik 4.10 Produksi Baja Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.11 Produksi Semen Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.12 Produksi Nikel Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.13 Produksi Tembaga Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.14 Produksi Bauksit Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.15 Produksi Pasir Kuarsa Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 4.16 Jumlah Pekerjaan Hijau yang dibutuhkan di Sektor Industri Indonesia tahun 2025 - 2045

Grafik 5.1 Proyeksi Produksi Limbah Indonesia per Tahun sampai 2045

Grafik 5.2 Persentase Komposisi Limbah Indonesia Tahun 2023

Grafik 5.3 Proyeksi Komposisi Limbah Indonesia Tahun 2045

Grafik 5.4 Potensi Jumlah *Green Jobs* pada Tahun 2045

Grafik 6.1 Tingkatan Partisipasi Generasi Muda

Daftar Gambar

Tabel 1.1 Indikator Capaian saat ini vs Target Indonesia Emas 2045

Tabel 2.1 Target bauran bahan bakar nabati Indonesia

Tabel 2.2 Target produksi bahan bakar nabati Indonesia

Tabel 2.3 Proyeksi penambahan dan penurunan pekerja pada sektor energi Indonesia

Tabel 2.4 Upaya transisi energi di negara lain

Tabel 2.5 Keahlian eksis yang dibutuhkan

Tabel 2.6 Potensi keahlian baru yang dibutuhkan

Tabel 3.1 Frekuensi Skenario dan Prevalensi Ketidacukupan Konsumsi Pangan di Asia Tenggara

Tabel 3.2 Potensi Jenis Pekerjaan Baru di Sektor Pertanian Indonesia di tahun 2045

Tabel 3.3 Potensi Teknologi Baru & Keahlian Masa Depan di Pangan & Agrikultur

Tabel 4.1 Jenis Pekerjaan yang dibutuhkan pada Industri Penambangan Masa Depan

Tabel 4.2 Jenis Pekerjaan yang dibutuhkan pada Industri Manufaktur Teknologi Hijau

Tabel 4.3 Penggunaan Teknologi pada Industri Penambangan dan Manufaktur Teknologi Hijau Masa Depan

Tabel 4.4 Studi Banding Inisiatif Pemerintah Luar Negeri dalam Mendorong Praktik Industrial yang Hijau

Tabel 5.1 Teknologi Pengelolaan Limbah di Indonesia

Tabel 5.2 Proyeksi Angka *Green Jobs* pada Tahun 2045

Tabel 5.3 Kebutuhan Keahlian untuk Operasional Mesin

Tabel 5.4 Kebutuhan Keahlian untuk Operasional Teknologi Digital

Tabel 5.5 Sasaran dan Pelatihan untuk Keterampilan Teknologi Digital

Tabel 5.6 Keterampilan Manajerial yang Dibutuhkan

Tabel 5.7 Teknologi Mekanikal yang dapat Mendukung *Green Jobs*

Tabel 5.8 Teknologi Digital yang dapat Mendukung *Green Jobs*

Tabel 5.9 Regulasi yang Dapat Dicontoh

Tabel 6.1 Contoh aksi konkrit yang dapat dilakukan oleh generasi muda

Daftar Ilustrasi

Ilustrasi 2.1 Distribusi Potensi EBT Indonesia

Ilustrasi 3.1 Potensi Mekanisasi Alat Pertanian per Komoditas

Ilustrasi 4.1 Perusahaan produksi plastik utama di Indonesia

Glosarium

Bab 1: Konteks dan Latar Belakang

- **Artificial Intelligence:** Kecerdasan buatan. Bidang komputer yang mengeksplorasi pembuatan mesin yang dapat melakukan tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia.
- **Bonus Demografi:** Kondisi dimana rasio ketergantungan dalam suatu negara menurun dan dibawah angka 50. Rasio ketergantungan merupakan jumlah populasi umur tidak produktif (dibawah umur 15 dan diatas umur 64) yang ditanggung oleh 100 penduduk usia produktif (umur 15 sampai dengan 64 tahun)
- **Climate and Sustainability:** Kegiatan yang terkait dengan menjaga planet, memperlambat perubahan iklim, dan mendukung perkembangan sosial tanpa membahayakan bumi atau makhluk hidup lain.
- **COP 28:** Conference of the Parties ke-28. Konferensi yang membahas mengenai perubahan iklim secara global.
- **Electrolyzer:** Alat yang digunakan untuk memisahkan hidrogen dan oksigen dari air menggunakan proses elektrolisis air.
- **GRK:** Gas rumah kaca. Senyawa-senyawa gas di atmosfer bumi yang memerangkap panas.
- **Gross National Product:** Nilai total dari semua produk dan jasa yang dihasilkan oleh suatu negara pada suatu tahun fiskal.
- **In-situ:** Kegiatan pengembangan atau pemrosesan yang dilakukan di tempat aslinya.
- **IoT:** Konsep di mana objek fisik dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan koneksi internet untuk berkomunikasi dan bertukar data dengan perangkat lain.
- **Middle Income Trap:** Keadaan di mana negara-negara dengan pertumbuhan ekonomi yang cepat terjebak dalam level pendapatan menengah tanpa kemajuan lebih lanjut ke tingkat pendapatan yang lebih tinggi.
- **Nationally Determined Contribution:** Dokumen yang berisi komitmen serta aksi iklim sebuah negara yang dikomunikasikan kepada seluruh dunia melalui United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

- **Net Zero:** Keseimbangan antara jumlah gas rumah kaca yang berada pada atmosfer dengan jumlah gas rumah kaca yang dihilangkan dari atmosfer
- **Reskilling:** Proses mengajarkan karyawan kemampuan baru untuk meningkatkan keahlian mereka dalam bidang yang baru atau mengubah karir.
- **Upskilling:** Proses mengajarkan karyawan kemampuan baru untuk meningkatkan keahlian mereka dalam bidangnya masing-masing.
- **3D Printing:** Proses pembuatan objek fisik dari sebuah model digital berbentuk tiga dimensi.

Bab 2: Energi

- **Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS):** Bioenergi dengan Penangkapan Karbon dan Penyimpanan. Strategi untuk menghasilkan energi dari sumber bio yang kemudian menangkap karbon dioksida dari proses pembakaran dan menyimpannya di bawah tanah.
- **Carbon Capture and Storage (CCS):** Penangkapan dan Penyimpanan Karbon. Teknologi untuk menangkap karbon dioksida dari berbagai sumber, kemudian menyimpannya di bawah tanah untuk mencegah pelepasan gas rumah kaca.
- **Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS):** Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon. Proses menangkap karbon dioksida dari berbagai sumber, memanfaatkannya untuk keperluan lain, dan menyimpannya di bawah tanah untuk mengurangi emisi karbon.
- **Chlorofluorocarbon (CFC):** Klorofluorokarbon. Jenis senyawa kimia yang pernah digunakan dalam industri sebagai refrigeran dan propelan aerosol, tetapi telah dilarang karena menyebabkan kerusakan pada lapisan ozon.
- **Carbon Dioxide Equivalent (CO₂e):** Setara dengan Karbon Dioksida. Satuan yang digunakan untuk mengukur dan menyatakan potensi pemanasan global dari berbagai gas rumah kaca dengan membandingkannya dengan jumlah karbon dioksida yang memiliki potensi pemanasan yang sama.

- **Conference of the Parties (COP):** Konferensi Para Pihak. Pertemuan tahunan di bawah Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (UNFCCC), di mana negara-negara anggota berkumpul untuk membahas masalah perubahan iklim global.
- **Crude Palm Oil (CPO):** Minyak Kelapa Sawit Mentah. Minyak nabati yang diekstraksi dari buah kelapa sawit, digunakan dalam berbagai industri termasuk makanan, kosmetik, dan biodiesel.
- **Energy Baru dan Terbarukan (EBT):** New and Renewable Energy. Sumber energi yang diperbarui secara alami dan dapat diperbaharui, seperti energi surya, angin, hidro, biomassa, dan geotermal.
- **Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM):** Energy and Mineral Resources. Departemen atau lembaga yang bertanggung jawab atas pengelolaan energi dan sumber daya mineral suatu negara.
- **Kendaraan Listrik (EV):** Kendaraan yang menggunakan satu atau lebih motor listrik untuk propulsi, menggantikan mesin pembakaran internal yang digunakan dalam kendaraan konvensional.
- **Aliansi Keuangan Glasgow untuk Nol Emisi Bersih (GFANZ):** Inisiatif global yang bertujuan untuk menggerakkan sektor keuangan untuk mendukung transformasi menuju ekonomi bersih nol emisi karbon.
- **Internet of Things (IoT):** Jaringan perangkat fisik yang terhubung melalui internet, memungkinkan mereka saling berinteraksi dan berbagi data.
- **Grup Mitra Internasional (IPG):** Kelompok atau konsorsium organisasi internasional yang bekerja bersama untuk mencapai tujuan bersama dalam berbagai bidang.
- **Rencana Transisi Energi Adil (JETP):** Strategi atau rencana yang bertujuan untuk memastikan bahwa peralihan dari sumber energi konvensional ke sumber energi yang lebih bersih dan ramah lingkungan dilakukan secara adil bagi semua pihak terlibat.
- **Strategi Jangka Panjang untuk Ketahanan Kota Rendah Karbon (LTS-LCCR):** Rencana atau strategi yang dirancang untuk membangun ketahanan kota-kota terhadap perubahan

iklim dengan memperhatikan penurunan emisi karbon.

- **Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional (NDC):** Komitmen yang diumumkan oleh negara-negara dalam rangka untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menyesuaikan diri dengan dampak perubahan iklim.
- **Emisi Bersih Nol (NZE):** Kondisi di mana emisi gas rumah kaca secara keseluruhan setara dengan jumlah yang diserap atau dihilangkan dari atmosfer, sehingga netto tidak ada emisi yang dilepaskan ke atmosfer.
- **Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL):** Dokumen perencanaan yang merumuskan strategi dan langkah-langkah untuk penyediaan tenaga listrik dalam suatu negara atau wilayah.
- **Bahan Bakar Aviasi Berkelanjutan (SAF):** Jenis bahan bakar yang diproduksi dari sumber-sumber yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan untuk digunakan dalam penerbangan.
- **Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (UNFCCC):** Perjanjian antar-pemerintah yang bertujuan untuk mengatasi perubahan iklim global dengan memitigasi emisi gas rumah kaca dan menyesuaikan diri dengan dampaknya.

Bab 3 – Pangan dan Agrikultur

- **Alsintan:** Alat dan mesin pertanian (pompa air, traktor, penyemprot tanaman, pemotong rumput, dll.)
- **Artificial Intelligence (AI):** Kecerdasan buatan. Bidang komputer yang mengeksplorasi pembuatan mesin yang dapat melakukan tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia.
- **Augmented Reality:** Realitas berimbuah. Teknologi yang menghubungkan benda digital dua atau tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata
- **Big data:** Mahadata. Kumpulan data yang sangat besar dan kompleks yang terlalu banyak untuk dianalisis dan diproses menggunakan teknik dan metode tradisional
- **Cultivator:** Alat dan mesin pertanian yang digunakan untuk pengolahan tanah sekunder
- **Dataset:** Kumpulan data yang diatur dalam format yang

terstruktur, seperti tabel atau file, dan berisi informasi dari berbagai sumber.

- **Drone:** Pesawat nirawak. Mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri yang dioperasikan oleh operator, menggunakan hukum aerodinamika untuk mengangkat dirinya, bisa digunakan kembali dan mampu membawa muatan baik senjata maupun muatan lainnya
- **El Niño:** Anomali pada suhu permukaan laut di Samudera Pasifik di pantai barat Ekuador dan Peru yang lebih tinggi daripada rata-rata normalnya
- **GPS:** *Global Positioning System* atau Sistem Pemosisi Global. Sistem navigasi berbasis satelit yang terdiri dari setidaknya 24 satelit
- **Hand sprayer:** Alat semprot pertanian yang biasa digunakan untuk menyiram tanaman atau semprot hama pada tumbuhan
- **Internet of Things (IoT):** Konsep yang mengacu pada jaringan objek fisik yang terhubung ke internet dan dapat saling bertukar data tanpa perlu campur tangan manusia
- **Ketahanan pangan:** Kondisi terpenuhinya Pangan bagi negara sampai dengan perseorangan, yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup, baik jumlah maupun mutunya, aman, beragam, bergizi, merata, dan terjangkau serta tidak bertentangan dengan agama, keyakinan, dan budaya masyarakat, untuk dapat hidup sehat, aktif, dan produktif secara berkelanjutan
- **Machine Learning (ML):** Mesin yang dikembangkan untuk bisa belajar dengan sendirinya tanpa arahan dari pengguna. Pembelajaran mesin dikembangkan berdasarkan disiplin ilmu lain seperti statistika dan matematika sehingga mesin dapat belajar dengan menganalisa data tanpa perlu diprogram ulang atau diperintah
- **Mekanisasi:** Penggantian dan penggunaan tenaga mesin dan sarana-sarana teknik lainnya untuk menggantikan tenaga manusia dan hewan
- **Rice Milling Unit (RMU):** Mesin penggilingan padi, dapat mengupas kulit gabah menjadi beras

- **Site-Specific Crop Management (SSCM):** Manajemen Lokasi Tanaman Spesifik. Konsep manajemen pertanian berdasarkan pengamatan, pengukuran, dan respons terhadap variabilitas dalam dan antar-bidang pada tanaman
- **Smart farming:** Konsep manajemen bercocok tanam yang mengandalkan bantuan teknologi canggih seperti data besar (*big data*), penyimpanan *cloud*, dan *internet of things (IoT)*
- **TFP:** Total Faktor Produktivitas. Ukuran produktivitas yang komprehensif, mampu menjelaskan perubahan dalam produksi yang disebabkan oleh perubahan jumlah input yang digunakan, teknologi, dan pemanfaatan kapasitas dan kualitas faktor produksi
- **Topografi:** Penguraian terperinci tentang keadaan muka bumi pada suatu daerah
- **Upskilling:** Proses meningkatkan kemampuan dan pengetahuan seseorang dalam suatu bidang tertentu atau dalam berbagai bidang yang relevan
- **Variable Rate Technology (VRT):** Teknologi baru yang memungkinkan produsen menyebarkan pupuk, bahan kimia, dan input pertanian lainnya secara berbeda-beda dalam satu bidang berdasarkan karakteristik tanah dan lahan
- **Virtual Reality:** Realitas virtual. Sebuah teknologi yang membuat pengguna dapat berinteraksi dengan lingkungan yang ada dalam dunia maya yang disimulasikan oleh komputer, sehingga pengguna merasa berada di dalam lingkungan tersebut.

Bab 4 – Industri

- **Artificial Intelligence (Kecerdasan Buatan):** Bidang komputer yang mengeksplorasi pembuatan mesin yang dapat melakukan tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia.
- **Augmented Reality (Realitas Terpenuhi):** Teknologi yang menggabungkan elemen virtual dengan lingkungan fisik nyata, menciptakan pengalaman yang diperkaya.
- **Carbon Border Adjustment Mechanism (Mekanisme Penyesuaian Batas Karbon):** Sistem untuk mengukur dan menyesuaikan pembayaran pajak atau tarif impor berdasarkan

- jumlah karbon yang diproduksi selama pembuatan produk.
- **Carbon Capture and Storage (Penangkapan dan Penyimpanan Karbon):** Proses menangkap karbon dioksida yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan menyimpannya di tempat penyimpanan yang aman untuk mengurangi emisi karbon ke atmosfer.
 - **Collaborative Robots (Robot Kolaboratif):** Robot yang dirancang untuk bekerja bersama dengan manusia dalam lingkungan kerja yang sama.
 - **Internet of Things (IoT):** Konsep di mana objek fisik dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan koneksi internet untuk berkomunikasi dan bertukar data dengan perangkat lain.
 - **Metode Penambangan In-situ (di tempat):** Teknik penambangan yang melibatkan ekstraksi mineral dengan melarutkannya di tempat (in situ), atau di tempatnya, daripada secara fisik mengangkat bijihnya.
 - **Middle Income Trap (Perangkap Pendapatan Menengah):** Keadaan di mana negara-negara dengan pertumbuhan ekonomi yang cepat terjebak dalam level pendapatan menengah tanpa kemajuan lebih lanjut ke tingkat pendapatan yang lebih tinggi.
 - **Nanoteknologi:** Bidang ilmu dan teknik yang berurusan dengan manipulasi material pada skala nanometer, yang biasanya berada antara 1 dan 100 nanometer.
 - **Net Zero Emission (Emisi Nol Bersih):** Tujuan untuk mencapai keseimbangan antara emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dan emisi yang dihapus dari atmosfer, menciptakan nol total emisi bersih.
 - **Pembangkit Listrik off-grid:** Proses pembangkitan listrik di lokasi yang terpencil atau tidak terhubung ke jaringan listrik utama.
 - **Semikonduktor:** Material yang memiliki konduktivitas listrik di antara konduktor (seperti logam) dan isolator (seperti plastik), sering digunakan dalam pembuatan komponen elektronik.
 - **Smart Factory (Pabrik Pintar):** Pabrik yang menggunakan teknologi seperti otomatisasi, sensor cerdas, dan analitika data untuk meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk.
 - **Pencetakan 3D:** Proses pembuatan objek tiga dimensi

secara bertahap dengan menumpuk lapisan-lapisan material berdasarkan desain digital.

Bab 5: Manajemen Limbah

- **TPA:** Tempat pemrosesan akhir yang digunakan untuk memroses dan mengembalikan limbah yang ditampung dalam bentuk yang aman bagi manusia dan lingkungan.
- **TPST:** Tempat pengolahan sampah terpadu sebagai tempat pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, pendauran ulang, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah
- **Carbon Dioxide Equivalent (CO₂e):** Setara dengan Karbon Dioksida. Satuan yang digunakan untuk mengukur dan menyatakan potensi pemanasan global dari berbagai gas rumah kaca dengan membandingkannya dengan jumlah karbon dioksida yang memiliki potensi pemanasan yang sama.
- **Air Separator:** Mesin yang memanfaatkan arus angin untuk membagi limbah-limbah ringan seperti kertas, plastik, debu dan limbah-limbah berat seperti kepingan besi, elektronik, dan kepingan limbah besar.
- **Chain Conveyor:** Mesin yang digunakan untuk memindahkan suatu barang ke tempat lain.
- **Shredder:** Alat yang berfungsi untuk menggerus dan memotong limbah ke bagian-bagian yang lebih kecil.
- **Trommel Screen:** Mesin yang menyortir limbah berdasarkan ukurannya dengan memutar limbah di dalamnya.
- **Windrow Turners:** Alat yang digunakan dalam praktik kompos. Alat ini menyediakan ventilasi angin, agar udara dan kelembapan dapat masuk ke dalam tumpukan limbah yang akan dikompos oleh bakteri dan hewan kompos. Alat ini nantinya akan memutar untuk meratakan segala elemen yang berada pada tumpukan limbahnya.
- **The Rotary Klin and Post Burning Stoker Furnace:** Teknologi terkini untuk insinerator yang rendah udara dan sangat efisien dalam merubah gas dari oembakaran menjadi energi.
- **Internet of Things (IoT):** Konsep di mana objek fisik dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan koneksi internet untuk

- berkomunikasi dan bertukar data dengan perangkat lain.
- **Analisis Big Data:** Mahadata. Kumpulan data yang sangat besar dan kompleks yang terlalu banyak untuk dianalisis dan diproses menggunakan teknik dan metode tradisional
 - **Artificial Intelligence:** Bidang komputer yang mengeksplorasi pembuatan mesin yang dapat melakukan tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia.
 - **Drone:** Pesawat nirawak. Mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri yang dioperasikan oleh operator, menggunakan hukum aerodinamika untuk mengangkat dirinya, bisa digunakan kembali dan mampu membawa muatan baik senjata maupun muatan lainnya
 - **Keamanan Siber:** Praktik perlindungan untuk sistem, jaringan, dan program dari ancaman digital.
 - **Front-End Loaders:** Kendaraan besar yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan limbah dari satu tempat ke tempat lain.
 - **Excavator:** Alat yang digunakan untuk memindahkan limbah dalam ukuran besar.
 - **Coarse Cutter:** Alat-alat yang digunakan untuk memperkecil limbah yang berukuran 2 – 96 inci dan memiliki permukaan tidak rata
 - **Fine Crusher:** Mesin yang digunakan untuk menghancurkan limbah berukuran besar agar menjadi limbah berukuran kecil.
 - **Dehydrator:** Mesin yang digunakan untuk mengevaporasi kelembapan yang ada pada limbah. Biasanya digunakan untuk limbah-limbah organik.
 - **Depolimerasi Plastik:** Proses memecah polimer plastik menjadi monomer-monomer kecil. Limbah plastik yang melalui proses ini menghasilkan monomer-monomer yang bisa digunakan untuk pembuatan plastik baru.
 - **Monomer:** Molekul yang dapat digabungkan dengan sesamanya untuk membuat polimer.
 - **Polimer:** Molekul besar yang dibuat melalui penggabungan monomer.

- **Carbamates:** Garam atau ester yang biasanya digunakan dalam pembuatan gas anti-serangga dan praktik agrilkultur.
- **Polyhydroxyl Alcohol:** Senyawa organik yang biasanya didapatkan dari gula.
- **Dry Heat Sterilizer:** Alat yang mensterilisasi limbah-limbah dari patogen dengan menggunakan tenaga panas dan proses oksidasi. biasanya digunakan untuk benda-benda yang tidak bisa basah seperti kaca, besi, dan bubuk.
- **Dry Distillation Gassification-Type Compact Incinerator:** Alat yang menerapkan proses distilasi kering pada limbah untuk menghasilkan gas yang mudah terbakar. Gas ini lalu digunakan dalam insinerator untuk membakar limbah.
- **Biogas:** Bensin yang penuh dengan gas, terutama metana, yang diproduksi dari fermentasi bahan organik.
- **Bio-Oil:** Minyak dengan campuran senyawa tinggi akan oksigen, air, dan asam karboksilat. Digunakan pada umumnya sebagai alternatif dari gas konvensional.
- **Belt and Road Initiative:** Strategi yang dibuat oleh negara Cina untuk menghubungkan Asia dengan Afrika dan Eropa melalui jaringan darat dan maritim.
- **Non-Biodegradable:** Limbah-limbah yang tidak bisa terdekompos secara alamiah oleh agen-agen alami.
- **Dekarbonisasi:** Pengurangan atau penghilangan emisi karbon dioksida dari udara.

Kata Pengantar



Kiki Iswara Darmayana
Direktur Utama Rakyat Merdeka/ CEO RM Group

Assalamualaikum Wr Wb.

Salam sejahtera untuk kita semua

Puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga kita diberikan kelancaran dalam penyusunan buku ini, yang diluncurkan saat acara puncak Green Impact Day – Menuju Ketahanan Pangan, Air dan Energi Indonesia.

Perubahan iklim semakin sering dibicarakan dalam satu dekade terakhir. Dampaknya sangat terasa pada curah hujan dan siklus iklim yang tidak menentu serta musim kering berkepanjangan. Padahal, ketersediaan air adalah faktor penting untuk menentukan ketahanan pangan. Yang berujung pada kestabilan ekonomi nasional.

Air juga menjadi persoalan penting, utamanya bagi masyarakat pesisir dan yang jauh dari sumber mata air. Jika ketahanan air tidak

ditanggulangi dengan baik, bisa beresiko menurunkan Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia sekitar 7,3 persen di tahun 2045. Saat ini ada sejumlah tantangan ketahanan air, yaitu ketersediaan air, kenaikan air laut dan penurunan muka tanah yang berpotensi banjir di pesisir dan pengambilan air tanah yang tidak terkendali, berkorelasi dengan penurunan muka tanah, degradasi lahan dan seterusnya.

Selain pangan dan air, ketahanan energi juga menjadi isu krusial dalam penerapan strategi pembangunan Indonesia yang rendah karbon. Selama ini, sektor energi dinilai sebagai penyumbang emisi, penyebab polusi dan perubahan iklim. Ketahanan energi ikut menentukan ketahanan ekonomi nasional. Tantangannya tidak mudah, antara lain pentingnya menjamin ketersediaan energi, dan akses yang terjangkau untuk masyarakat, daya tahannya untuk jangka panjang serta memperhatikan aspek keberlanjutan atau yang ramah lingkungan.

Problematika ketahanan pangan, air dan energi ini tidak mudah diselesaikan. Perlu terobosan serta pendekatan baru yang inovatif, kreatif dan melibatkan generasi muda.

Buku ini adalah bukti generasi muda yang tergabung dalam Society of Renewable Energy atau SRE peduli pada isu-isu ketahanan pangan, air dan energi, sekaligus memberikan gagasannya untuk Indonesia yang berkelanjutan.

SRE lahir pada 2019, dan dibidani oleh Zagy Yakana Berian, anak muda yang kala itu masih menjadi mahasiswa Teknik Mesin di Institut Teknologi Bandung. Sebagai founder SRE, Zagy kemudian menyampaikan idenya kepada Rakyat Merdeka untuk berkolaborasi meningkatkan kesadaran publik terhadap pentingnya peran anak muda dalam pengembangan energi bersih di Indonesia.

Rakyat Merdeka dalam perkembangannya ikut membina dan membesarkan SRE. Kami menyampaikan pada saat awal SRE dibentuk, wadah ini harus inklusif dan bisa diikuti oleh Perguruan Tinggi Negeri (PTN) maupun Perguruan Tinggi Swasta (PTS) di seluruh Indonesia. Responnya ternyata sangat baik. Hingga saat ini, SRE terus berkembang dan berada di 50 kampus di seluruh Indonesia dengan member terregistrasi lebih dari 3 ribu mahasiswa.

Rakyat Merdeka bangga bahwa pimpinan-pimpinan SRE seperti Zagy Yakana Berian dan Aufar Satria kini telah makin berkembang. Menjadi pembicara dan menginspirasi banyak anak-anak muda, bukan saja di dalam negeri tetapi sudah ke kancah global. Keduanya sudah seringkali mewakili Indonesia, diundang berbicara tentang energi bersih di forum-forum dunia yang bergengsi.

Rakyat Merdeka dan SRE kini menginisiasi gerakan baru yaitu Green Impact. Melalui Green Impact, diharapkan lahir gagasan-gagasan hebat tentang pengembangan dan upaya mewujudkan Indonesia yang keberlanjutan (*sustainability*). Ke depan, harapannya, Green Impact akan menjadi sebuah gerakan masif dan aktif dari anak-anak muda yang peduli pada pembangunan keberlanjutan.

Buku ini adalah bukti Rakyat Merdeka ikut berperan aktif mendukung upaya Pemerintah mencapai target net zero emission di tahun 2060. Melalui buku ini, Rakyat Merdeka ingin memberikan sumbangsih gagasan dan solusi-solusi baru yang out of the box mengenai pengembangan energi bersih yang ramah lingkungan. Salah satunya dengan memetakan potensi green jobs dan skill set yang diperlukan untuk mewujudkan Indonesia yang ramah lingkungan.

Semoga gerakan Green Impact dan penulisan buku ini bermanfaat bagi pemerintah pusat, daerah, perusahaan, akademisi, masyarakat dan media. Kami, Rakyat Merdeka mengharapkan makin banyak pihak yang bergabung, berkolaborasi agar pembangunan keberlanjutan di Indonesia menjadi lebih cepat, masif, terukur dan tepat sasaran.

Demikian sambutan.

Salam hormat dan salam sehat semangat

Wassalamualikum wr wb



Zagy Yakana Berian
Penasihat dan Founder Society of Renewable Energy

Indonesia berpotensi menjadi raja ekonomi hijau dan biru di dunia. Cita-cita ini mengandung sebuah tantangan sekaligus peluang yang besar. Tidak mudah mewujudkannya. Tapi pasti bisa, selama dikerjakan bersama, berkolaborasi dengan banyak stake holder, antar generasi maupun lintas generasi.

Society of Renewable Energy atau SRE adalah sekumpulan anak muda yang memiliki perhatian besar pada aksi-aksi perubahan iklim dan pengembangan energi bersih di Indonesia. Saat ini, SRE telah menjadi wadah kegiatan terkait isu-isu sustainability bagi mahasiswa di 50 kampus-kampus top seluruh Indonesia. Sejak 2019, SRE terus menjaga konsistensi gerakannya. Tak sekedar ide dan gagasan tetapi SRE sudah mengerjakan banyak proyek, kegiatan dan aksi nyata di sejumlah lokasi Indonesia. Terlibat dalam aktivitas penanaman mangrove, penyediaan air, dan energi listrik ramah lingkungan di desa-desa dan perhutanan sosial di penjuru tanah air.

SRE bergandeng tangan dengan Rakyat Merdeka, media nasional yang memiliki kepedulian pada generasi muda dan isu-isu sustainability. Sejak awal berdiri, SRE dan Rakyat Merdeka berkolaborasi untuk mengerjakan banyak program dan meningkatkan literasi masyarakat. Kompetisi nasional penulisan artikel mengenai iklim dan energi bersih, juga seminar nasional dan talkshow lintas generasi yang menghadirkan para pemangku kepentingan di Indonesia.

Kolaborasi bersama kali ini, adalah sebuah ide baru. Menerbitkan buku mengenai mitigasi skill anak muda, di bidang iklim dan energi, yang dibutuhkan untuk menuju Indonesia Emas 2045.

Dalam buku ini disajikan parameter yang dibutuhkan untuk kebutuhan human capital di sektor hijau, bidang energi, agrikultur, industri dan pengelolaan limbah. Tim yang menyusun buku ini mengolah data-data publik yang bisa dipertanggungjawabkan keabsahannya. Metodologi yang digunakan melalui beberapa kali proses validasi oleh sejumlah pihak yang kompeten di bidangnya.

Kami berharap, buku ini memberikan banyak manfaat, informatif dan membuka wawasan banyak stake holder terkait. Di dalamnya juga dilengkapi sejumlah tahapan teknis yang bisa menjadi peta jalan untuk penyusunan strategi jangka pendek, menengah dan panjang, bagi siapa saja yang ingin bergerak di sektor keberlanjutan.

SRE dan Rakyat Merdeka optimis, Indonesia Emas 2045 dapat tercapai apabila generasi muda dilibatkan dan dipersiapkan sejak dini. Buku ini adalah bagian dari sumbangsih kami, kepada membantu pemangku kebijakan, sharing gagasan agar Indonesia lepas dari middle income trap dengan sukses.

Semoga, setelah ini akan lahir kolaborasi baru dengan lebih banyak institusi atau lembaga. Agar, aksi nyata menuju Indonesia hijau, bisa tercipta lebih cepat dan berdampak lebih luas.

Demikian kata pengantar.

Salam



Aufar Satria

Lead Author

Komisaris dan Co-Founder Society of Renewable Energy

Berbagai pengalaman, sejak belajar di berbagai universitas lokal dan global sampai bekerja di sektor publik (Pemerintah) dan privat, mengajarkan saya bahwa dekarbonisasi untuk memitigasi krisis iklim membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Total anggaran yang diperlukan agar Indonesia dapat memitigasi krisis iklim hingga mencapai net zero emissions berkisar 1-2 Triliun USD.

Biaya tersebut dibutuhkan karena pemerintah memiliki misi ingin mencapai Indonesia Emas 2045. Yaitu saat negara kita bisa keluar dari *middle income trap*, di mana pertumbuhan ekonomi riil harus ada di angka 6-7 persen. Terlebih lagi, Indonesia juga punya permasalahan prioritas sosial yang harus diselesaikan, seperti pengentasan kemiskinan.

Lantas, muncul beberapa pertanyaan di benak saya:

- Bagaimana cara agar Indonesia dapat memenuhi dua target tersebut, yaitu dekarbonisasi dan memastikan tercapainya agenda pembangunan?

- Lebih spesifiknya, bagaimana agenda dekarbonisasi Indonesia tidak hanya menjadi 'beban' semata tetapi menjadi 'investasi'?
- Bagaimana kita memastikan bahwa setiap langkah mitigasi krisis iklim tidak hanya untuk memenuhi target mitigasi krisis iklim global tetapi juga membuka peluang pertumbuhan ekonomi Indonesia?

Saya percaya bahwa pembangunan *human capital* di sektor hijau atau yang dinamakan *green jobs* adalah kuncinya. Untuk meraup potensi ekonomi, Indonesia harus dapat membangun industri hijau secara lokal—dimulai dari kebutuhan tenaga kerja hijau yang terampil.

Dokumen ini, berusaha menjabarkan kebutuhan kuantitas dan kualitas *green jobs* secara komprehensif di seluruh sektor mitigasi krisis iklim, serta memberi perspektif terkait bagaimana Pemerintah dapat merealisasikan ekosistem *green jobs* yang baik. Dokumen ini tidak sempurna; bukan solusi lengkap dan instan. Dokumen ini membutuhkan input dari seluruh kalangan yang terlibat di dalam kegiatan mitigasi krisis iklim di Indonesia.

Namun, saya pribadi berharap bahwa dokumen ini dapat menunjukkan seberapa besar potensi *green jobs* Indonesia, serta apa saja pekerjaan rumah yang masih harus dikerjakan bersama. Saya harap, fakta yang disajikan dalam dokumen ini akan mengkatalis anak muda Indonesia untuk dapat berkontribusi di sektor industri hijau Indonesia.

Salam

Ringkasan Eksekutif

Indonesia Emas 2045 dinilai sebagai tujuan ambisius di tengah kondisi global yang cukup menantang. Target utamanya adalah untuk Indonesia bisa keluar dari *middle income trap* dan menjadi negara dengan ekonomi terbesar keempat di dunia. Oleh karena itu, dibutuhkan pertumbuhan setidaknya 6-7 persen per tahun hingga 2045. Pertumbuhan maksimal Indonesia saat ini di kisaran angka 5 persen secara historis. Didukung beberapa indikator seperti target Gross National Product (GNP) per kapita mencapai 30,300 USD per tahun (atau sekitar 6-7 kali lipat)¹, tingkat kemiskinan Indonesia yang ditargetkan mencapai kisaran 0.5-0.8 persen (posisi Indonesia saat ini di level 6-7 persen), serta kontribusi yang signifikan dari perekonomian industri dan manufaktur serta pemerataan pembangunan termasuk di Indonesia timur. Indonesia memiliki potensi berupa bonus demografi yang diperkirakan mencapai 180 juta jiwa.

Di tengah upaya ini, terdapat tantangan trilema dekarbonisasi, yaitu keamanan *supply*, aksesibilitas atau harga, dan keberlanjutan lingkungan. Era global saat ini diwarnai oleh dominasi tren keberlanjutan dan lingkungan, sehingga keberhasilan mewujudkan pembangunan hijau menjadi factor krusial. Hal ini terlihat dari upaya global, seperti target bersama membatasi kenaikan suhu bumi di bawah 1,5 derajat Celsius dan tumbuhnya kesadaran perusahaan terhadap investasi dalam *Climate and Sustainability* (C&S) dari sektor swasta. Indonesia memiliki beberapa komitmen, termasuk untuk memenuhi target Nationally Determined Contribution (NDC) yang mencapai 29 persen (tanpa syarat dengan usaha sendiri) dan 41 persen (bersyarat dengan dukungan internasional), serta *net zero* untuk mengurangi emisi.²

Untuk memenuhi target ini, Indonesia membutuhkan investasi "hijau" tahunan sekitar \$45 miliar USD yang secara khusus dilakukan juga untuk mewujudkan Net Zero pada 2060. Apabila Indonesia tidak mampu meraup potensi ekonomi dari investasi tersebut, maka biaya yang akan dikeluarkan hanya akan menjadi beban. Kabar

¹ Draft RPJPN Indonesia Emas 2045 oleh BAPPENAS

² Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

baiknya, Indonesia, dianugerahi potensi luar biasa berupa sumber daya energi rendah karbon yang melimpah sekitar 3,868 GW, mineral penting seperti nikel dan kobalt, serta kekayaan alam dan biologi seperti biomassa. Ini menjadikan Indonesia berada di posisi strategis untuk memimpin transisi energi global dan pengembangan ekonomi berkelanjutan.

Menyadari potensi besar ini, Indonesia haruslah mengambil peran strategis sebagai pemain kunci industri hijau terutama hilirisasi hijau lokal agar selaras dengan visi 'Indonesia Emas 2045.'

Fokus utama pada optimalisasi pemanfaatan sumber daya manusia yang kapabilitasnya perlu ditingkatkan.

Melalui analisis yang mencakup perhitungan *demand* dan *supply* dari setiap sektor terpilih, buku ini menjelaskan aspek kualitatif dan kuantitatif dari *green jobs* yang diperlukan. **Secara total, penciptaan green jobs diharapkan mencapai kisaran 8 juta s.d. 13 juta green jobs.** *Green jobs* yang diperlukan mencakup kebutuhan pengembangan industri hijau di sektor energi, industri, agrikultur dan manajemen limbah.

Pertama, sektor energi membutuhkan sekitar 2.6 juta - 3.4 juta *green jobs* pada tahun 2045. Indonesia saat ini masih punya ketergantungan historis pada batu bara, sehingga membutuhkan proses transisi yang signifikan ke energi terbarukan untuk memenuhi permintaan energi yang meningkat. Refleksi dari COP 28 menekankan empat pilar utama yaitu percepatan transisi energi yang adil, pembenahan pendanaan iklim, fokus pada manusia dan kehidupan, serta inklusivitas, yang berkontribusi pada frame strategi energi nasional. Meskipun pemerintah berupaya meningkatkan produksi minyak dan gas untuk memenuhi kebutuhan domestik, ketergantungan pada batu bara menunjukkan peralihan ke sumber energi yang lebih bersih memerlukan investasi besar dan perubahan infrastruktur. Oleh karena itu, kapabilitas kunci yang dibutuhkan dibagi menjadi segmen manufaktur dan distribusi, pengembangan proyek, konstruksi dan instalasi, serta operasi dan pemeliharaan. Namun, untuk segmen manufaktur dan distribusi serta operasi dan pemeliharaan, diperlukan skillset yang *lebih* spesifik. Sebagai contoh, operasional electrolyzer pada produksi gas hidrogen memerlukan

skillset yang berbeda dengan operasional reaktor pada produksi biodiesel.

Kedua, dalam sektor pangan dan pertanian dibutuhkan sekitar 1.6 juta hingga 4.8 juta *green jobs* pada tahun 2045. Narasi utama yang perlu diperhatikan adalah bahwa segala bentuk pekerjaan baru yang muncul dan berkontribusi pada peningkatan ketahanan pangan nasional dapat dikategorikan sebagai penciptaan lapangan kerja hijau. Untuk mengestimasi jumlah penciptaan lapangan kerja hijau di sektor ini, dilakukan pendekatan berbasis permintaan dan penawaran dari beberapa komoditas utama yang menjadi andalan serta kebutuhan dasar masyarakat Indonesia, termasuk untuk ekspor. Komoditas yang dipilih meliputi beras, gula, bawang merah, bawang putih, dan minyak sawit (*Crude Palm Oil*), yang merupakan bahan dasar minyak goreng. Fokus utama dari penciptaan lapangan kerja hijau di sektor ini adalah meningkatkan kapabilitas petani untuk beralih ke teknologi pertanian terbaru, yang berdampak pada peningkatan produktivitas untuk memenuhi kebutuhan nasional dan ekspor. Maka, digitalisasi menjadi kunci analisis sektor pangan dan pertanian dimana transisi penggunaan alat-alat pertanian yang lebih modern menjadi tidak terhindarkan. Dampak lainnya adalah peningkatan kesejahteraan petani, yang saat ini masih memiliki pendapatan di bawah rata-rata upah minimum regional.

Ketiga, dari sektor industri, potensi penciptaan lapangan kerjanya mencapai 3.8 juta sampai 4.4 juta *green jobs*. Pekerjaan ini muncul seiring ambisi Indonesia meningkatkan perekonomian nasional bersamaan dengan komitmen untuk pengurangan emisi. Ada dua kategori besar sebagai penyumbang devisa negara dan lapangan pekerjaan untuk *green jobs*, yaitu sektor intensif karbon dan sektor teknologi hijau. Sektor intensif karbon akan mengalami transformasi besar-besaran dalam praktik sehari-hari menjadi praktik keberlanjutan, sedangkan sektor teknologi hijau merupakan sektor yang memproduksi peralatan dan teknologi untuk energi dan transportasi hijau. Kedua kategori industri besar ini akan mengadopsi teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi dampak lingkungan. Hal ini memerlukan kebutuhan pelatihan ulang tenaga kerja untuk menguasai teknologi baru yang

akan menjadi standar operasional di masa mendatang. Beberapa kompetensi pekerjaan yang dibutuhkan antara lain geologis, insinyur pertambangan, teknisi, hingga operator alat berat berteknologi. Hal ini untuk mendukung penggunaan alat otomasi dan kendaraan otonom bertenaga listrik dan hidrogen, metode penambangan *in-situ*, hingga pemanfaatan IoT, *artificial intelligence*, dan 3D *printing* dalam proses desain industri di awal.

Keempat, sektor pengolahan limbah dapat menciptakan *green jobs* hingga 10.4 ribu pekerjaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi proyeksi lapangan kerja hijau dan pembangunan situs pengelolaan limbah baru (TPA dan TPST) dapat dihubungkan langsung dengan data historis kapasitas pengelolaan limbah dan defisit limbah. Pekerjaan-pekerjaan tersebut sangat dibutuhkan, terutama di sektor mekanikal seperti spesialisasi di bidang kecerdasan buatan dan robotik yang akan membantu proses pengolahan limbah. Kemampuan analisis data, interpretasi juga akan dibutuhkan untuk literasi digital dan adopsi teknologi yang tinggi.

Oleh karena itu, secara garis besar, keempat sektor tersebut membutuhkan pelbagai pembaharuan dan *action plan* (rencana aksi) yang akan mendorong penciptaan *green jobs* di masa depan, antara lain:

1. Memperluas insentif untuk pekerjaan hijau
2. Memperkuat pelatihan tenaga kerja baru
3. Mengembangkan pusat penelitian hijau
4. Menerapkan standar pendidikan yang mencakup kurikulum berbasis *sustainability*
5. Mendorong diaspora membangun industri hijau di tanah air

Tentunya hal ini tidak dapat dilakukan sendiri, sehingga dibutuhkan dukungan dari berbagai *stakeholder* seperti peran pemerintah, Badan Usaha Milik Negara (BUMN), peran pihak swasta dan juga masyarakat umum. Secara garis besar, program-program seperti peningkatan investasi teknologi di level proyek dan perusahaan serta mempermudah proses masuknya investasi asing merupakan tanggung jawab besar yang dipegang oleh pemerintah. Pemerintah juga memiliki andil dalam menciptakan ekosistem bisnis yang mumpuni, seperti memberikan insentif yang adil dan wajar

untuk pekerja di sektor *sustainability*. Sementara itu, pihak swasta maupun BUMN dapat bekerjasama dengan pihak asing (luar negeri) untuk memastikan *transfer of technology* dapat terjadi dengan baik. Hal ini penting untuk meningkatkan kapabilitas SDM dalam negeri menghadapi tantangan besar dunia. Untuk jangka waktu menengah dan panjang mungkin dapat dilakukan peningkatan kualitas pendidikan serta pembentukan program pelatihan khusus dalam upaya untuk melakukan *upskilling* dan *reskilling*.

Pencapaian Indonesia Emas 2045 memerlukan transformasi mendalam yang melibatkan peningkatan kapasitas ekonomi dan komitmen terhadap keberlanjutan lingkungan. Pemanfaatan green jobs dalam sektor-sektor kunci menawarkan jalan menuju pertumbuhan yang tidak hanya cepat namun juga adil dan berkelanjutan. Secara total, potensi penciptaan *green jobs* di Indonesia dapat mencapai antara 8 juta s.d. 13 juta pekerjaan berbasis hijau. Melalui strategi yang berfokus pada ekonomi hijau, Indonesia berada pada posisi yang strategis untuk tidak hanya memenuhi target pertumbuhannya tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap upaya global dalam mengatasi perubahan iklim. Ini merupakan kesempatan emas untuk Indonesia tidak hanya bertransformasi menjadi kekuatan ekonomi global, tetapi juga menjadi pelopor dalam pembangunan berkelanjutan dan keadilan ekologis.

BAB I

Konteks dan latar belakang

"Indonesia ini negara besar, kita harus mampu keluar dari middle income trap, kuncinya kita harus mampu menaikkan nilai tambah di dalam negeri, di tengah gempuran resesi global, perang dagang, konflik geopolitik, rata-rata pertumbuhan ekonomi kita tetap resilience..."—**Gibran Rakabuming Raka**¹

"...namun demikian, Indonesia tetap perlu bersiap menghadapi berbagai tantangan yang akan muncul, yang terkait dengan peningkatan produktivitas SDM, peningkatan produktivitas modal, perubahan iklim, hingga tantangan stabilitas global ke depan yang semakin dinamis" – **Presiden Jokowi**²

1.1 Menuju Indonesia Emas 2045

Indonesia merupakan kekuatan yang diperhitungkan di antara negara-negara G20. Pertumbuhan makroekonominya kuat, termasuk kemampuan untuk mempertahankan pertumbuhan ekonomi sekitar 5 persen ditengah pandemi COVID dan krisis keuangan, tingkat inflasi keempat terendah di antara negara-negara G20, dan kinerja

¹ "Gibran: Kita Harus Mampu Keluar dari Middle Income Trap," kumparan, accessed April 13, 2024, <https://kumparan.com/kumparanbisnis/gibran-kita-harus-mampu-keluar-dari-middle-income-trap-21ot3Q1ULG0>.

² PT INDO PREMIER SECURITIES, "Keluar dari Jebakan Middle Income, Jokowi Luncurkan RPJPN 2025-2045," IPOTNEWS, June 15, 2023, https://www.indopremier.com/ipotnews/newsDetail.php?jdl=Keluar_dari_Jebakan_Middle_Income__Jokowi_Luncurkan_RPJPN_2025_2045&news_id=166284&group_news=IPOTNEWS&news_date=2023-06-15&tagging_subtype=PG002&name=&search=y_general&q=,&halaman=1.

portofolio saham yang relatif stabil dengan minimnya volatilitas nilai tukar, telah menjadi warisan penting dari Presiden Jokowi. Momentum yang kuat ini perlu dipertahankan, terutama oleh pemimpin Indonesia berikutnya.

Negara kita bercita-cita mewujudkan Indonesia Emas 2045³. Sebelum 2045, Indonesia diprediksi menjadi negara dengan populasi terbesar keempat di dunia, di mana sebagian besar penduduknya, yaitu sekitar 180 juta orang, akan berada di usia produktif. Beberapa kondisi yang ditargetkan Indonesia, antara lain: pertama, pendapatan per kapita yang setara dengan negara maju, yaitu USD 30.300 per kapita, atau sekitar enam kali lipat dari Pendapatan Nasional Bruto (PNB) per kapita saat ini, yaitu sekitar USD 5.500. Kedua, Indonesia harus berhasil keluar dari kondisi Perangkap Pendapatan Menengah (Middle Income Trap), di mana pencapaian target ini akan didukung oleh beberapa indikator kunci di Tabel 2.1.

Tabel 1.1 Indikator Capaian saat ini vs Target Indonesia Emas 2045⁴

Indikator	Baseline (2024-2025)	Target (2045)
PNB per kapita	5.500 USD	30.300 USD
Kontribusi PDB sektor maritim	7,6%	15%
Kontribusi PDB manufaktur	20,8%	28%
Global Power Index	Ranking 34	Ranking 15 teratas
Tingkat kemiskinan	6% - 7%	0,5% - 0,8%
Gini ratio	0,379 - 0,382	0,377 - 0,320
Kontribusi PDRB Kws. Timur Indonesia	21,5%	28,5%
Indeks Modal Manusia	0,54	0,73
Penurunan Intensitas Emisi GRK	38,6%	93,5%

³ “Beranda - RPJPN 2025-2045,” accessed February 29, 2024, <https://indonesia2045.go.id/>.

⁴ “Beranda - RPJPN 2025-2045.”

Untuk keluar dari middle income trap, Pemerintah menyatakan bahwa diperlukan pertumbuhan ekonomi riil sebesar 6-7 persen. Untuk mencapai target pertumbuhan ini, fokus utama pemerintah adalah pada ekspansi ekonomi melalui industrialisasi dan pembangunan sektor manufaktur. Strategi pertumbuhan ekonomi tinggi harus didukung oleh produktivitas kapital melalui inovasi dan efisiensi. Upaya ini meliputi hilirisasi sumber daya alam dan transformasi sektor industri. Selain itu, diperlukan pengendalian inflasi melalui instrumen fiskal dan non-fiskal, penghapusan kemiskinan ekstrem, penurunan prevalensi stunting, peningkatan investasi, dan percepatan pembangunan infrastruktur.

Indonesia harus bertransformasi menjadi ekonomi yang didorong oleh investasi, *'know-how'*, dan teknologi. Dalam visi ini, pertumbuhan investasi menjadi kontributor utama terhadap pertumbuhan PDB. Pertumbuhan yang tinggi tidak hanya menciptakan peluang kerja berkualitas tetapi juga meningkatkan dan menyamakan pendapatan dalam jangka panjang. Investasi besar-besaran yang ditargetkan secara efisien dan efektif, adopsi teknologi baru, dan pengembangan modal manusia yang terdepan akan meningkatkan produktivitas ekonomi. Akhirnya, siklus ini bisa menciptakan lingkaran pengembangan yang kuat yang dimulai dengan daya saing industri Indonesia, memaksimalkan nilai tambah, meningkatkan ekspor, menuju ekonomi yang terindustrialisasi dan kuat yang siap dinikmati oleh generasi mendatang.

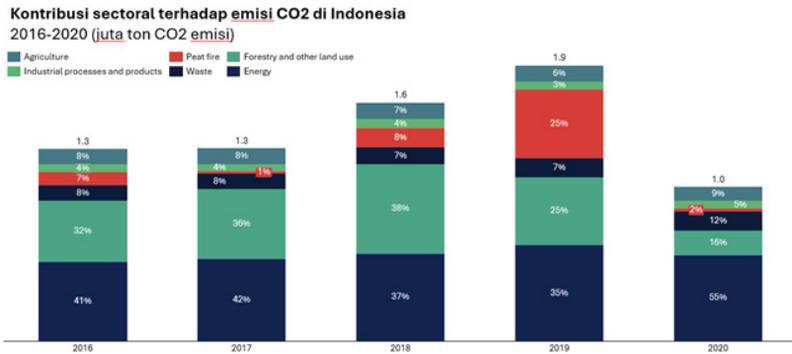
Perjalanan ekonomi Indonesia ke depan dipenuhi berbagai rintangan tidak mudah. Ada beragam tantangan eksternal yang harus dihadapi. Krisis iklim yang semakin memburuk berisiko besar pada sektor-sektor vital seperti pertanian dan perikanan, yang sangat bergantung pada kondisi alam yang stabil. Selain itu, krisis pangan global yang dipicu perubahan iklim dan ketidakstabilan geopolitik dapat mengganggu ketersediaan dan akses terhadap sumber pangan pokok. Kondisi geopolitik yang tidak stabil dan ketegangan perdagangan global juga menambah ketidakpastian ekonomi, mempengaruhi ekspor dan impor serta investasi asing yang masuk. Faktor-faktor ini memerlukan strategi adaptif dan proaktif dari pemerintah untuk memitigasi dampak negatif dan mengamankan

stabilitas ekonomi dan sosial Indonesia. Tantangan global yang dinamis seringkali dampaknya tidak terduga.

Tantangan krisis iklim seharusnya bisa dimanfaatkan menjadi peluang. Hal ini akan dibahas dalam beberapa sub-bab selanjutnya.

1.2 Komitmen dan target dekarbonisasi Indonesia

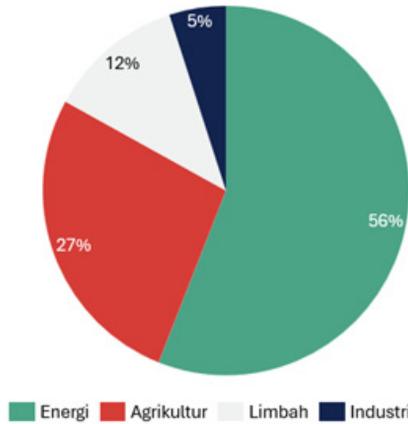
Indonesia, sedang berusaha menjadi negara ekonomi terbesar keempat di dunia, merupakan emitor gas rumah kaca (GHG) dengan jumlah cukup signifikan. Data menunjukkan, sekitar 1,8 gigaton CO₂ ekuivalen pada tahun 2019, dikeluarkan Indonesia. Negara kita ditempatkan sebagai salah satu dari 10 negara emitor GHG teratas di dunia⁵. Rincian emisi tersebut dapat dilihat pada Grafik 1.1 dan Grafik 1.2.



Grafik 1.1 Kontribusi Sektor terhadap Emisi CO₂ Indonesia (2016-2020)

⁵ “Climate Change in the Indonesian Mind,” October 11, 2023, <https://environment.yale.edu/news/article/climate-change-indonesian-mind>.

Emisi gas rumah kaca Indonesia 2021
(dalam jutaan ton CO₂e)



Grafik 1.2 Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia (2021)

Sebagai salah satu negara tropis terbesar di dunia, emisi terbesar setiap tahun secara historis dan kumulatif berasal dari kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (FOLU)—namun, hal ini berfluktuasi. Tergantung kondisi deforestasi tahunan, kehilangan hutan primer, dan kegiatan konservasi alam lainnya. Peningkatan yang konstan dan terus menerus berasal dari sektor energi, yang pada tahun 2020 menyumbang 56 persen dari total emisi dan akan terus bertumbuh seiring dengan pertumbuhan ekonomi Indonesia dan peningkatan permintaan listrik secara stabil. Menggali lebih dalam, kontribusi emisi energi sebesar 56 persen, 50 persen di antaranya berasal dari pembangkitan listrik—yang didominasi oleh pembangkit listrik tenaga batu bara dengan 60 persen dari total pembangkitan⁶.

Lebih lanjut, sebuah studi dari lembaga riset Breakthrough Energy⁷ menegaskan bahwa sebagian besar emisi di Indonesia bersumber dari sektor pertanian, yang menyumbang hingga 57 persen dari total emisi, diikuti oleh sektor industri manufaktur (19 persen), dan gabungan sektor kelistrikan dan transportasi (20

⁶ “Indonesia: Electricity Mix by Source 2022,” Statista, accessed December 11, 2023, <https://www.statista.com/statistics/993362/indonesia-energy-mix-for-power-generation-by-source/>.

⁷ “The Data | Breakthrough Energy,” accessed April 14, 2024, <https://breakthroughenergy.org/our-approach/the-data/>.

persen). Kajian ini fokus analisisnya pada sektor-sektor tersebut: pertanian, kelistrikan (termasuk transportasi berbasis kelistrikan), industri (khususnya manufaktur), serta pengelolaan limbah.

Untuk mengurangi dampak perubahan iklim, Indonesia telah menetapkan target mitigasi melalui Net Zero yang akan dicapai pada tahun 2060 melalui pengajuan Strategi Jangka Panjang untuk Karbon Rendah dan Ketahanan Iklim (LTS-LCCR) ke UNFCCC pada COP 26 tahun 2021. Menariknya, dokumen LTS-LCCR menyebutkan kata "...2060 atau lebih cepat..." tentang pencapaian emisi nol bersih, yang menunjukkan kemungkinan transisi yang lebih cepat. Mengenai target spesifik, dalam dokumen yang sama, Indonesia menyatakan target pengurangan emisi yang tidak bersyarat sebesar 31,89 persen dan 41 persen tergantung pada dukungan internasional dari skenario dasar di tahun 2030⁸.

Untuk mencapai Net Zero pada tahun 2060, Indonesia memerlukan investasi modal sebesar \$1-2 triliun USD (misalnya, jaringan transmisi dan distribusi, generasi energi terbarukan) dan aktivasi kebijakan (misalnya, subsidi untuk kendaraan listrik)⁹. Ini berarti Indonesia membutuhkan sekitar \$45 miliar USD pengeluaran "hijau" tahunan. Olivier Blanchard dari PIIE baru-baru ini membahas bahwa investasi "hijau" ini, jika tidak diprioritaskan dengan baik, dapat mengakibatkan ledakan utang publik, dan mengurangi pertumbuhan ketika dialokasikan untuk pengeluaran pemerintah¹⁰.

Indonesia tampaknya berada di persimpangan yang sulit—antara mengembangkan ekonomi untuk keluar dari "middle income trap" atau mencapai tujuan keberlanjutan. Logika di balik pemikiran ini adalah "trilemma" yang terkenal dalam dunia keberlanjutan. Sangat sulit untuk menyeimbangkan antara: keamanan energi yang krusial (dalam memenuhi kebutuhan domestik dan industri yang

⁸ "Indonesia Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050 (Indonesia LTS-LCCR 2050)," n.d.

⁹ "Jokowi: US\$1 Trillion of Investment Needed to Reach NZE Target by 2060 - News En.Tempo. Co," accessed March 1, 2024, <https://en.tempo.co/read/1804768/jokowi-us1-trillion-of-investment-needed-to-reach-nze-target-by-2060>.

¹⁰ Olivier Blanchard, "Reconciling the Tension between Green Spending and Debt Sustainability | PIIE," December 19, 2023, <https://www.pii.com/blogs/realtime-economics/reconciling-tension-between-green-spending-and-debt-sustainability>.

tumbuh untuk sumber energi yang penting bagi pembangunan), kesetaraan (dalam memastikan bahwa energi terjangkau dan dapat diakses), dan keberlanjutan (dalam menghadapi konsensus global untuk mitigasi krisis iklim dan beradaptasi dengan bencana yang terkait dengan iklim yang meningkat).

Jadi, bagaimana kita menyelesaikan prioritas yang tampaknya 'bertentangan' ini?

1.3 Menyeimbangkan Antara Target Pertumbuhan Ekonomi dan Dekarbonisasi

Pertanyaannya adalah: Bisakah kita meramu agenda dekarbonisasi Indonesia dari "beban" menjadi "investasi"? Menjadi sesuatu yang tidak 'bertentangan' dengan target pertumbuhan ekonomi, tetapi justru 'melengkapi'? Untuk Indonesia, jawabannya adalah ya.

Dalam membentuk sudut pandang serangan baru, Indonesia harus mempertimbangkan konsep "Green Growth". Dengan semua negara, perusahaan, dan individu yang diwajibkan untuk melakukan mitigasi dan adaptasi terhadap krisis iklim, permintaan untuk produk dan layanan hijau akan meningkat. Menurut studi dari Oxford Economics, transisi menuju dunia yang lebih hijau membutuhkan inovasi produk dan layanan baru dengan potensi nilai ekonomi sebesar 10 triliun dolar AS, atau 5 persen dari PDB dunia pada tahun 2050¹¹. Ricardo Hausmann dari Harvard Kennedy School, menyatakan bahwa peluang ini harus dimanfaatkan negara berkembang sebagai potensi untuk meraup peningkatan ekonomi melalui industri nilai tambah¹².

Kabar baiknya adalah Indonesia diberkati tiga pilar utama sumber daya untuk membangun industri hijau: sumber daya energi rendah karbon yang melimpah (~3,868 GW kapasitas energi

¹¹ "The Global Green Economy | Oxford Economics," accessed December 12, 2023, <https://www.oxfordeconomics.com/resource/the-global-green-economy-understanding-and-capturing-the-opportunity/>.

¹² Ricardo Hausmann, "Green Growth at the End of the Flat World | by Ricardo Hausmann," Project Syndicate, December 9, 2021, <https://www.project-syndicate.org/commentary/green-growth-and-end-of-flat-energy-world-by-ricardo-hausmann-2021-12>.

terbarukan¹³), mineral kritis yang dapat diolah menjadi produk hijau (misalnya, nikel, kobalt), dan solusi berbasis alam dan biologi yang melimpah (misalnya, biomassa, penyerapan alam). Berkah ini dapat memberikan Indonesia sudut pandang ekonomi yang unik dalam memulai perjalanan transisi energi. Namun, Indonesia hanya dapat menangkap peluang pertumbuhan ekonomi jika dapat menangkap aspek industrialisasi dari sumber daya ini.

Indonesia memiliki salah satu potensi energi terbarukan tertinggi (~3,868 GW). Ini terlihat dari permintaan tinggi untuk elektron hijau kita, misalnya, inisiatif pemerintah untuk mengeksport elektron hijau ke Singapura. Kuncinya adalah Indonesia juga harus menguasai teknologi dan mengindustrialisasi seluruh rantai nilai untuk menuai manfaat ekonomi. Perlahan memperoleh 'know how' untuk manufaktur panel surya dan rantai nilai baterai dapat meningkatkan perekonomian dan pasokan pekerjaan yang maju. Inisiatif ekspor elektron hijau Singapura adalah salah satu contoh kebijakan industri ekspor yang didorong oleh energi terbarukan, yang memerlukan hingga 60 persen konten lokal untuk panel surya yang digunakan dalam proyek tersebut¹⁴.

Indonesia juga diberkati dengan cadangan nikel terbesar di dunia, cadangan timah terbesar kedua, cadangan bauksit terbesar keenam, dan cadangan tembaga terbesar ketujuh¹⁵. Semua ini diperlukan untuk rantai nilai global dalam pengembangan produk teknologi hijau. Indonesia harus terus membangun rantai nilai baterai listrik dan hidrogen yang berasal dari mineral ini dan mengembangkan rantai nilai Indonesia lokal melalui kebijakan industri (misalnya, persyaratan konten lokal/prasyarat pembangunan industri untuk manfaat fiskal dan non-fiskal).

¹³ "Indonesia Urge to Optimize Renewables, Total Potential up to 3,689 GW | NEWS |

Recessary," accessed March 1, 2024, <https://www.recessary.com/en/news/id-announcement/indonesia-urge-to-optimize-renewables-total-potential-3689gw>.

¹⁴ "Indonesia Syaratkan TKDN 60 persen untuk Ekspor Listrik ke Singapura," Republika Online, September 9, 2023, <https://republika.co.id/share/s0pnqp490>.

¹⁵ "Indonesia Wants to Stop Exporting Minerals, Make Value-Added Products," accessed March 1, 2024, <https://www.cnbc.com/2022/04/14/indonesia-wants-to-stop-exporting-minerals-make-value-added-products.html>.

Potensi lainnya adalah solusi berbasis alam dan biologi kaya Indonesia. Negara kita termasuk salah satu yang terbesar keanekaragaman hayatinya. Sumber yang melimpah dan kegiatan pertanian besar-besaran (misalnya, kelapa sawit). Sebagai contoh, hanya dengan memanfaatkan limbah dari produksi kelapa sawit Indonesia, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) memperkirakan bahwa Indonesia dapat menghasilkan ~28 GW elektron terbarukan (~30% dari total kapasitas listrik saat ini di Indonesia) yang tersebar di seluruh kepulauan negara dengan 9,3 juta KL biodiesel (~40% dari impor minyak Indonesia). Kesempatan ini dapat membantu mengurangi ketergantungan Indonesia pada impor minyak. Tentu saja, mengembangkan peluang keanekaragaman hayati berarti Indonesia juga harus melindungi lingkungan melalui kebijakan ketat dalam operasi industri penggunaan lahan (misalnya, sertifikasi keberlanjutan seperti RSPO kelapa sawit).

Proses dekarbonisasi yang sedang berlangsung ini didorong oleh perubahan tren global, di mana investor dan importir dari negara-negara lain mulai menuntut produk yang lebih ramah lingkungan. Perubahan ini mendorong pergeseran ke praktik industri yang lebih berkelanjutan, yang secara langsung berdampak pada pengurangan jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan. Salah satu inisiatif penting dalam konteks ini adalah Mekanisme Penyesuaian Batas Karbon (CBAM)¹⁶, yang diperkenalkan oleh Uni Eropa (UE).

CBAM bertujuan untuk mengatasi kebocoran karbon dengan memberlakukan pajak pada produk impor yang tidak memenuhi standar harga karbon Uni Eropa, yang secara efektif mencerminkan biaya emisi karbon. Dengan melakukan ini, CBAM memaksa produsen dari negara-negara non-EU untuk membayar biaya ekstra yang setara dengan apa yang akan dibayar jika mereka mengoperasikan di bawah sistem perdagangan emisi EU. Ini bertujuan menciptakan medan kompetisi yang setara bagi produsen dalam UE dan mencegah situasi di mana perusahaan pindah produksi ke negara dengan kebijakan iklim yang kurang ketat untuk menghindari biaya emisi. Hal ini berarti negara berkembang seperti Indonesia dapat memanfaatkan potensi

¹⁶ “Carbon Border Adjustment Mechanism - European Commission,” accessed April 14, 2024, https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en.

industri hijaunya untuk bersaing secara global.

Sebagai negara yang besar, Indonesia tidak boleh lagi terlewat dalam menangkap tren global. Kita telah melewatkan revolusi industrialisasi pada dekade 1960-an dan kemudian terlambat memanfaatkan peluang di era digital dan jasa pada tahun 2000-an. Kini, dengan urgensi yang tinggi, Indonesia harus berposisi sebagai pemimpin dalam tren keberlanjutan global, kecuali kita ingin tetap tertinggal dan hanya menjadi negara berkembang menengah. Keterlibatan aktif dalam transisi keberlanjutan tidak hanya akan membantu mengurangi emisi karbon, tetapi juga akan membuka peluang ekonomi baru dan meningkatkan ketahanan nasional terhadap perubahan iklim dan tantangan global lainnya.

1.4 Implikasi: Pentingnya Membangun Ekosistem Green Jobs di Indonesia

Indonesia tidak dapat memanfaatkan peluang industri hijau jika tidak memiliki sumber daya manusia yang mampu memanfaatkan peluang ekonomi dari transisi ke arah ekonomi hijau. Keefektifan dan kesuksesan transisi industri hijau Indonesia sangat bergantung pada kualitas dan kapasitas dari sumber daya manusianya. Pergeseran menuju ekonomi yang lebih hijau memerlukan tenaga kerja yang tidak hanya lebih banyak, tetapi juga lebih terampil dalam bidang-bidang penting yang berkaitan dengan teknologi hijau dan praktik-praktik berkelanjutan.

Masa depan apakah Indonesia dapat mencapai keberlanjutan dan sekaligus pertumbuhan, sebenarnya berada di tangan apakah Indonesia dapat 'menambah nilai' pada sumber daya alamnya, melalui sumber daya manusia yang kuat, yang dapat menangkap peluang industri hijau. Mimpi Indonesia untuk keluar dari '*middle income trap*', mungkin bergantung pada apakah kita dapat secara efektif memanfaatkan populasi demografis yang meningkat di Indonesia sebagai tenaga kerja yang dapat menyesuaikan diri terhadap kebutuhan industri hijau masa depan.

Dalam bab-bab selanjutnya, akan didetilkkan kebutuhan *green jobs* (pekerjaan di industry ekonomi hijau) termasuk bagaimana Indonesia bisa memastikan terbangunnya ekosistem tersebut.

BAB II

Energi

“Meski banyak tantangan di masa depan, serta kami pun menyadari adanya hambatan pada teknologi, rantai pasokan, infrastruktur, pendanaan dan insentif, namun transisi energi yang berkeadilan tetap menjadi prioritas utama kami”

– Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Ir. Arifin Tasrif¹⁷

Untuk mencapai target *Net Zero Emission (NZE)* pada tahun 2060 atau lebih cepat, Indonesia menghadapi tantangan besar. *Net Zero Emission* merupakan kondisi dimana jumlah emisi gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer bisa dinetralisir dengan penyerapan atau pengurangan emisi. Kebijakan energi yang berlaku saat ini ternyata hanya mampu mengurangi sekitar 20 persen dari total proyeksi emisi pada 2030, dan diperkirakan emisi akan terus bertambah hingga 2060. Hal ini menandakan bahwa kebijakan saat ini belum cukup kuat untuk menanggulangi kenaikan emisi. Sebagai respons, Indonesia membutuhkan transisi menuju sistem energi yang bebas emisi. Transisi ini didukung oleh empat pilar utama: pertama, meningkatkan penggunaan energi terbarukan, seperti *solar* dan *wind*; kedua, mendorong elektrifikasi pada berbagai sektor permintaan, termasuk transportasi dan industri; ketiga, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil; dan keempat, mengadopsi bahan bakar alternatif yang rendah karbon. Langkah-langkah ini dirancang untuk membawa Indonesia lebih dekat ke pencapaian

¹⁷ KLHK (2022), Enhanced NDC: Komitmen Indonesia Untuk Makin Berkontribusi Dalam Menjaga Suhu Global

tujuan NZE, sekaligus mempromosikan pekerjaan hijau sebagai bagian dari ekonomi masa depan.¹⁸

Sektor energi di Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam memenuhi permintaan energi yang terus meningkat melalui transisi ke energi terbarukan. Hal ini ditandai dengan ketergantungan bersejarah negara ini terhadap batu bara sebagai sumber energi utama, posisi yang menempatkan Indonesia sebagai salah satu negara dengan tingkat emisi CO₂ tertinggi di dunia. Kondisi ini memberikan kontribusi tidak hanya terhadap perubahan iklim—akibat dari emisi gas rumah kaca yang menutupi bumi dan memerangkap panas matahari, menyebabkan peningkatan suhu global dengan berbagai dampak negatif, seperti memburuknya polusi udara, dampak buruk pada kesehatan manusia, penurunan kualitas dan kuantitas air, kekeringan, kebakaran hutan, serta peningkatan permukaan laut yang dapat memicu banjir—tetapi juga menandai kebutuhan mendesak untuk dekarbonisasi sebagai strategi penting. Melalui Perjanjian Paris pada tahun 2015, para pemimpin dunia berkomitmen untuk membatasi kenaikan suhu global dalam jangka panjang hingga maksimal 1,5 derajat Celsius, menegaskan pentingnya transisi ke sumber daya energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.¹⁹

COP28 yang baru dilaksanakan di Dubai membawa dampak signifikan bagi Indonesia, terutama dalam upaya transisi energi berkelanjutan. Dengan kesepakatan global untuk meningkatkan kapasitas energi terbarukan hingga tiga kali lipat pada tahun 2030, Indonesia melalui kerjasama antara PT Sarana Multi Infrastruktur (SMI) dan *Southeast Asia Energy Transition Partnership* (ETP), berkomitmen mempercepat pengembangan energi bersih. Aliansi strategis ini akan berfokus pada pembiayaan transisi energi, penelitian bersama, dan dialog kebijakan untuk menguatkan inisiatif energi terbarukan²⁰.

Berkaca pada COP 28 yang berlangsung di Dubai, Uni Emirat Arab, dari 30 November hingga 12 Desember 2023, terdapat empat pilar

¹⁸ Institute for Essential Services Reform (2024), *Indonesia Energy Transition Outlook 2024*

¹⁹ World Bank (2023), *World Bank Group Report Proposes Policies, Investments to Enable Indonesia to Achieve its Development and Climate Goals*

²⁰ PT SMI (2023), *PT SMI dan UNOPS ETP Berkolaborasi Mendorong Transisi Energi di Indonesia*

utama dalam Agenda Aksi Presidensi. Pilar-pilar tersebut mencakup percepatan transisi energi yang adil, pembenahan pendanaan iklim, fokus pada manusia serta kehidupan dan mata pencaharian, dan mendukung kegiatan dengan inklusivitas menyeluruh²¹. Saat ini, kemajuan Indonesia dalam sektor energi mencakup beberapa isu kunci. Pertama, dalam hal pendanaan, Indonesia menghadapi tantangan besar untuk mengakses pendanaan sebesar US\$ 1 triliun yang diperlukan untuk mencapai *net zero* pada tahun 2060, seperti yang diungkapkan oleh Presiden Joko Widodo dalam *keynote speech* di COP28. Kedua, PT PLN (Persero) telah menandatangani 14 MoU untuk melakukan studi bersama dan mengembangkan berbagai teknologi, termasuk hidrogen hijau, kendaraan listrik, dan pembangkit tenaga air. Terakhir, pembangunan kapasitas masih memerlukan pengembangan lebih lanjut dari program-program yang ada untuk kelembagaan dan individu.

Peningkatan emisi karbon menghasilkan polusi yang memperburuk kualitas udara, menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk iritasi mata, hidung, dan tenggorokan, asma, penyakit kardiovaskular, gangguan sistem reproduksi, kanker paru-paru, stunting, dan berat badan lahir rendah. Di DKI Jakarta, polusi tinggi mengurangi harapan hidup rata-rata sebanyak 5,5 tahun²². Selain itu, emisi kendaraan dan industri telah mengganggu ekosistem alami, merusak tumbuhan, mengurangi populasi serangga dan hewan, serta menyebabkan gangguan pada rantai makanan. Polusi juga berdampak pada lingkungan, dimana oksida nitrogen dan sulfur berkontribusi pada kerusakan lapisan ozon dan menyebabkan hujan asam. Pelepasan CFC dari beberapa proses industri juga ikut merusak ozon.

Analisis ini bertujuan mengidentifikasi, memitigasi dan antisipasi pemanfaatan potensi energi terbarukan di Indonesia, yang belum banyak dimaksimalkan, termasuk untuk mengurangi emisi karbon. Hal ini meliputi pengembangan sumber daya manusia dan peningkatan

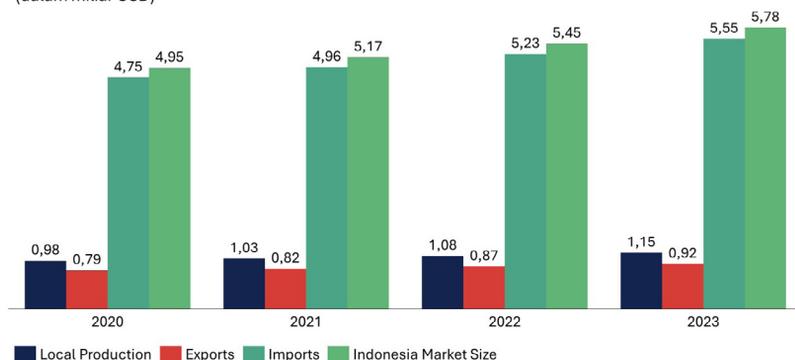
²¹KADIN (2023), Hasilkan Komitmen Bantuan Pembiayaan Energi Terbarukan, Kadin Indonesia Gelar Forum Diskusi Post COP 28

²²Air Quality Life Index (2021), Polusi Udara Indonesia dan Dampaknya Terhadap Usia Harapan Hidup

penggunaan energi bersih. Energi utama terbagi menjadi dua kategori: pembangkitan listrik dari sumber fosil (batu bara, minyak, gas alam) dan terbarukan (surya, angin, hidro) serta penggunaan langsung bahan bakar seperti gas alam untuk kebutuhan seperti pemanasan, pendinginan, transportasi, dan proses industri.

Perlu ditekankan bahwa Indonesia masih sangat bergantung pada impor, terutama dalam hal peralatan energi. Secara historis, lebih dari 90 persen pasar peralatan energi Indonesia didominasi oleh impor, setara dengan sekitar US\$5.4 miliar pada tahun 2022²³. Di sisi lain, produksi lokal hanya menyumbang kurang dari 20 persen pasar dan sebagian besar diekspor. Jika Indonesia terus bergantung pada impor, dengan impian ingin mencapai karbon netral, maka Indonesia akan kehilangan sejumlah besar investasinya ke luar negeri. Oleh karena itu, penting bagi Indonesia mempersiapkan produksi peralatan energi secara lokal.

Dinamika Pasar Peralatan Energi Indonesia 2020 - 2023
(dalam miliar USD)



Grafik 2.1 Dinamika Pasar Peralatan Energi Indonesia

Dengan memperhatikan situasi Indonesia saat ini, kami melakukan analisis proyeksi kebutuhan Indonesia di masa yang akan datang, serta merumuskan strategi dan rekomendasi agar Indonesia mampu memenuhi permintaan pekerjaan hijau serta mengambil kendali penuh terhadap arah perkembangan energi di negara ini.

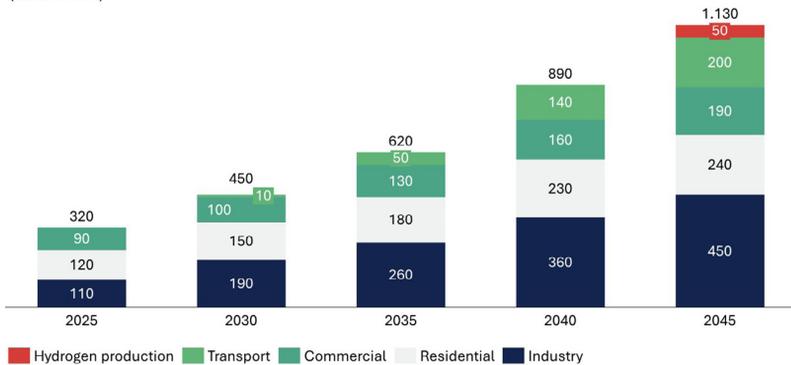
²³ International Trade Administration (2024), Indonesia – Country Commercial Guide

2.1 Masa Depan Permintaan Energi Indonesia

2.1.1 Kebutuhan Listrik Indonesia dan Distribusinya

Dalam skenario JETP (2023), diperkirakan permintaan listrik *on-grid* di Indonesia meningkat signifikan. Dengan laju pertumbuhan tahunan sebesar 6,4 persen hingga tahun 2030 dan 5,8 persen sampai tahun 2050. Sektor industri akan menjadi konsumen terbesar. Hal ini mencerminkan target agresif Indonesia dalam meningkatkan penggunaan listrik. Penting untuk menyoroti bahwa peningkatan ini tidak terjadi secara kebetulan, melainkan dipicu oleh berbagai faktor utama.

Proyeksi Permintaan Listrik On-grid Berdasarkan Sektor
(dalam TWh)



Grafik 2.2 Proyeksi permintaan listrik *on-grid* berdasarkan sektor

Residensial

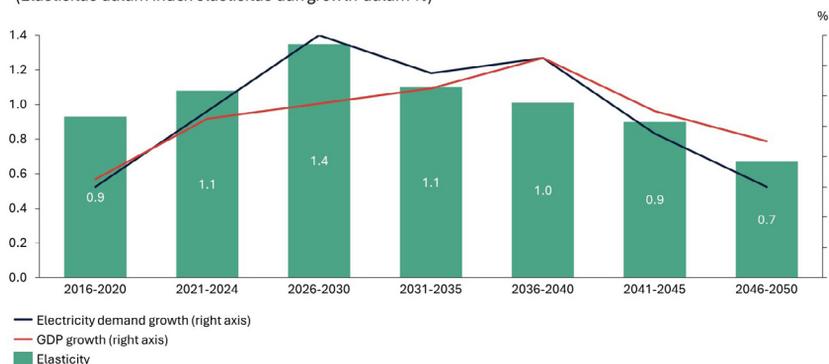
Pertumbuhan ekonomi yang kuat, peningkatan jumlah penduduk, dan urbanisasi yang meningkat di Indonesia mengakibatkan permintaan akhir daya listrik tiga kali lipat pada tahun 2050 dari tingkat permintaan tahun 2021²⁴. Dari tahun 2023 hingga 2050, pertumbuhan tahunan rata-rata Produk Domestik Bruto (PDB) diperkirakan mencapai 5,8 persen, menandakan ekspansi ekonomi

²⁴ International Energy Agency (2022), World Energy Outlook 2022: Outlook for Electricity

yang signifikan dan berkelanjutan selama periode tersebut²⁵. Ini merupakan peningkatan dari proyeksi pertumbuhan tahunan sebelumnya sebesar 5,3 persen antara tahun 2021 dan 2050, di mana PDB Indonesia diperkirakan akan meningkat 3-3,5 kali, sementara jumlah penduduk bertambah 20 persen (atau sekitar 55 juta orang).

Selama dua dekade terakhir, elastisitas pendapatan dari permintaan listrik—yang mengukur sensitivitas permintaan terhadap pertumbuhan ekonomi—rata-rata adalah 1,13 menunjukkan bahwa konsumsi listrik berkembang lebih cepat daripada ekonomi²⁶. Peningkatan rata-rata pertumbuhan PDB tahunan menjadi 5,8 persen lebih lanjut memperkuat proyeksi bahwa permintaan energi, khususnya listrik, akan meningkat secara signifikan, didorong oleh ekspansi ekonomi yang kuat, pertumbuhan populasi, dan urbanisasi. Kondisi ini menggarisbawahi pentingnya meningkatkan kapasitas produksi listrik dan mengadopsi kebijakan yang mendukung efisiensi energi serta investasi dalam energi terbarukan untuk memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan demografi.

Rata-rata Elastisitas Pendapatan dari Permintaan Listrik
(Elastisitas dalam index elastisitas dan *growth* dalam %)



Grafik 2.3 Rata-rata elastisitas pendapatan dari permintaan listrik

²⁵ BloombergNEF (2022), *Net-Zero Transition: Opportunities for Indonesia*

²⁶ Just Energy Transition Partnership Indonesia (2023), *Comprehensive Investment and Policy Plan 2023*

Komersil

Peningkatan permintaan listrik di sektor komersial, yang diperkirakan tumbuh sekitar 4,5 persen hingga tahun 2030, dapat dikaitkan dengan beberapa faktor penting, termasuk implementasi *Minimum Energy Performance Standards* (MEPS) dan pelabelan untuk peralatan²⁷. Inisiatif ini, bersama dengan tren peningkatan standar hidup dan kebutuhan untuk kenyamanan seperti pendinginan ruangan yang lebih efektif, memainkan peran kunci dalam mengurangi konsumsi energi sambil memenuhi kebutuhan kenyamanan. Secara khusus, diperkirakan konsumsi listrik rata-rata per unit pendingin udara akan menurun sebesar 50 persen dan konsumsi listrik rata-rata per kulkas akan menurun sebesar 30 persen pada tahun 2050. Langkah-langkah efisiensi ini, bersama dengan peningkatan elektrifikasi memasak yang mencapai lebih dari 70 persen pada tahun 2050, menandakan pergeseran menuju operasi yang lebih efisien dan berkelanjutan di sektor komersial²⁸.

Pengembangan ekonomi yang pesat tidak hanya meningkatkan kebutuhan akan ruang kantor dan fasilitas ritel—yang memerlukan lebih banyak energi listrik—tetapi juga mendorong transisi ke solusi berbasis listrik di sektor komersial, seperti di restoran dan fasilitas pengolahan makanan, bersamaan dengan adopsi praktik ramah lingkungan oleh bisnis, termasuk penggunaan energi terbarukan dan sistem manajemen energi cerdas (*smart-energy*). Inisiatif ini, meskipun awalnya meningkatkan permintaan untuk instalasi baru, bertujuan untuk efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional jangka panjang. Sektor komersial, melalui implementasi standar performa energi minimum, pelabelan, dan pengurangan konsumsi listrik pada peralatan utama seperti AC dan kulkas, bergerak menuju pengurangan jejak karbon. Peningkatan elektrifikasi memasak dan komitmen terhadap pengurangan emisi dan penggunaan energi bersih menunjukkan keselarasan dengan kebijakan pemerintah dan tren global menuju keberlanjutan.

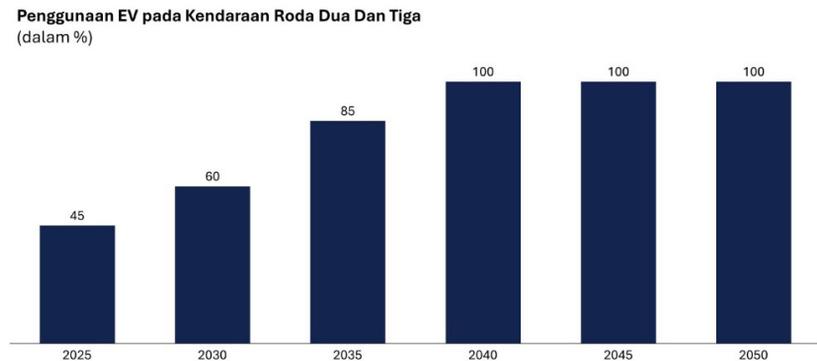
²⁷ MDPI (2023), *Demand Side Management in Industrial, Commercial, and Residential Sectors: A Review of Constraints and Considerations*

²⁸ Just Energy Transition Partnership Indonesia (2023), *Comprehensive Investment and Policy Plan 2023*

Transportasi

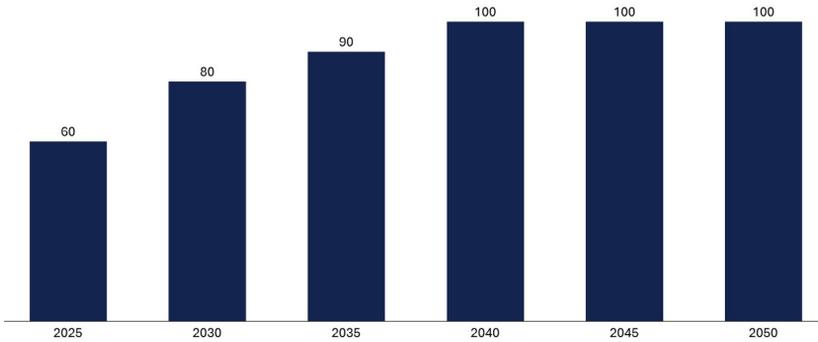
Peningkatan permintaan listrik di sektor transportasi Indonesia, khususnya untuk kendaraan listrik, dipicu oleh beberapa faktor: kesadaran akan perubahan iklim, efisiensi serta keterjangkauan teknologi baterai, cadangan nikel yang strategis, dan dukungan kebijakan pemerintah. Faktor-faktor ini mendorong transisi ke energi bersih dan pertumbuhan ekonomi, sambil mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Penjualan kendaraan listrik yang meningkat pesat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Kesadaran global mengenai perubahan iklim dan kebutuhan untuk mengurangi emisi karbon mendorong pemerintah dan konsumen beralih ke kendaraan yang lebih ramah lingkungan. Terutama di sektor sepeda motor listrik (e2W), elektrifikasi mobilitas menjadi langkah strategis dan ekonomis dalam strategi transisi mobilitas Indonesia. Industri e2W diperkirakan dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 6,1 juta ton setiap tahun, mendukung target nasional untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil hingga tahun 2045.



Grafik 2.4 Penggunaan EV pada kendaraan roda dua dan tiga

Penggunaan EV pada Bus
(dalam %)



Grafik 2.5 Penggunaan EV pada bus

Perkembangan teknologi baterai *lithium-ion* yang signifikan telah membuat kendaraan listrik (EV) lebih terjangkau dan praktis untuk penggunaan sehari-hari²⁹. Peningkatan kapasitas baterai dan pengurangan waktu pengisian telah mengatasi sejumlah hambatan awal terhadap adopsi EV.

Indonesia, yang memiliki sekitar seperempat dari total cadangan nikel global, memiliki posisi strategis dalam rantai pasokan baterai EV³⁰. Sebagai komponen kunci dalam pembuatan baterai *lithium-ion*, nikel memperkuat potensi Indonesia sebagai pemain kunci dalam industri baterai global. Hal ini tidak hanya mendorong pertumbuhan ekonomi domestik tetapi juga memosisikan Indonesia sebagai pusat strategis dalam transisi energi bersih global.

Kebijakan pemerintah yang mendukung, termasuk insentif pembelian EV, pembangunan infrastruktur pengisian daya, dan regulasi yang menguntungkan, telah mempercepat adopsi kendaraan listrik. Hal ini menciptakan lingkungan yang kondusif bagi peningkatan permintaan listrik, sejalan dengan target penjualan

²⁹ MDPI (2022), *Global Advancements and Current Challenges of Electric Vehicle Batteries and Their Prospects: A Comprehensive Review*

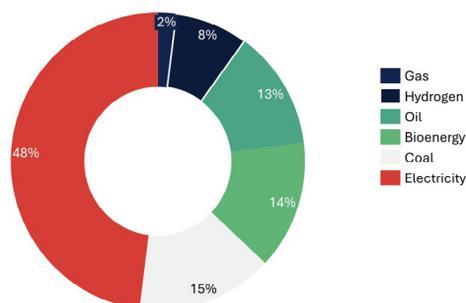
³⁰ KPMG (2021), *Decarbonization of Transport: EV & EV Battery Development Plan in Indonesia*

EV yang ambisius untuk mobil, sepeda motor, dan truk, yang mencerminkan komitmen nasional dan global terhadap transisi energi bersih

2.1.2 Kebutuhan Bahan Bakar End-Use

Dalam skenario *net zero*³¹, terdapat transformasi yang signifikan dalam pola konsumsi energi Indonesia. Total konsumsi energi berjumlah 7,961PJ, dimana kontribusi batubara, gas, dan minyak secara signifikan berkurang menjadi total 30 persen, dengan rincian 15 persen dari batubara, 2 persen dari gas, dan 13 persen dari minyak. Sebagai gantinya, pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti bioenergi dan hidrogen meningkat, masing-masing menjadi 14 persen dan 8 persen, mencerminkan perubahan mendalam menuju sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Dalam konteks ini, prioritas utama adalah mengalihkan permintaan dari bahan bakar fosil ke sumber energi yang lebih bersih, serta mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

Proyeksi Konsumsi Energi Final Indonesia pada 2050
(dalam PJ)



Grafik 2.6 Proyeksi Konsumsi Energi Final Indonesia pada 2050

Setelah meninjau komposisi konsumsi energi untuk listrik, pembahasan akan dilanjutkan mengenai faktor-faktor kunci yang mempengaruhi penggunaan energi langsung. Penggunaan

³¹ BloombergNEF (2022), *Net Zero Transition: Opportunities for Indonesia*

langsung ini termasuk sumber daya seperti batu bara, biofuel, dan hidrogen.

Sektor Bahan Bakar Fosil

Perekonomian Indonesia yang terus berkembang serta urbanisasi yang meningkat secara signifikan telah memacu peningkatan permintaan akan energi. Pemerintah Indonesia akan terus berusaha meningkatkan produksi minyak dan gas demi memenuhi kebutuhan domestik karena infrastruktur energi yang saat ini masih sangat tergantung pada pembangkit listrik tenaga batu bara. Hal ini menunjukkan bahwa peralihan Indonesia ke sumber energi yang lebih bersih tidak akan dapat terjadi dalam waktu dekat tanpa investasi besar-besaran dan perubahan mendasar dalam infrastruktur energi³². Ketergantungan yang mendalam pada batu bara sebagai sumber energi utama memperlihatkan tantangan yang substansial dalam mengimplementasikan energi yang lebih ramah lingkungan di negara ini.

Oleh karena itu, teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) berperan vital dalam mempercepat dekarbonisasi di Indonesia, mengurangi emisi sembari memanfaatkan sumber daya energi yang ada. Dengan menangkap CO₂ dari fasilitas industri dan bahan bakar fosil yang sudah beroperasi, CCUS tidak hanya menyimpan gas ini di bawah permukaan bumi untuk mencegah pelepasannya ke atmosfer, tetapi juga memungkinkan pemanfaatan ulang CO₂ untuk meningkatkan produksi minyak dan gas³³.

Indonesia, dengan berbagai industri penghasil CO₂ seperti pembangkit listrik batu bara, pengolahan gas alam, dan kilang minyak, memiliki potensi besar untuk penerapan teknologi CCUS. Keunggulan geografis dan geologis negara ini, termasuk potensi penyimpanan CO₂ sekitar 2 giga ton yang tersebar di Sumatera, Jawa, Kalimantan, dan Papua, serta potensi *saline aquifer* 9,68 giga ton di Sumatera Selatan dan Jawa Barat, menambah prospek positif

³² Kemaritiman dan Investasi (2023), Hari Maritim Nasional : Layar Berkembang Menuju Indonesia *Manju*

³³ Forum Geosaintis Muda Indonesia (2020), Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) untuk menurunkan emisi CO₂. Bagaimana di Indonesia?

(ESDM, 2022). Saat ini, 15 proyek CCS/CCUS sedang dikembangkan, dengan 8 di antaranya akan beroperasi antara 2026 dan 2035. Menurut laporan kolaborasi antara IEA dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, kapasitas penangkapan dan injeksi diperkirakan mencapai 190 juta ton pada tahun 2060³⁴.

Biofuel

Biofuel adalah bahan bakar yang dihasilkan dari biomassa secara cepat, berbeda dari bahan bakar fosil yang terbentuk melalui proses alam yang lambat. Dua jenis biofuel yang paling umum adalah bioetanol dan biodiesel. Bioetanol, sebuah alkohol, dibuat melalui fermentasi karbohidrat dari tanaman seperti jagung, tebu, atau sorgum manis. Biodiesel dihasilkan dari minyak atau lemak melalui proses transesterifikasi. Biofuel dianggap lebih ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah dan dianggap karbon-netral, mengingat karbon yang dilepaskan saat pembakaran sebelumnya telah ditangkap oleh tanaman yang digunakan dalam produksinya³⁵.

Bioetanol dan biodiesel dihasilkan dari minyak sawit yang merupakan sumber daya alam yang melimpah di Indonesia. Sebagai produsen biofuel terbesar ketiga di dunia pada tahun 2022 dengan produksi 174.000 BOE/hari, Indonesia telah menerapkan program mandatori biodiesel yang mencampurkan biodiesel ke dalam bahan bakar minyak (BBM jenis diesel selama 14 tahun yang menghasilkan luaran positif³⁶. Negara ini terus meningkatkan produksi biodiesel sehingga mencapai pengurangan emisi diperkirakan mencapai 28.14 juta MtCO₂e pada tahun 2022³⁷.

Sejak Juli 2023, Indonesia telah meluncurkan campuran bensin bioetanol 5 persen atau E5 yang berasal dari molase tebu, dikenal sebagai Pertamina Green RON 95. Hingga November 2023, telah

³⁴ Asia CCUS Network (2023), Indonesia Tabled CCS and CCUS in Net Zero Emission Road Map: Opening Possibilities for Cross-Border Carbon Trading/Storage

³⁵ Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia (2022), Akselerasi Transisi Energi Bersih dan Meraih Net Zero Emission melalui Kebijakan Biodiesel

³⁶ Muhamad, N. (2023), Indonesia Jadi Produsen Biofuel Terbesar Ketiga Global pada 2022

³⁷ Ministry of Energy and Minerals (2022), Buku Saku Pengembangan Bioenergi Tahun 2022

diuji coba di 17 stasiun pengisian bahan bakar di Jakarta dan 12 di Surabaya, dengan konsumsi harian total mencapai 5 kiloliter. Selain itu, Pertamina berencana untuk menggantikan Peralite RON 90 dengan Pertamina Green RON 92 yang mengandung campuran bioetanol 7 persen³⁸. Lalu sejak Agustus 2023, 119 stasiun pengisian bahan bakar di Indonesia telah mulai menggunakan Biodiesel B35 dengan tingkat campuran 33,9 persen, yang diperkirakan akan menghabiskan 13,15 juta kiloliter. Saat ini, B40 masih dalam fase pengujian untuk peralatan berat, kapal laut, alat dan mesin pertanian, serta sektor kereta api³⁹.

Pada tahun 2045, Indonesia bertujuan menggantikan sebagian besar bahan bakar fosil yang digunakan pada mesin dengan bioenergi. Biofuel, termasuk biodiesel dan bioetanol, diharapkan berperan kunci dalam transisi ini, terutama di sektor transportasi di mana dapat digunakan langsung pada mesin dengan sedikit atau tanpa modifikasi yang diperlukan. Perubahan menuju bioenergi di Indonesia diharapkan dapat menghasilkan pengurangan emisi yang signifikan dari pembakaran mesin. Secara umum, biofuel mengeluarkan level gas rumah kaca yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil tradisional ketika dibakar, sehingga berkontribusi pada target pengurangan emisi Indonesia. Namun, seiring dengan upaya pengurangan penggunaan bahan bakar fosil untuk transportasi yang menurun, penggunaan biofuel juga dapat mengikuti tren secara bertahap.

Hidrogen

Hidrogen, yang merupakan elemen paling ringan dan paling melimpah di alam semesta, memiliki potensi besar sebagai sumber energi bersih. Keberagamannya dan kemampuannya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca menjadikannya elemen kunci dalam transisi kita menuju sistem energi berkelanjutan. Hidrogen abu-abu, bentuk yang paling umum, diproduksi dari gas alam melalui proses yang disebut "*steam reforming*". Meskipun menghasilkan emisi lebih sedikit dibandingkan bahan bakar fosil lain, ia masih

³⁸ Pertamina (2023), Pertamina Energia Weekly

³⁹ Ministry of Energy and Minerals (2022), Buku Saku Pengembangan Bioenergi Tahun 2022

melepaskan karbon dioksida, membuat dampak lingkungannya moderat dan tidak optimal, dengan penangkapan karbon yang tidak dilakukan selama produksi. Meskipun memiliki kekurangan, hidrogen abu-abu tetap menjadi bagian penting dari lanskap energi kita saat ini⁴⁰.

Sebaliknya, hidrogen biru juga diproduksi melalui *steam reforming*, namun melibatkan proses penangkapan dan penyimpanan karbon yang dihasilkan di bawah tanah, yang secara signifikan menurunkan dampak lingkungannya. Ini membuat hidrogen biru sebagai solusi transisi yang menghubungkan bahan bakar fosil konvensional dengan alternatif yang lebih bersih⁴¹.

Hidrogen hijau, yang paling bersih, diproduksi menggunakan sumber energi terbarukan seperti angin atau solar melalui elektrolisis, tanpa menghasilkan emisi karbon selama proses tersebut. Jenis hidrogen ini, yang memecah air menjadi hidrogen dan oksigen, adalah netral iklim dan sangat penting untuk mencapai emisi *net-zero* global pada tahun 2050. Meskipun ada jenis-jenis hidrogen lain seperti pink, kuning, atau *turquoise* yang terkadang muncul, mereka lebih dikenal karena metode produksi atau konvensi penamaan yang unik daripada prevalensi atau dampaknya. Namun, fokus utama tetap pada hidrogen abu-abu, biru, dan hijau karena peran kritis mereka dalam transisi energi.

Hidrogen, sebagai sumber energi baru yang rendah karbon, tersedia melimpah di Indonesia dan saat ini dikonsumsi lebih dari 1,75 juta ton per tahun. Penggunaannya masih terbatas pada produksi pupuk, amonia, dan kilang minyak. Hidrogen memiliki potensi besar dalam mendukung transisi energi Indonesia dengan meningkatkan ketahanan energi, diversifikasi sumber energi, dan pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan. Meskipun saat ini masih dalam tahap penelitian dan proyek percontohan, proyeksi menunjukkan bahwa penggunaan hidrogen akan berkembang setelah tahun 2030, mencakup aplikasi pada kendaraan hidrogen, pembangkitan listrik,

⁴⁰ World Economic Forum (2021), Grey, blue, green – why are there so many colours of hydrogen?

⁴¹ World Economic Forum (2021), Grey, blue, green – why are there so many colours of hydrogen?

penyimpanan energi, dan dekarbonisasi sektor-sektor sulit seperti pelayaran, penerbangan, produksi baja, dan transportasi jarak jauh⁴².

Akan tetapi, efektivitas hidrogen dalam mitigasi emisi dan biayanya tergantung pada metode produksinya. Indonesia telah lama memproduksi dan menggunakan hidrogen 'abu-abu' dengan emisi karbon tinggi. Saat ini, upaya sedang dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca nasional dengan beralih ke hidrogen 'biru' dan 'hijau' yang lebih rendah emisinya. Menurut proyeksi IEA, Indonesia akan membutuhkan sekitar 6,3 juta ton hidrogen per tahun pada 2060 berdasarkan *Announced Pledge Scenario* ⁴³. Sementara itu, permintaan diperkirakan mencapai hampir 1,8 juta ton per tahun pada 2040 untuk menggantikan hidrogen 'abu-abu' dan akan terus bertumbuh hingga 36,2 juta ton per tahun pada 2060. Oleh karena itu, pada 2060, diperkirakan ada kesenjangan sebesar 30 juta ton per tahun antara permintaan domestik yang diproyeksikan dan target produksi pemerintah, yang akan bergantung pada kebijakan pemerintah dan inisiatif industri.

2.1.3 Kebijakan Pemerintah dan Komitmen Indonesia

Target Perubahan Iklim

Dalam rangka memenuhi komitmen global untuk membatasi pemanasan global tidak lebih dari 1,5°C sesuai dengan *Paris Agreement*, Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam mengurangi emisi karbon di sektor energi. Untuk mencapai target pengurangan emisi global sebesar 45 persen pada tahun 2030 dan *net zero* pada tahun 2050⁴⁴, penerapan strategi yang efektif dan transformasi sektor energi menjadi sangat krusial. Hal ini melibatkan perubahan besar dalam komposisi pembangkitan energi, dari dominasi bahan bakar fosil ke sumber energi nol karbon yang diharapkan menyumbang 83 persen dari total pembangkitan pada

⁴² Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (2023), Strategi Hidrogen Nasional

⁴³ International Energy Agency (2022), *An Energy Sector Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia*; Ministry of Energy and Minerals (2023), *Draft Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2023-2060*

⁴⁴ International Energy Agency (2023), *Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE)*

tahun 2050 dalam skenario *Net Zero* (NZS) Indonesia⁴⁵.

Selain itu, skenario net-zero global memperkirakan bahwa CO₂ akan mencapai net zero pada tahun 2050, dengan nyaris setengah dari pengurangan emisi diharapkan berasal dari teknologi yang saat ini masih dalam tahap demonstrasi atau prototipe. Negara-negara ASEAN, termasuk Indonesia, telah berkomitmen untuk mencapai target net-zero pada tahun yang sama. Dalam skenario yang paling ambisius, emisi gas rumah kaca ASEAN diharapkan turun 96 persen dari tahun 2021, dengan bahan bakar fosil hanya menyumbang 30% dari total permintaan energi regional, menurun drastis dari 82 persen di periode 1990-2021⁴⁶.

Peningkatan penerapan elektrifikasi di sektor energi Indonesia diperkirakan akan meningkatkan permintaan daya hingga lima kali lipat dari tingkat tahun 2021. Untuk memenuhi lonjakan permintaan ini, kapasitas sistem tenaga di Indonesia harus ditingkatkan lebih dari delapan kali lipat. Meski batu bara selama ini menjadi teknologi dominan, proyeksi menunjukkan bahwa kapasitas energi nol karbon akan melebihi penambahan pembangkit listrik tenaga termal yang menggunakan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, sektor energi, yang merupakan sumber emisi terbesar kedua yang diakui dalam komitmen NDC dan diperkirakan akan menjadi sumber utama emisi pada tahun 2030, sangat krusial dan, jika dikelola dengan efektif, dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap upaya Indonesia dalam mencapai target pengurangan emisi.

Komitmen Indonesia

Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan perubahan iklim, Indonesia mengeksplorasi strategi untuk merealisasikan transisi energi yang efektif, dengan dua alternatif utama: pengurangan energi terbarukan dan pensiunan dini pembangkit listrik tenaga batu bara. Skenario kedua ini, yang mirip dengan yang pertama, juga mengesampingkan kebijakan iklim tetapi mencakup daftar lengkap potensi pensiunan dini dari pembangkit listrik tenaga batu bara.

⁴⁵ BloombergNEF (2022), "Net Zero Transition: Opportunities for Indonesia"

⁴⁶ International Renewable Energy Agency (2022), IRENA Maps Pathway for ASEAN to Lead Net-Zero Race

Perlu diperhatikan bahwa saat ini sektor energi adalah sumber emisi terbesar kedua yang diakui dalam komitmen NDC dan diperkirakan akan menjadi sumber utama emisi pada tahun 2030⁴⁷. Oleh karena itu, sektor ini sangat krusial dan, jika dikelola dengan efektif, dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap upaya Indonesia dalam mencapai target pengurangan emisi.

Dalam konteks ini, pensiunan dini pembangkit listrik tenaga batu bara mengacu pada penghentian operasi pembangkit-pembangkit yang lebih tua dan kurang efisien lebih cepat dari jadwal yang direncanakan. Langkah ini diambil sebagai upaya untuk mengurangi emisi karbon dan meningkatkan proporsi energi terbarukan dalam matriks energi Indonesia. Proses ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan ketergantungan pada batu bara tetapi juga mendukung percepatan pengembangan dan integrasi sumber energi terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan ke dalam sistem tenaga nasional.

Indonesia telah memperbaharui komitmennya terhadap perubahan iklim dengan meningkatkan target dalam Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional (*Nationally Determined Contributions* atau NDC) yang diajukan kepada Sekretariat UNFCCC pada September 2022. Target baru ini mencakup pengurangan emisi sebesar 31,89% secara mandiri dan 43,20 persen dengan dukungan internasional, yang mendukung implementasi berbagai program dan kebijakan baru.

Pada tahun 2021, Kementerian Keuangan Indonesia mengungkapkan bahwa alokasi anggaran negara untuk perubahan iklim hanya dapat menutupi 34 persen dari kebutuhan dana yang diperlukan untuk mencapai target NDC pada tahun 2030. Situasi ini menuntut keterlibatan lebih besar dari aktor non-negara dalam pendanaan inisiatif iklim. Selanjutnya, PLN, perusahaan listrik nasional, telah mengumumkan ambisi mereka untuk mencapai emisi net-zero pada tahun 2060.

⁴⁷ Just Energy Transition Partnership Indonesia (2023), *Comprehensive Investment and Policy Plan 2023*

2.2 Lanskap Suplai Energi Indonesia

Terlepas dari kebutuhan energi yang diproyeksi akan menjadi 4 kali lipat pada tahun 2045, Indonesia tetap berpegang teguh pada mimpinya untuk menjadi negara dengan *energy security* yang kokoh. Di sisi yang lain, Indonesia telah berkomitmen untuk melawan perubahan iklim dengan menjaga batasan 1.5° C pada pemanasan global dan mencapai netral karbon pada tahun 2060 (McKinsey & Company, 2023). Untuk menggapai mimpi tersebut, ESDM telah membuat 5 pilar implementasi strategi:

1. Tahapan awal penghentian berangsur Pembangkit Listrik Tenaga Batu Bara (PLTU) atau *Coal-fired powerplant retirement*;
2. Percepatan investasi energi terbarukan;
3. Penerapan teknologi yang lebih efisien;
4. Elektrifikasi dalam transportasi, bangunan, dan rumah tangga; dan
5. Pemanfaatan teknologi jaringan listrik pintar.

Indonesia memiliki sumber daya alam yang mendukung mimpi tersebut. Dengan luas wilayahnya yang mencapai 1.904.569 kilometer persegi, Indonesia mempunyai potensi energi terbarukan sebanyak 442,4 gigawatt. Potensi tersebut didominasi oleh energi surya dan energi angin.



Meskipun demikian, hanya sebesar 12,7 GW sumber daya energi terbarukan yang berhasil dimanfaatkan⁴⁸. Memahami urgensi untuk beralih ke opsi yang lebih bersih dan menyadari potensi energi terbarukan yang melimpah, Indonesia telah mengambil langkah penting untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan, termasuk dengan menetapkan target untuk energi terbarukan mencapai 23% dari total bauran energi pada tahun 2025.

2.2.1 Proyeksi Suplai Kelistrikan Indonesia

Dalam langkah menuju transisi energi, International Partners Group (IPG) telah berkomitmen untuk mengalokasikan pendanaan sebesar \$20 miliar untuk menggapai trajektori ambisius pada sektor kelistrikan Indonesia untuk mencapai net zero di tahun 2050, memiliki bauran EBT sebanyak 44 persen pada 2030, dan total emisi dari sektor kelistrikan tidak melebihi 250 MTCO₂eq pada tahun 2030⁴⁹. Sebagian dari pendanaan tersebut merupakan *public funding* yang mencakup \$10 miliar dari IPG, yang merupakan koalisi negara-negara termasuk Amerika Serikat, Jepang, Kanada, Denmark, Uni Eropa, Jerman, Prancis, Norwegia, Italia, dan Inggris Raya. *Public funding* ini dimaksudkan untuk memicu tambahan \$10 miliar dari sumber sektor swasta, yang dikoordinasikan melalui *Glasgow Financial Alliance for Net Zero* (GFANZ). Dengan komitmen dan tren di sektor kelistrikan Indonesia, lebih dari 86% generasi listrik akan berasal dari energi terbarukan pada tahun 2045. Hal tersebut diikuti dengan munculnya adopsi pembangkit dengan sumber energi baru seperti nuklir dan hidrogen.

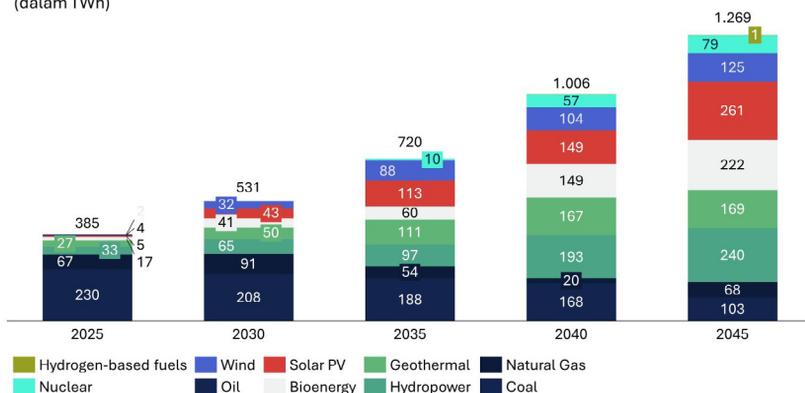
Untuk menentukan arah pembangunan pembangkit listrik di Indonesia, PLN merilis RUPTL yang akan diperbaharui mengikuti target JETP. Pada dasarnya, RUPTL adalah rencana strategis yang berisikan proyek pembangkit strategis hingga 10 tahun kedepan yang akan menjadi fondasi penentu arah pembangunan pembangkit listrik di Indonesia. Dengan memahami proyeksi kebutuhan energi Indonesia, memahami rencana proyek pembangkit dari RUPTL,

⁴⁸ Antara (2023), Kementerian ESDM: Potensi EBT Indonesia diproyeksi 3.687 Giga Watt

⁴⁹ Just Energy Transition Partnership Indonesia (2023), *Comprehensive Investment and Policy Plan 2023*

serta mempertimbangkan komitmen Indonesia dalam perubahan iklim, proyeksi suplai Listrik di Indonesia dapat di lakukan.

Proyeksi Generasi Listrik Indonesia
(dalam TWh)



Grafik 2.7 Proyeksi generasi listrik Indonesia

Berdasarkan proyeksi tersebut, dapat dilihat bahwa bauran energi pada tahun 2050 akan didominasi oleh EBT dengan PLTA, PLTS, Pembangkit Bioenergi dan PLTGB sebagai pendorong utama. Di sisi lain pembangkit listrik bertenaga fosil diproyeksikan menjadi minoritas pada bauran energi dengan porsi kurang dari 8% - sejalan dengan komitmen pemberhentian PLT batu bara.

2.2.2 Proyeksi Suplai Bahan Bakar *End-Use* Indonesia

Seiring dengan diterapkannya pillar ke 4 ESDM yakni "elektrifikasi untuk transportasi, bangunan, dan kebutuhan rumah tangga", kebergantungan Masyarakat Indonesia terhadap bahan bakar end-use atau bahan bakar yang dikonsumsi langsung seperti gas masak ataupun BBM untuk kendaraan diprediksi akan semakin berkurang. Berdasarkan proyeksi kebutuhan energi yang telah dibahas sebelumnya, konsumsi bahan bakar end-use akan beralih ke listrik, bioenergi dan hidrogen.

Biofuel

Indonesia merupakan negara yang kaya akan potensi bahan bakar nabati dan berencana membuatnya sebagai pengganti bahan bakar minyak di masa depan. Namun, transisi menuju penggunaan bahan bakar tersebut harus dijalankan secara bertahap dan sistematis. Indonesia menargetkan pencampuran bahan bakar nabati, mencapai bauran 30 persen biodiesel dan 20 persen bioetanol pada 2025 dan seterusnya, yang akan diterapkan di hampir semua sektor, termasuk penggunaan *Sustainable Aviation Fuel (SAF)*⁵⁰.

Pengenalan bensin E5 pada bulan Juli 2023 memulai kembali konsumsi bioetanol Indonesia setelah beberapa tahun tidak aktif, meskipun dimulai dengan angka yang terbatas sekitar 2 juta liter untuk tahun 2023 karena harga premium E5 di pasar yang sensitif terhadap harga. Sementara itu, mandat pencampuran biodiesel B35 baru Indonesia mencapai cakupan nasional pada bulan Agustus 2023 dan diperkirakan akan meningkatkan konsumsi biodiesel sebesar 25 persen menjadi 13 miliar liter. Pemerintah Indonesia terus melakukan uji coba untuk *renewable diesel (HDRD)* dan SAF⁵¹.

Tabel 2.1 Target bauran bahan bakar nabati Indonesia

		2016	2025	2050
Biodiesel	Bauran (%)	20	30	30
	Volume (Milliar liter)	2.5	6.9	17.1
Bioethanol	Bauran (%)	5	20	20
	Volume (Milliar liter)	0.1	2.6	11.4
SAF	Bauran (%)	2	5	10
	Volume (Milliar liter)	0	0.1	2.7

Selain itu KESDM juga sedang merencanakan penggunaan bahan bakar Crude Palm Oil (CPO) sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Pada 2019, dilaksanakan uji coba *pilot project* konversi PLTD BBM menjadi berbasis CPO. Pengujian tersebut dilaksanakan di PLTD Kanaan, Pilang dan Merawang. Diharapkan kedepannya CPO dapat

⁵⁰ Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2021), Roadmap Penyediaan Energi dan Bahan Bakar Terbarukan

⁵¹ USDA (2023), Biofuel Annual Report Jakarta

menggantikan bahan bakar pada PLTD existing. KESDM juga telah merencanakan produksi bahan bakar nabati hingga 2040. Produksi tersebut akan didominasi oleh biodiesel.

Tabel 2.2 Target produksi bahan bakar nabati Indonesia

	2024	2030	2040
Biodiesel	9.5	10.5	11.5
Co-processing Green Diesel	0.1	0.1	0.1
Standalone Green Diesel	1.3	1.3	1.3
Co-processing Green Gasoline	0.1	0.1	0.1
Standalone Green Gasoline	0.3	2	2
Total	11.3	14	15

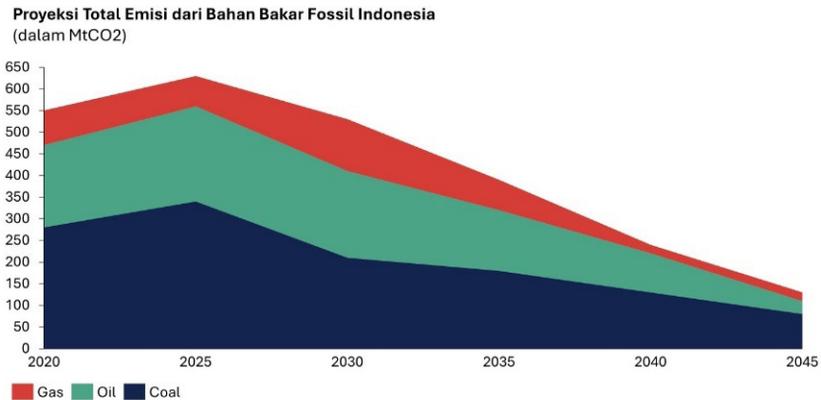
Hidrogen

Bahan bakar hidrogen diprediksi menjadi alternatif ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk mendorong transportasi masa depan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, serta meminimalkan emisi gas rumah kaca. Meskipun demikian, penggunaan bahan bakar hidrogen masih dianggap baru dan kemungkinan besar akan diimplementasikan pada masa depan yang lebih jauh dibandingkan bahan bakar lainnya, seiring dengan terus berkembangnya teknologi dan infrastruktur yang mendukung. Hidrogen sendiri direncanakan akan dipergunakan secara utama sebagai penyimpanan energi dan mulai berkembang di tahun 2031.

Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) telah merancang roadmap implementasi fasilitas hidrogen di Indonesia. Roadmap tersebut menunjukkan tahap pertama implementasi hidrogen antara tahun 2031-2035, di mana fasilitas hidrogen sebesar 328 MW akan dibangun. Kemudian, dalam rentang waktu 2036 – 2040, fasilitas hidrogen akan diperluas hingga mencapai 332 MW. Pertumbuhan signifikan dalam penggunaan hidrogen baru terjadi pada periode 2041-2050, dengan total mencapai 9 GW, dan untuk jangka waktu yang lebih panjang, yaitu 2051 – 2060, fasilitas hidrogen diharapkan mencapai 52 GW.

2.2.3 Penyerapan Emisi dari Sektor Migas

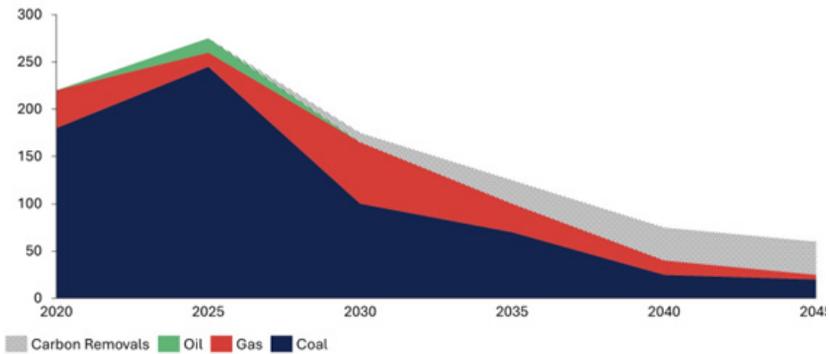
Upaya Indonesia dalam mencapai *net zero* pada 2060 tidak hanya berhenti pada transisi energi untuk sumber tenaga listrik dan pengurangan emisi dari penggunaan bahan bakar fosil. Sebuah studi oleh Bloomberg memproyeksikan penurunan emisi karbon tahunan sebanyak 695 MtCO_{2e} pada 2050 dengan melakukan upaya elektrifikasi, carbon capture and storage, serta penggunaan hydrogen.



Grafik 2.8 Proyeksi total emisi dari bahan bakar fossil Indonesia

Teknologi Penangkapan dan Penyimpanan Karbon (CCS) memiliki peran yang signifikan dalam mengurangi emisi karbon setiap tahunnya, terutama dalam sektor kelistrikan – dibandingkan dengan teknologi penyerapan emisi lainnya seperti direct air capture, BECCS, dan afforestation – reforestation. Dalam skenario Net Zero yang disajikan oleh Bloomberg, kontribusi CCS diperkirakan setidaknya mencapai 7 persen dari total pengurangan emisi karbon dalam sektor ketenagalistrikan pada tahun 2050.

Peran Penyerapan Karbon dalam Emisi Karbon pada Sektor Ketenagalistrikan
(dalam MtCO₂)



Grafik 2.9 Peran penyerapan karbon dalam emisi karbon pada sektor ketenagalistrikan

Dari berbagai segmen energi yang telah diuraikan sebelumnya, keseluruhan merupakan komponen esensial yang akan mendorong Republik Indonesia mencapai target karbon netral. Selain itu, segmen-segmen tersebut juga berperan sebagai kontributor utama dalam penciptaan lapangan kerja hijau di sektor energi, yang penting untuk pembangunan ekonomi berkelanjutan dan inklusif di masa depan.

2.3 Lanskap Green Jobs di Sektor Energi Hingga 2045

Green jobs atau pekerjaan hijau pada sektor energi merujuk pada pekerjaan yang turut berkontribusi dalam pemulihan lingkungan. Pekerjaan hijau pada sektor energi dapat berupa mitigasi perubahan iklim, pengurangan emisi gas rumah kaca, peningkatan efisiensi energi, hingga pengembangan energi terbarukan. Dalam praktiknya contoh pekerjaan hijau di sektor energi dapat berupa insinyur konstruksi pembangkit listrik tenaga surya hingga ahli kebijakan energi terbarukan. Jumlah green jobs dapat menjadi sebuah indikasi yang menunjukkan semangat sebuah negara dalam mengejar target penurunan suhu global sebesar 1,5°C. Namun sayangnya, per 2024 ini, dari sekitar 14 juta lapangan pekerjaan pada sektor energi, hanya

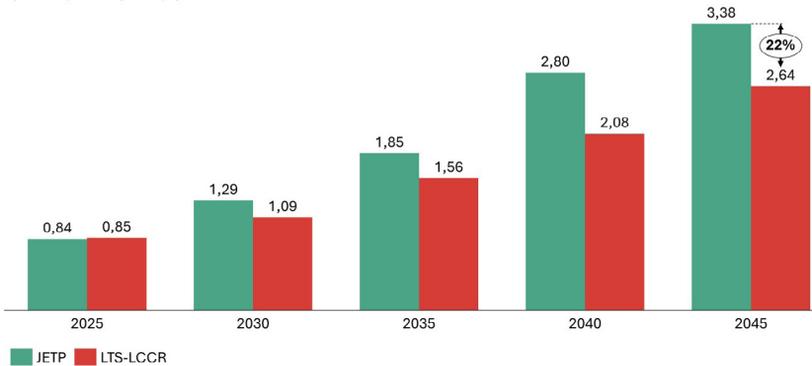
sekitar 763,477 pekerja merupakan pekerjaan hijau, atau hanya sekitar 5 persen.

Di sisi lain, Indonesia sudah menuangkan komitmen untuk melakukan transisi energi dan mencapai net zero emission pada 2060. Apabila komitmen ini terealisasi, maka kebutuhan akan pekerjaan hijau akan melonjak dan pekerja *non green jobs* akan kehilangan pekerjaannya. Negara harus siap menghadapi transformasi tersebut dengan strategi yang tepat. Pada bab ini kami akan memproyeksikan jumlah green job berdasarkan jenis energi serta pekerjaan yang dibutuhkan. Model ini akan memperhitungkan kebutuhan pekerja hijau setiap tahunnya, sehingga dapat dijadikan acuan dalam membuat strategi untuk jangka pendek, jangka menengah, ataupun jangka panjang.

2.3.1 Jumlah Green Jobs yang Dibutuhkan

Proyeksi pekerjaan hijau di sektor energi diperkirakan mengalami peningkatan yang konsisten bahkan hingga tahun 2045, dengan jumlah pekerjaan dalam rentang bawah diproyeksikan mencapai 2,639,508 dan rentang atas mencapai 3,376,772. Kenaikan ini berarti empat kali lipat dibanding tahun 2024. Proyeksi pekerjaan hijau dalam sektor energi sangat bergantung pada skenario yang digunakan. Dalam analisis ini, skenario rentang bawah mengacu pada LTS-LCCR yang berfokus pada penerapan CCS untuk pembangkit listrik tenaga fosil, sementara skenario rentang atas mengacu pada JETP yang menekankan peningkatan implementasi pembangkit listrik berbasis energi terbarukan (EBT), yang membutuhkan lebih banyak pekerja hijau. Analisis lebih mendalam pada bab ini akan lebih berfokus pada skenario rentang atas hasil proyeksi.

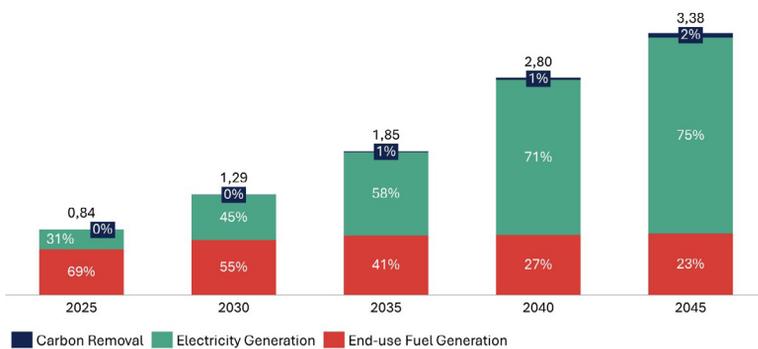
Proyeksi Kebutuhan Pekerja Hijau Indonesia
(dalam jutaan pekerja)



Grafik 2.10 Proyeksi kebutuhan pekerja hijau Indonesia

Proporsi pekerja hijau dalam generasi listrik akan mengalami peningkatan drastis, melampaui jumlah pekerja hijau dari produksi bahan bakar *end-use*. Hal ini sesuai dengan arah kebijakan pemerintah yang menekankan pada elektrifikasi konsumsi energi, termasuk kendaraan berbasis listrik, penerangan, memasak, dan lain sebagainya. Namun, proporsi pekerja hijau dalam penyerapan karbon masih terbatas dan pertumbuhannya lambat. Hal ini disebabkan oleh penurunan generasi listrik dari sektor migas seiring dengan peningkatan upaya penurunan emisi karbon.

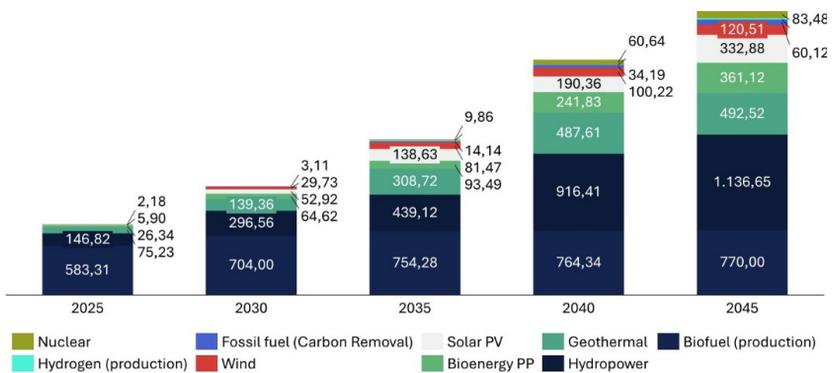
Distribusi Kebutuhan Pekerja Hijau Sektor Energi Indonesia
(dalam jutaan orang)



Grafik 2.11 Distribusi kebutuhan pekerja hijau sektor energi Indonesia

Dalam diagram 3.12, terlihat bahwa kontribusi pekerja hijau berasal dari generasi listrik yang didukung oleh sumber energi hidro, geothermal, bioenergi, dan solar PV. Ini sejalan dengan target pemerintah untuk meningkatkan proporsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional. Selain itu, pembangkit listrik dari sumber energi tersebut juga memiliki rasio pekerja hijau per generasi listrik tertinggi, terutama hidro dan geothermal.

Distribusi Kebutuhan Pekerja Hijau Per Bahan Bakar
(dalam ribuan orang)



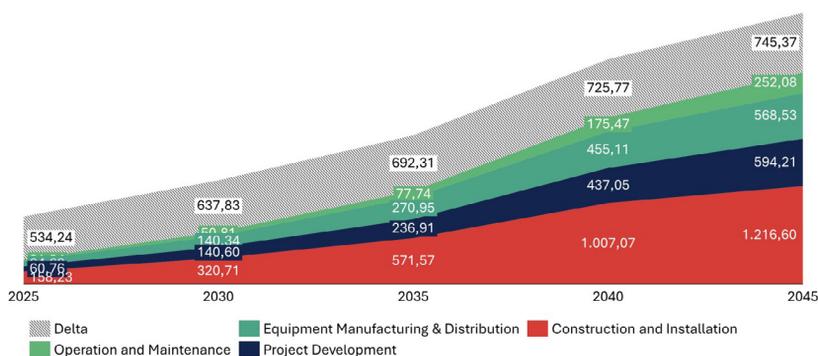
Grafik 2.12 Distribusi kebutuhan pekerja hijau per bahan bakar

Untuk mendalami skillset yang diperlukan saat menyiapkan pekerja hijau di sektor energi, analisis lebih lanjut dilakukan terkait distribusi segmen pekerjaan untuk kontributor utama pekerja hijau, seperti PLTA, PLTP, PLTS, dan PLTBio. Segmentasi dibagi menjadi empat segmen utama: Manufaktur dan Distribusi meliputi pekerjaan seperti pembuatan panel surya, pengembangan turbin angin, dan distribusi peralatan energi terbarukan. Segmen Pengembangan Proyek mencakup pekerjaan seperti analisis feasibility, perencanaan proyek energi terbarukan, dan koordinasi dengan pihak-pihak terkait. Segmen Konstruksi dan Pemasangan melibatkan pekerjaan seperti pembangunan infrastruktur energi terbarukan, pemasangan panel surya, dan instalasi turbin angin. Segmen Operasi dan Pemeliharaan mencakup tugas seperti monitoring kinerja pembangkit listrik tenaga

air, perawatan rutin turbin angin, dan pemantauan sistem panel surya untuk memastikan kinerja optimal. Data distribusi ini diperoleh dari studi yang dilakukan oleh GGGI dan ILO.

Dengan memperhitungkan persentase distribusi tersebut, jumlah pekerja untuk setiap segmen dapat diperkirakan, meskipun tidak mencakup semua jenis pekerjaan (*non-exhaustive*), dan hanya melibatkan kontributor pekerja hijau utama seperti PLTA, PLTP, PLTS, dan PLTBio. Terlihat bahwa segmen Konstruksi dan Instalasi mendominasi segmentasi pekerjaan, yang sejalan dengan permintaan tenaga kerja yang tinggi dalam pembangunan pembangkit seperti PLTA dan PLTP. Disusul oleh segmen Pengembangan Proyek dan Manufaktur dan Distribusi alat, yang diperkirakan akan meningkat seiring dengan peningkatan pembangunan pembangkit EBT baru. Di sisi lain, pertumbuhan segmen Operasional dan Pemeliharaan terbatas, yang sesuai dengan karakteristik proyek energi yang lebih menekankan pada konstruksi dan membutuhkan sedikit tenaga kerja untuk operasional dan pemeliharaan.

Distribusi Posisi Pekerjaan dalam Kebutuhan Pekerja Hijau
(dalam ribuan orang)



Grafik 2.13 Distribusi posisi pekerjaan dalam kebutuhan pekerja hijau

Sejalan dengan proyeksi jumlah green jobs, bisa diperkirakan tren jumlah pekerjaan pada setiap segmen utama dalam rentang waktu jangka pendek (2030), menengah (2040), dan panjang

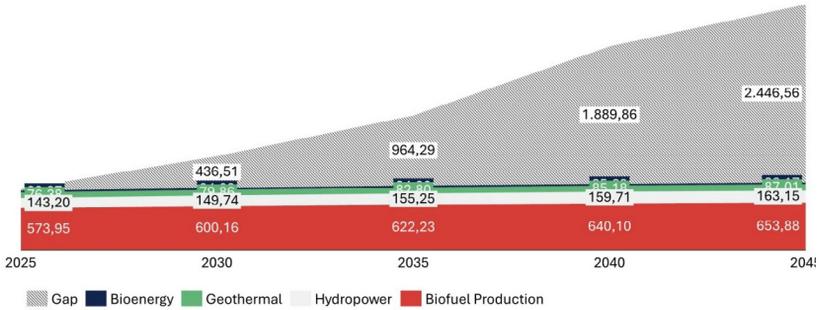
(2045+). Meskipun pekerjaan berbasis EBT diproyeksikan meningkat, pekerja dari sektor migas diperkirakan mulai stagnan dalam jangka pendek dan mengalami penurunan sekitar 30 persen hingga 2040, terus berkurang seiring dengan implementasi kebijakan yang mengutamakan penggunaan bahan bakar bersih. Di sisi lain, produksi pekerja dari sektor bioenergi (BBN) diantisipasi untuk mengalami peningkatan yang melambat sejalan dengan meningkatnya elektrifikasi konsumsi energi langsung. Penggunaan bahan bakar hidrogen diharapkan mulai muncul pada jangka menengah dan diperkirakan akan terus berkembang pada jangka panjang.

Tabel 2.3 Proyeksi penambahan dan penurunan pekerja pada sektor energi Indonesia

	Migas (<i>end-use</i> dan listrik)	Listrik EBT	Bioenergi	Hidrogen
Short-term (2030)	4%	199%	24%	0%
Medium-term (2040)	-30%	242%	9%	487268%
Long-term (2045)	-21%	27%	1%	300%

Meskipun demikian, tanpa adanya upaya yang dilakukan, Indonesia akan mengalami kekurangan sumber daya manusia yang berkualifikasi untuk memenuhi kebutuhan pekerjaan hijau. Dalam proyeksi skenario *baseline*, dengan asumsi bahwa rasio pekerja hijau per populasi Indonesia tetap, terdapat selisih sebanyak 2,446.558 pekerja hijau pada tahun 2045. Selisih ini akan terus meningkat seiring dengan ambisi Indonesia untuk mencapai karbon netral pada tahun 2060.

Perbandingan Kebutuhan dan Suplai Baseline Pekerja Hijau
(dalam ribuan orang)



Grafik 2.14 Perbandingan kebutuhan dan suplai baseline pekerja hijau

Oleh karena itu, penting untuk merumuskan strategi yang tepat berdasarkan proyeksi yang tersedia, serta dengan melakukan benchmarking terhadap negara-negara lain yang telah mengalami situasi serupa.

2.3.2 Upaya Transisi Energi di Negara Lain

Transisi energi tidak hanya menjadi tantangan di Indonesia, tetapi juga seluruh dunia. Banyak negara maju yang telah atau sedang menghadapi hal serupa, seperti penghentian penggunaan pembangkit listrik batu bara dan persiapan tenaga kerja untuk mengadopsi energi baru. Sebagai contoh, Amerika Serikat dan Polandia telah menjadi subjek perbandingan yang relevan dalam upaya menghadapi transisi energi. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik, kami merangkum upaya-upaya yang dilakukan oleh kedua negara tersebut dalam tabel berikut.

Tabel 2.4 Upaya transisi energi di negara lain

Negara/ Kota	Strategi Transisi Energi	Tindakan Khusus	Dampak Positif	Lesson Learned
Amerika Serikat ⁵²	Inisiatif Partnerships for Opportunity and Workforce and Economic Revitalization (POWER) yang dikelola oleh Komisi Regional Appalachia Amerika Serikat	Mengalokasikan \$46,4 juta untuk mendukung 57 proyek, termasuk pelatihan tenaga kerja, pengembangan keterampilan, dan infrastruktur. Mengembangkan keterampilan tenaga kerja melalui pelatihan yang meningkatkan mobilitas ke atas, termasuk peralatan dan pembentukan jalur karier yang jelas. Meningkatkan tingkat partisipasi tenaga kerja dengan menargetkan pekerja yang bekerja di bawah kapasitasnya.	Diperkirakan akan menciptakan atau mempertahankan lebih dari 9,187 pekerjaan. Lebih dari \$1,81 miliar investasi swasta tambahan diarahkan ke ekonomi Appalachia. 142.000 pekerja dan siswa dipersiapkan untuk peluang di bidang kewirausahaan dan tenaga kerja.	Pentingnya kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat lokal dalam mengatasi dampak kehilangan pekerjaan.

⁵² Appalachian Regional Commission (2024), Partnerships for Opportunity and Workforce and Economic Revitalization Initiative

<p>Polandia, Wielkopolska Timur⁵³</p>	<p>Program Penghentian Bertahap Batu Bara di Wielkopolska Timur</p>	<p>Investasi besar rata-rata USD 66,25 juta untuk berbagai inisiatif mendukung transisi dari batu bara, meliputi: Meningkatkan kualifikasi pekerja sektor swasta Menyediakan dukungan pencarian pekerjaan dan relokasi bagi penambang dan keluarganya Menyediakan pensiun pelatihan dan tunjangan transisi Menawarkan konseling vokasional, program pelatihan ulang, dan dukungan psikologis</p>	<p>Berpotensi menciptakan hingga 22.000 pekerjaan langsung dan tidak langsung, hampir 2x lebih banyak dari skenario referensi. Investasi PV skala kecil dan biomas-sa/biogas menyediakan pekerjaan yang lebih banyak hingga 6x dibandingkan batu bara dalam jangka panjang Penutupan lebih awal berdampak pada penurunan pendapatan pajak lokal jangka pendek, namun jangka panjang (setelah 2030) memberikan nilai tambah yang lebih besar untuk ekonomi lokal.</p>	<p>Penutupan dini dapat memberikan dampak ekonomi positif yang signifikan, mendukung pembangunan berkelanjutan dan penciptaan lapangan kerja di daerah, tetapi transisi dari batu bara ke energi terbarukan membutuhkan investasi awal besar dan dukungan berkelanjutan untuk mendapatkan hasil maksimal.</p>
---	---	--	--	---

⁵³ European Union (2023), Regional Profile : Wielkopolska, Poland

2.3.3 Tenaga Ahli yang Dibutuhkan

Keahlian yang dibutuhkan dalam pekerjaan hijau pada sektor energi sangatlah luas. Oleh karena itu dalam konteks menentukan tenaga ahli yang dibutuhkan pada sektor energi, segmentasi terbagi dua hal yakni tenaga ahli eksis dan tenaga ahli baru. Tenaga ahli eksis mencakup tenaga ahli yang sudah tersedia sekarang, misalnya insinyur sipil untuk konstruksi PLTA. Tenaga ahli baru mencakup pekerjaan yang kini belum ada atau jumlahnya sedikit tapi di masa depan akan bertambah karena kebutuhan akibat perkembangan teknologi.

Keahlian eksisting yang dibutuhkan

Pekerjaan hijau dalam sektor energi, secara umum dibagi menjadi segmen manufaktur dan distribusi, pengembangan proyek, konstruksi dan instalasi, serta operasi dan pemeliharaan. Pada segmen pengembangan proyek dan konstruksi serta instalasi, umumnya diperlukan skillset yang serupa, terlepas dari jenis pembangkit yang dibangun. Sebagai contoh, proyek PLTA dan PLTP membutuhkan konsultan hukum pada tahap pengembangan proyek dan insinyur sipil pada tahap konstruksi. Namun, untuk segmen manufaktur dan distribusi serta operasi dan pemeliharaan, diperlukan skillset yang lebih spesifik. Sebagai contoh, operasional electrolyzer pada produksi gas hidrogen memerlukan skillset yang berbeda dengan operasional reaktor pada produksi biodiesel.

Meskipun demikian, hal ini berlaku terutama untuk pekerjaan dengan fungsi inti. Pekerjaan dengan fungsi pendukung cenderung memiliki latar belakang umum untuk semua segmen. Sebagai contoh, semua segmen akan memiliki staf administrasi dengan latar belakang serupa. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, kami merangkum daftar pekerjaan hijau beserta jenis dan tingkat keahlian yang dibutuhkan untuk setiap posisi tersebut.

Tabel 2.5 Keahlian eksis yang dibutuhkan

Pekerjaan	Deskripsi Singkat	Skillset yang Dibutuhkan	Tingkat Pendidikan
Tenaga Penjualan (Sales)	Bertanggung jawab untuk menjual produk atau layanan kepada pelanggan	Kemampuan komunikasi dan negosiasi yang baik	SMA/SMK
Administrasi	Melakukan tugas-tugas administratif dasar dan pengelolaan dokumen	Kemampuan administratif dasar dan pengelolaan dokumen	SMA/SMK
Pekerja Konstruksi	Terlibat dalam pekerjaan fisik dalam konstruksi dan penggunaan alat	Keterampilan fisik dalam konstruksi dan penggunaan alat	Pelatihan Kerja
Pekerja Pabrik	Melakukan pekerjaan dalam tim dan mematuhi prosedur operasional	Kemampuan bekerja dalam tim dan kepatuhan terhadap prosedur operasional	Pelatihan Kerja
Analisis Keuangan	Bertugas melakukan analisis keuangan dan memahami pasar keuangan	Analisis keuangan dan pemahaman tentang pasar keuangan	D3/S1 Keuangan dan Sejenisnya
Ahli Real Estat	Bertanggung jawab untuk memahami pasar properti dan hukum terkait	Pengetahuan tentang pasar properti dan hukum terkait	S1 Hukum/Manajemen Properti
Insinyur Sipil	Terlibat dalam prinsip rekayasa sipil dan manajemen proyek	Pemahaman tentang prinsip rekayasa sipil dan manajemen proyek	S1 Teknik Sipil
Staf Akuntansi	Melakukan tugas akuntansi dan pemahaman perpajakan	Keterampilan akuntansi dan pemahaman perpajakan	D3/S1 Akuntansi

Teknisi	Bertanggung jawab untuk pemecahan masalah teknis	Kemampuan teknis dan pemecahan masalah di bidangnya	D3/S1 Teknik Terkait
Ahli Regulasi	Mengetahui dan memahami peraturan dan standar di industri terkait	Pemahaman tentang peraturan dan standar di industri terkait	S1 Hukum/Manajemen
Ahli Logistik	Terlibat dalam manajemen logistik dan pengoptimalan rantai suplai	Kemampuan manajemen logistik dan pengoptimalan rantai suplai	D3/S1 Manajemen Logistik
Ahli Industri	Memahami proses produksi dan efisiensi operasional	Pemahaman tentang proses produksi dan efisiensi operasional	S1 Teknik Industri
Staf Administratif	Melakukan tugas-tugas organisasi dan manajemen waktu	Keterampilan organisasi dan manajemen waktu	D3/S1 Administrasi/Manajemen
Operator Peralatan	Bertugas mengoperasikan peralatan khusus dengan aman	Kemampuan mengoperasikan peralatan khusus dengan aman	Sertifikasi Khusus
Ahli Mekanikal	Memahami dasar mekanika dan pemeliharaan mesin	Pemahaman dasar mekanika dan pemeliharaan mesin	Diploma Teknik Mekanikal
Ahli Kontrol Kualitas	Bertanggung jawab untuk memastikan standar kualitas produk atau layanan	Kemampuan dalam memastikan standar kualitas produk atau layanan	D3/S1 Teknik/Manajemen Kualitas
Ahli Keselamatan	Mengetahui dan mempraktikkan praktik keselamatan dan kesehatan kerja	Pengetahuan tentang praktik keselamatan dan kesehatan kerja	S1 K3

Manajemen	Melakukan tugas kepemimpinan dan manajemen strategis	Keterampilan kepemimpinan dan manajemen strategis	S1 Manajemen/Bisnis
Ahli Pajak	Memahami sistem perpajakan dan regulasi	Pemahaman tentang sistem perpajakan dan regulasi	S1 Akuntansi/Keuangan
Staf Teknik	Bertugas melakukan pekerjaan teknis spesifik terkait bidang kerja	Keterampilan teknis spesifik terkait bidang kerja	D3/S1 Teknik Terkait
Pemasaran	Membuat strategi pemasaran dan menganalisis pasar	Kreativitas dalam strategi pemasaran dan analisis pasar	D3/S1 Pemasaran
Ahli Regulasi Energi	Mengetahui dan menerapkan peraturan energi	Pengetahuan mendalam tentang peraturan energi	S2 Hukum/Energi
Insinyur Kimia	Melakukan rekayasa kimia dan proses industri	Keterampilan dalam rekayasa kimia dan proses industri	S1 Teknik Kimia
Insinyur Industri	Bertugas mengoptimalkan proses industri dan efisiensi	Keterampilan dalam optimasi proses industri dan efisiensi	S1 Teknik Industri
Insinyur Mesin	Bertugas dalam desain dan analisis sistem mekanik	Kemampuan dalam desain dan analisis sistem mekanik	S1 Teknik Mesin
Ahli Kesehatan	Bertanggung jawab untuk perawatan atau konsultasi kesehatan	Pengetahuan kesehatan mendalam untuk perawatan atau konsultasi	S1 Kedokteran/Keperawatan

Pengacara	Melakukan analisis hukum dan advokasi	Kemampuan analisis hukum dan advokasi	S1 Hukum
Ahli Lingkungan	Mengetahui dan memahami isu lingkungan dan konservasi	Pengetahuan mendalam tentang isu lingkungan dan konservasi	S1 Lingkungan
Ahli Standarisasi	Mengetahui dan menerapkan standar internasional dalam industri	Pengetahuan tentang standar internasional dan penerapannya dalam industri	S1 Teknik/Manajemen Kualitas
Insinyur Energi	Bertugas dalam desain dan optimasi sistem energi	Kemampuan dalam desain dan optimasi sistem energi	S1 Teknik Energi
Ahli Elektrikal	Memahami prinsip elektrikal dan aplikasinya	Pemahaman tentang prinsip elektrikal dan aplikasinya	S1 Teknik Elektro
Regulasi Energi	Mengetahui dan menerapkan regulasi energi	Pengetahuan spesifik tentang regulasi energi dan implementasinya	S1 Hukum dengan Spesialisasi Energi
Insinyur Telekomunikasi	Bertugas dalam desain dan pemeliharaan infrastruktur telekomunikasi	Kemampuan dalam desain dan pemeliharaan infrastruktur telekomunikasi	S1 Teknik Telekomunikasi

2.3 Potensi Keahlian Baru yang Dibutuhkan

Keahlian baru didefinisikan berdasarkan keterbaruan pekerjaan tersebut pada sektor energi, yang mencakup: pekerjaan baru di sektor energi, pekerjaan *existing* yang saat ini jumlahnya masih niche tapi akan berkembang, dan pekerjaan *existing* dengan kompetensi baru. Proyeksi keahlian baru dilakukan dengan mempertimbangkan agenda-agenda energi Indonesia serta perkembangan teknologi

pada sektor energi. Beberapa diantaranya adalah otomasi operasional, integrasi dengan *Internet of Things* (IoT), infrastruktur kendaraan listrik, penerapan infrastruktur hijau, modernisasi *grid*, perdagangan listrik antarnegara, serta komersialisasi hidrogen.

Pengembangan otomasi dan digitalisasi telah menjadi fokus utama di sektor energi, baik di Indonesia maupun di negara-negara maju, dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi operasional. Integrasi teknologi canggih seperti kecerdasan buatan (AI), *Internet of Things* (IoT), dan sistem otomasi diperkirakan akan mengubah lanskap energi, terutama dengan meningkatnya jumlah kendaraan listrik yang memerlukan pembangunan infrastruktur pendukung, seperti stasiun pengisian daya. Selain itu, konsep infrastruktur hijau, yang mencakup desain bangunan yang efisien dalam penggunaan energi dan minim limbah, semakin mendapat perhatian sebagai langkah vital dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Inisiatif ini, bersamaan dengan modernisasi *grid* listrik, diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan energi tetapi juga keandalan dan adaptabilitas sistem energi di masa depan.

Di sisi lain, rencana ambisius untuk pembangunan *super grid*, yang akan menghubungkan Indonesia dengan negara-negara tetangga seperti Malaysia dan Singapura, membuka peluang baru dalam perdagangan tenaga listrik di kawasan Asia Tenggara. Konsep ini, yang melibatkan integrasi jaringan listrik lintas negara, diharapkan dapat meningkatkan stabilitas pasokan energi dan mempromosikan penggunaan sumber energi terbarukan. Selanjutnya, dengan proyeksi penggunaan bahan bakar hidrogen setelah tahun 2040, Indonesia menunjukkan komitmennya terhadap inovasi dalam teknologi energi, yang tidak hanya akan memperkuat posisi negara dalam perdagangan energi regional tetapi juga mendukung transisi global menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Otomasi dan digitalisasi pada sektor energi mulai dikembangkan di berbagai negara maju, dan kemungkinan akan diimplementasikan juga di Indonesia seiring dengan berkembangnya suplai energi. Integrasi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), IoT, dan otomasi dalam sektor energi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional. Jumlah kendaraan listrik yang diproyeksikan

semakin berkembang juga berarti semakin banyak infrastruktur kendaraan listrik yang harus dibangun, seperti stasiun pengisian daya (*charging station*).

Hal-hal diatas ini merupakan sesuatu yang baru bagi Indonesia dan tentunya akan membawa pekerjaan hijau baru yang membutuhkan scope keahlian yang baru pula. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, kami merangkum daftar pekerjaan hijau yang baru beserta jenis dan tingkat keahlian yang dibutuhkan untuk setiap posisi tersebut.

Tabel 2.6 Potensi keahlian baru yang dibutuhkan

Posisi	Deskripsi Singkat	Skillset yang Dibutuhkan	Tingkat Pendidikan
Spesialis Pengoperasian <i>EV Charging</i>	Bertanggung jawab atas operasional dan pemeliharaan stasiun pengisian EV	Pengetahuan operasional dan pemeliharaan stasiun pengisian EV	D3 Teknik Elektro/Mesin
Spesialis Keberlanjutan	Memiliki pemahaman tentang prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan	Pemahaman tentang prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan	S1 Lingkungan/Perencanaan Kota
Ahli <i>Green Building</i>	Memiliki pengetahuan tentang standar dan sertifikasi bangunan hijau, efisiensi energi	Pengetahuan tentang standar dan sertifikasi bangunan hijau, efisiensi energi	S1 Arsitektur/ Teknik Sipil
Manajer Proyek <i>Green Building</i>	Bertugas dalam manajemen proyek pembangunan atau renovasi bangunan hijau	Keterampilan manajemen proyek dalam pembangunan atau renovasi bangunan hijau	S1 Manajemen Proyek/ Bangunan
Koordinator Logistik Perdagangan Listrik	Bertanggung jawab atas koordinasi logistik dan administrasi perdagangan listrik lintas batas	Koordinasi logistik dan administrasi perdagangan listrik lintas batas	D3 Logistik/ Manajemen
Teknisi Fasilitas Hidrogen	Melakukan pemeliharaan dan operasional harian fasilitas produksi hidrogen	Pemeliharaan dan operasional harian fasilitas produksi hidrogen	D3 Teknik Mesin/ Teknik Kimia

Spesialis Kebijakan Energi Hijau	Memiliki pemahaman tentang kebijakan energi, regulasi, dan insentif untuk proyek energi hijau	Pemahaman tentang kebijakan energi, regulasi, dan insentif untuk proyek energi hijau	S1 Hukum/Manajemen Energi
Teknisi Lapangan IoT	Bertugas dalam instalasi, pemeliharaan, dan perbaikan perangkat IoT di lapangan	Instalasi, pemeliharaan, dan perbaikan perangkat IoT di lapangan	D3 Teknik Elektro/Teknik Komputer
Insinyur Otomasi Energi	Bertanggung jawab atas otomasi dan sistem kontrol untuk operasional energi	Otomasi dan sistem kontrol untuk operasional energi	S1 Teknik Elektro/Otomasi
Pengembang Infrastruktur Kendaraan Listrik	Terlibat dalam perencanaan dan pengembangan infrastruktur pengisian kendaraan listrik	Perencanaan dan pengembangan infrastruktur pengisian kendaraan listrik	S1 Teknik Elektro
Analisis Sistem <i>Grid</i> Modern	Melakukan analisis dan optimisasi jaringan distribusi listrik, integrasi sumber energi terbarukan	Analisis dan optimisasi jaringan distribusi listrik, integrasi sumber energi terbarukan	S1 Teknik Elektro
Insinyur Perangkat Lunak <i>Grid</i>	Bertugas dalam pengembangan perangkat lunak untuk operasi dan manajemen grid modern	Pengembangan perangkat lunak untuk operasi dan manajemen grid modern	S1 Ilmu Komputer/Teknik Elektro
Insinyur Fasilitas Hidrogen	Terlibat dalam desain, operasi, dan pemeliharaan fasilitas produksi hidrogen	Desain, operasi, dan pemeliharaan fasilitas produksi hidrogen	S1 Teknik Kimia/Teknik Energi

Analisis Pasar Hidrogen	Melakukan analisis pasar dan potensi komersial untuk hidrogen sebagai sumber energi	Analisis pasar dan potensi komersial untuk hidrogen sebagai sumber energi	S1 Bisnis/Energi
Insinyur IoT untuk Energi	Bertugas dalam desain dan implementasi solusi IoT untuk sektor energi, pemrograman, keamanan jaringan	Desain dan implementasi solusi IoT untuk sektor energi, pemrograman, keamanan jaringan	S1 Teknik Elektro/Ilmu Komputer
Spesialis Keamanan Siber untuk Energi	Bertanggung jawab atas perlindungan infrastruktur energi dari ancaman siber melalui implementasi keamanan pada solusi IoT	Perlindungan infrastruktur energi dari ancaman siber melalui implementasi keamanan pada solusi IoT	S1 Keamanan Siber/Teknik Elektro
Analisis Data Energi	Melakukan analisis besar data dari sensor IoT untuk optimisasi produksi dan distribusi energi	Analisis besar data dari sensor IoT untuk optimalisasi produksi dan distribusi energi	S2/S3 Statistika/Ilmu Data
Konsultan Strategi Energi IoT	Memberikan konsultasi strategis pada implementasi IoT dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan energi	Konsultasi strategis pada implementasi IoT dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan energi	S2/S3 Manajemen Energi/Teknik Elektro
Spesialis Perdagangan Listrik Lintas Batas	Melakukan analisis pasar dan strategi perdagangan listrik lintas batas	Analisis pasar dan strategi perdagangan listrik lintas batas	S2/S3 Manajemen/Ekonomi
Ahli Regulasi Energi	Terlibat dalam pengembangan dan penyesuaian kebijakan dan regulasi sektor energi	Pengembangan dan penyesuaian kebijakan dan regulasi sektor energi	S2/S3 Hukum/Energi

BAB III

Pangan dan Agrikultur

"FOLU Net Sink 2030 mencerminkan pengakuan kami terhadap peran ekosistem, air tawar, tanah dan tanah yang sehat dalam memastikan sistem pangan yang berkelanjutan serta keamanan dan keamanan pangan global. Sebagai bagian integral dari respons kami terhadap tantangan global saat ini, kami perlu memastikan bahwa upaya kami untuk memperkuat ketahanan pangan global akan berjalan seiring dengan langkah-langkah kami untuk mencapai tujuan kami terkait dengan sumber daya air, mitigasi dan adaptasi perubahan iklim, degradasi lahan, pengurangan polusi, dan keanekaragaman hayati,"

**- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK),
Siti Nurbaya Bakar**

3.1 Ketahanan Pangan dan Pemenuhan Kebutuhan

Ketahanan pangan bagi 280 juta penduduk Indonesia adalah suatu kebutuhan mendasar yang tak bisa diabaikan. Setiap individu harus memiliki akses mudah dan murah terhadap pangan yang bervariasi, bergizi, seimbang, dan aman (B2SA⁵⁴) untuk hidup sehat, aktif, dan produktif secara berkelanjutan⁵⁵. Selain memenuhi kebutuhan individu, ketahanan pangan juga berdampak pada kondisi ekonomi negara. Pada tahun 2022, industri pertanian, kehutanan, dan perikanan Indonesia bersama-sama menyumbang 12,4% terhadap

⁵⁴ Badan Pangan Nasional

⁵⁵ Definisi oleh UU No. 18/2012

total Produk Domestik Bruto (PDB) senilai 2,43 kuadriliun rupiah⁵⁶. Dengan kontribusi signifikan tersebut, keseimbangan pasokan pangan terhadap kebutuhan dapat memicu gejolak sosial dan politik serta memengaruhi stabilitas ekonomi dan nasional.

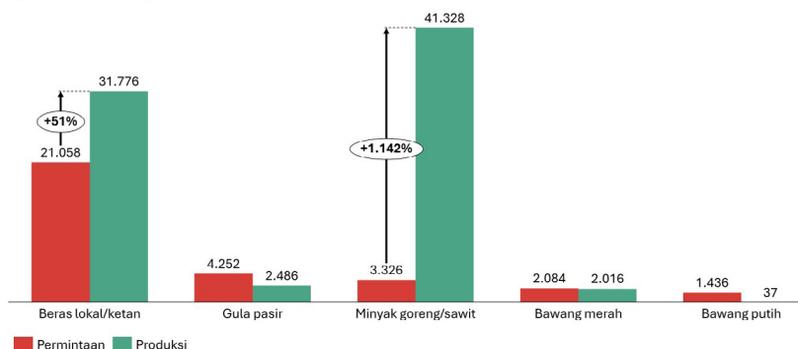
Dalam industri pertanian Indonesia, terdapat lima jenis panen dengan konsumsi per kapita terbesar, yaitu beras, gula pasir, bawang merah, bawang putih, dan minyak goreng. Namun, beberapa hasil panen masih bergantung pada impor dalam jumlah besar. Distribusi hasil panen yang kurang efisien disebabkan oleh keterbatasan sarana prasarana dan tingginya biaya logistik, bahkan kadang-kadang lebih mahal daripada distribusi luar negeri. Masalah ini menyebabkan impor menjadi solusi utama untuk memenuhi kebutuhan.

Kualitas hasil panen juga memengaruhi jumlah impor yang masuk ke Indonesia. Misalnya, pada tahun 2023, tercatat Indonesia mengimpor beras dari Thailand dan Vietnam sebanyak 1,34 juta ton dan 1,15 juta ton berturut-turut karena banyak hasil panen beras lokal yang memiliki kandungan air berlebih, masa penyimpanan yang pendek, dan produktivitas petani yang rendah dan dibutuhkannya kuantitas tambahan di luar kebutuhan per kapita untuk cadangan beras pemerintah⁵⁷ (CBP). Impor dari negara yang surplus beras seperti Thailand dan Vietnam menjadikan harga relatif lebih murah dan dapat dilakukan dengan cepat. Jauh dari angka yang kecil, total nilai CIF (*cost, insurance, freight*) impor beras di tahun 2023 mencapai 1,8 miliar dolar Amerika Serikat (USD). Namun, Indonesia seharusnya menjadi net eksportir beras mengingat potensi lahan yang dimilikinya. Berikut gambaran kondisi kebutuhan dibanding pasokan kelima hasil panen tersebut:

⁵⁶ Statista, 2022

⁵⁷ Abimanyu, 2022

Perbandingan Permintaan dan Penawaran 5 Hasil Panen di Indonesia tahun 2024
(dalam ribuan ton)



Grifik 3.1 Perbandingan Permintaan dan Penawaran 5 Hasil Panen di Indonesia tahun 2024

Di samping kuantitas dan kualitas hasil produksi, kualitas nutrisi juga penting untuk ketahanan pangan yang baik. Panen seringkali dilakukan pada waktu yang tidak tepat atau dalam kondisi tanah yang kurang optimal, menyebabkan hasil panen yang tidak memuaskan. Perubahan iklim juga berdampak besar terhadap stabilitas hasil panen nasional, seperti yang terjadi pada fenomena El Niño yang mempengaruhi curah hujan, suhu udara, dan pola cuaca di berbagai wilayah di Indonesia. Hal ini mengakibatkan ketidakseimbangan antara pasokan dan kebutuhan, sehingga harga komoditas melambung tinggi di masyarakat. Sayangnya, masih banyak petani yang belum memahami risiko-risiko dari perubahan iklim terhadap hasil panen. Hal ini kemudian berpengaruh juga pada indeks ketahanan pangan nasional.

Tabel 3.1 Frekuensi Skenario dan Prevalensi Ketidacukupan Konsumsi Pangan di Asia Tenggara⁵⁸

	0. Tanpa guncangan	1. El Niño regional	2. Gagal panen dalam negeri	3. Perlambatan ekonomi
A. Rerata jumlah tahun per peristiwa	2	20	15	25
B. Prevalensi ketidacukupan konsumsi pangan				
Indonesia	13,7	23,6	29,5	19,6
Myanmar	20,2	24,1	26,8	28,0
Filipina	14,0	23,6	20,0	23,1
Thailand	8,0	8,2	8,0	8,9
Vietnam	14,5	17,8	17,5	23,2
C. Perkiraan peningkatan ketidacukupan konsumsi pangan				
Indonesia	0,0	0,50	1,05	0,24
Myanmar	0,0	0,20	0,44	0,31
Filipina	0,0	0,48	0,40	0,36
Thailand	0,0	0,01	0,00	0,04
Vietnam	0,0	0,16	0,20	0,35

Sumber: Estimasi OECD berdasarkan data dari: Indonesia: Statistik BPS Indonesia (2010), Myanmar: MNPED (2010), Filipina: Otoritas Statistika Filipina (2014), Thailand: TNSO (2014), dan Vietnam: Kantor Statistika Umum Vietnam (2010).

Indeks ketahanan pangan (*Global Food Security Index*) Indonesia masih di bawah rata-rata regional dan global. Di Asia Tenggara, Indonesia menempati posisi ke-4 di level indeks 60,2, di bawah Singapura (73,1), Malaysia (69,9), dan Vietnam (67,9), dan sedikit di atas Thailand (60,1). Lebih luas, Indonesia juga berada di bawah rata-rata Asia Pasifik (63,4) dan global dengan indeks 62,2. Angka ini menempatkan Indonesia berada di peringkat ke-63 dari 113 negara.

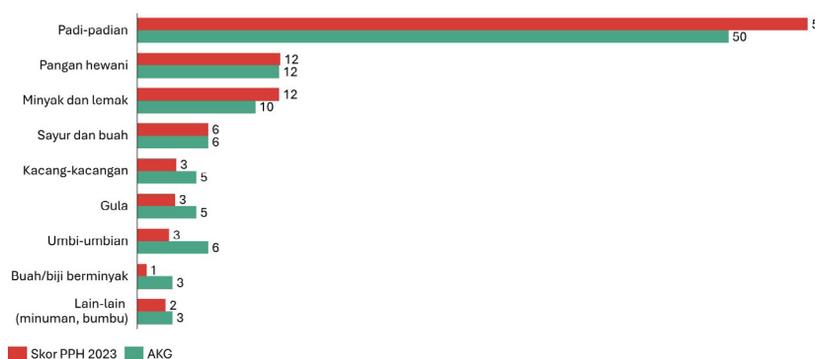
Di samping beberapa komoditas yang masih perlu ditingkatkan kuantitas dan kualitas produksinya, Indonesia juga memiliki hasil panen yang unggul dan dalam jumlah yang masif, salah satunya *Crude Palm Oil* (CPO) atau minyak kelapa sawit. Tercatat bahwa saat ini Indonesia menjadi negara eksportir terbesar di seluruh dunia dengan nilai sekitar 27,8 juta USD di tahun 2022 dan mencakup 50% dari total eksportir di seluruh dunia, disusul oleh Malaysia di sekitar 17,7 USD dan 30,6% kontribusi terhadap total⁵⁹. Hal inilah yang perlu dijadikan target bersama bagi hasil panen lain.

⁵⁸ Estimasi OECD berdasarkan data dari: Indonesia: Statistik BPS Indonesia (2010), Myanmar: MNPED (2010), Filipina: Otoritas Statistika Filipina (2014), Thailand: TNSO (2014), dan Vietnam: Kantor Statistika Umum Vietnam (2010)

⁵⁹ Statista, 2022

Meskipun memiliki potensi dalam produksi beberapa hasil panen, Indonesia juga menghadapi masalah dalam pemenuhan kebutuhan gizi masyarakatnya. Lebih dari 16 juta penduduk Indonesia mengalami kekurangan gizi, dengan prevalensi kurang gizi yang tertinggi kedua di Asia Tenggara⁶⁰. Prevalensi kekurangan gizi didasarkan pada perbandingan konsumsi pangan biasa yang dinyatakan dalam energi makanan (kkal) dengan norma kebutuhan energi tertentu. Hal ini mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan anak, seperti terlihat dari angka stunting yang meskipun mengalami penurunan, masih tinggi. Lebih lanjut, skor Pola Pangan Harapan (PPH)⁶¹ Indonesia tahun 2023 sebesar 94,1%. Skor PPH ini melihat pemenuhan 9 bahan pangan pokok dengan skor masing-masing yang beragam. Meskipun ada beberapa pangan yang sudah memiliki skor ideal, terdapat juga pangan yang tergolong konsumsi berlebih (padi-padian, minyak dan lemak), serta kekurangan (umbi-umbian, gula, kacang-kacangan).

Skor Pola Pangan Harapan 2023 versus Angka Kecukupan Gizi yang Direkomendasikan

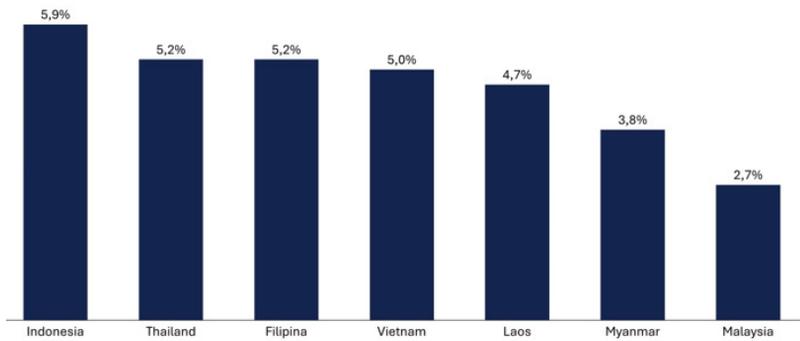


Grafik 3.2 Skor Pola Pangan Harapan 2023 versus Angka Kecukupan Gizi yang Direkomendasikan

⁶⁰ Food and Agriculture Organization of the United Nations

⁶¹ Badan Pangan Nasional, 2023

Rata-rata prevalensi penduduk kurang gizi di Asia Tenggara tahun 2020-2022



Grafik 3.3 Rata-rata prevalensi penduduk kurang gizi di Asia Tenggara tahun 2020-2022

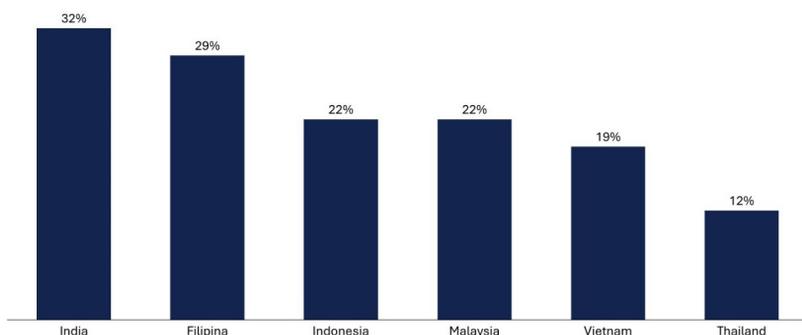
Pemenuhan konsumsi pangan di Indonesia sangat terkait dengan kecukupan nutrisi atau gizi per kapita, terutama untuk mencegah stunting pada bayi yang baru lahir. Pangan yang berkualitas sangat dibutuhkan untuk mencegah bayi tumbuh stunting terutama pada seribu hari pertama kehidupan (1000 HPK). Stunting ialah gangguan pertumbuhan dan perkembangan anak akibat kekurangan gizi kronis dan infeksi berulang, yang ditandai dengan panjang atau tinggi badan yang berada di bawah standar⁶². Tidak hanya berdampak pada fisik, stunting juga mempengaruhi kualitas pertumbuhan otak anak yang tidak maksimal dan memperlambat kemampuan kognitif. Saat ini, angka stunting di Indonesia telah mengalami penurunan dari 37% pada tahun 2014 menjadi 21,6% di tahun 2022. Penurunan angka stunting ini telah menjadi salah satu agenda percepatan nasional yang ditargetkan langsung oleh Presiden Joko Widodo untuk menjadi 14% di tahun 2024. Sedangkan sesuai yang tertulis pada Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2025-2045, target prevalensi stunting harus turun hingga di angka 5% di tahun 2045.

Peningkatan ketahanan pangan Indonesia memerlukan perhatian maksimal dari berbagai pihak, terutama dalam memastikan kualitas pangan yang baik dan akses yang mudah bagi seluruh

⁶² World Health Organization, 2015

lapisan masyarakat, terutama bagi bayi dan anak-anak. Kualitas gizi yang memadai penting untuk pertumbuhan dan kesehatan yang optimal serta meningkatkan daya saing sumber daya manusia Indonesia secara global.

Prevalensi angka stunting di negara-negara Asia tahun 2022



Grafik 3.4 Prevalensi angka stunting di negara-negara Asia Tenggara tahun 2022

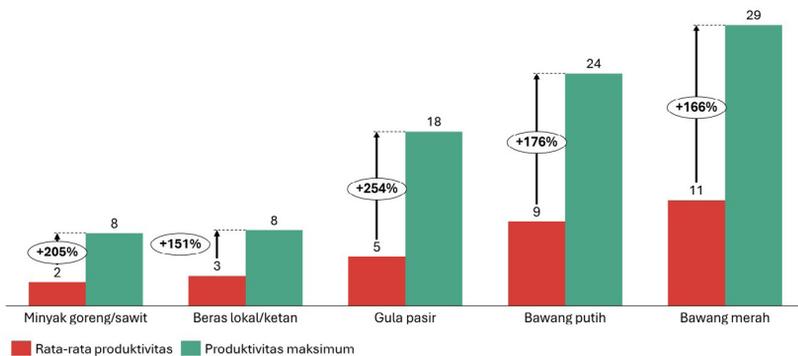
3.2 Lanskap Produktivitas dan Hasil Produksi

Indonesia merupakan negara agraris dengan lebih dari 7 juta hektar lahan sawah dan melibatkan 39,5 juta pekerja dalam sektor pertanian. Namun, produktivitas lahan pertanian masih rendah, baik dalam hal kuantitas (ton/Ha) maupun kualitas produknya. Upaya utama untuk meningkatkan hasil panen adalah dengan mengoptimalkan produktivitas dan efisiensi setiap komoditas, sambil tetap mempertahankan luas lahan, sejalan dengan cita-cita Bangsa Indonesia yang tercantum dalam Rencana Strategis Kementerian Pertanian Tahun 2020-2024⁶³. Langkah ini diperlukan untuk mengurangi risiko besar dari deforestasi dan kegiatan penebangan hutan untuk pertanian.

⁶³ HYPERLINK "[https://rb.pertanian.go.id/upload/file/RENSTRA%20KEMENTAN%202020-2024%20REVISI%202%20\(26%20Agt%202021\).pdf](https://rb.pertanian.go.id/upload/file/RENSTRA%20KEMENTAN%202020-2024%20REVISI%202%20(26%20Agt%202021).pdf)" Menteri Pertanian RI

Pada berbagai jenis pangan, terdapat tingkat produktivitas yang jauh lebih tinggi di beberapa daerah di Indonesia dibandingkan dengan rata-rata nasional. Sekitar 89,54 persen lahan pertanian di Indonesia dikategorikan memiliki produktivitas di bawah standar yang menjamin pertanian berkelanjutan⁶⁴. Oleh karena itu, ada potensi besar untuk meningkatkan produktivitas hasil panen per hektar di seluruh lahan pertanian. Hal ini memerlukan peningkatan pemanfaatan **teknologi** (mekanisasi) dan peningkatan **keterampilan** tenaga kerja.

Perbandingan tingkat produktivitas hasil panen
(dalam ton per hektar)



Grafik 3.5 Perbandingan tingkat produktivitas hasil panen dalam ton per hektar

Pemanfaatan teknologi di sektor pertanian dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas. Namun, tingkat mekanisasi di Indonesia masih termasuk yang terendah di dunia⁶⁵. Saat ini, berbagai alat dan mesin pertanian (alsintan) telah diproduksi dalam negeri, seperti pompa air, traktor roda dua, mesin pengolah tanah, mesin panen, penyemprot tanaman, pengabut gendong bermotor (*mist blower*), pengering, perontok multiguna, pengupas gabah, pengayak (*shifter*), penyosoh (*rice polisher*), pemutih, penghancur jerami, pemotong rumput, serta *Rice Milling*

⁶⁴ Sitasi, 2021

⁶⁵ Sinaga, 2017

Unit (RMU). Namun, hanya 40 persen dari kebutuhan alsintan diproduksi secara lokal, sedangkan sisanya bergantung pada impor⁶⁶. Tak jarang mesin yang dipakai kurang tepat guna karena diproduksi oleh negara-negara kontinental dengan kebutuhan yang berbeda dengan Indonesia sebagai negara kepulauan⁶⁷. Oleh karena itu, percepatan produksi alsintan dalam negeri diperlukan untuk memenuhi kebutuhan di lapangan.

Kementerian Pertanian (Kementan) telah mengambil langkah dalam memberikan bantuan alsintan untuk mempercepat mekanisasi. Bantuan tersebut meliputi traktor roda dua, traktor roda empat, dan *cultivator* untuk pengolahan lahan, pompa air untuk irigasi, dan *hand sprayer* untuk membasmi hama. Selain itu, perlu diidentifikasi beberapa proses pengolahan hasil panen dan teknologi yang digunakan dalam setiap prosesnya.



Ilustrasi 3.1 Potensi mekanisasi alat pertanian per komoditas

⁶⁶ Sulaiman, 2018

⁶⁷ Saragih, 2024

Tidak hanya teknologi, faktor-faktor lain seperti iklim, penuaan aset, dan degradasi lahan juga berkontribusi pada produktivitas pertanian. Kondisi iklim yang tidak menentu dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, sementara aset yang sudah tua dapat mengurangi efisiensi operasional. Selain itu, tanah sebagai medium utama penanaman juga harus dirawat dengan baik untuk menghindari degradasi. Degradasi sendiri dapat terjadi oleh dua faktor, yakni faktor manusia seperti penggunaan pupuk buatan dan pestisida yang tidak ramah lingkungan, serta faktor alam seperti faktor topografi berupa wilayah dengan topografi berombak, bergelombang, dan berbukit dengan lereng curam. Selain topografi, intensitas curah hujan yang tinggi juga dapat menyebabkan tanah erosi.

3.3 Apa itu *Green Jobs* dan Mengapa Dibutuhkan?

Green jobs, atau pekerjaan ramah lingkungan, semakin menjadi fokus utama tren pekerjaan di masa depan. Secara global, *green jobs* bertujuan mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan ekonomi dengan upaya melestarikan lingkungan hidup. Secara khusus, *green jobs* melibatkan pekerjaan yang membantu melindungi ekosistem dan biodiversitas, mengurangi konsumsi energi, materi, dan air melalui strategi efisiensi tinggi, dekarbonisasi ekonomi, serta mengurangi atau mencegah limbah dan polusi (*International Labor Organization*). Di negara berkembang dan sedang berkembang seperti Indonesia, *green jobs* mencakup berbagai lapangan pekerjaan bagi manajer, ilmuwan, teknisi, dan masyarakat, termasuk remaja, petani, penduduk desa, dan masyarakat miskin.

Khususnya dalam sektor makanan dan pertanian, pekerjaan yang bertujuan meningkatkan ketahanan pangan termasuk dalam kategori *green jobs*. Potensi jumlah *green jobs* di Indonesia pada tahun 2045 dapat dihitung dengan memproyeksikan kebutuhan pekerja untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian berdasarkan pada kondisi saat ini sebagai *baseline*. Langkah selanjutnya adalah memproyeksikan kontribusi tersebut terhadap peningkatan produktivitas per komoditas serta dampaknya terhadap PDB Indonesia dan kesejahteraan petani.

Saat ini, Indonesia memiliki lebih dari 45 juta petani dengan rata-rata pendapatan tahunan sekitar 62 juta rupiah. Pada tahun 2024, PDB per kapita Indonesia mencapai 75 juta rupiah. Dengan selisih sebesar 20 persen antara pendapatan petani dan PDB nasional, perlu upaya untuk meningkatkan pendapatan petani agar sejalan dengan pertumbuhan ekonomi. Menuju Indonesia Emas 2045, target PDB Indonesia adalah 340 juta rupiah. Oleh karena itu, *green jobs* menjadi strategi penting untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi sektor pertanian.

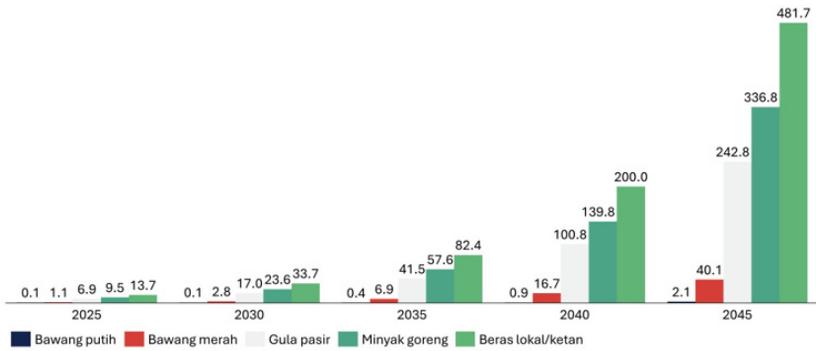
3.3.1 Jumlah green jobs yang dibutuhkan

Kembali ke 5 komoditas utama, yaitu beras, gula pasir, bawang merah, bawang putih, dan minyak goreng, semuanya memainkan peran penting dalam ketahanan pangan nasional dengan kebutuhan yang besar. Diperkirakan bahwa Indonesia akan membutuhkan sekitar 24,2 juta ton beras, 4,9 juta ton gula pasir, 2,4 juta ton bawang merah, 1,6 juta ton bawang putih, dan 3,8 juta ton minyak goreng untuk memenuhi kebutuhan dasar setiap orang pada tahun 2045.

Setelah mengetahui jumlah kebutuhan, jumlah pasokan yang dimiliki dapat dihitung dengan mengalikan luas lahan komoditas yang ada sekarang (dan dianggap akan konstan hingga 2045) dengan produktivitas per hektar masing-masing jenis pangan. Angka produktivitas diasumsikan akan dan harus meningkat dari tahun ke tahun dengan angka akhir menyesuaikan produktivitas maksimum dari kualitas hasil panen paling baik di Indonesia.

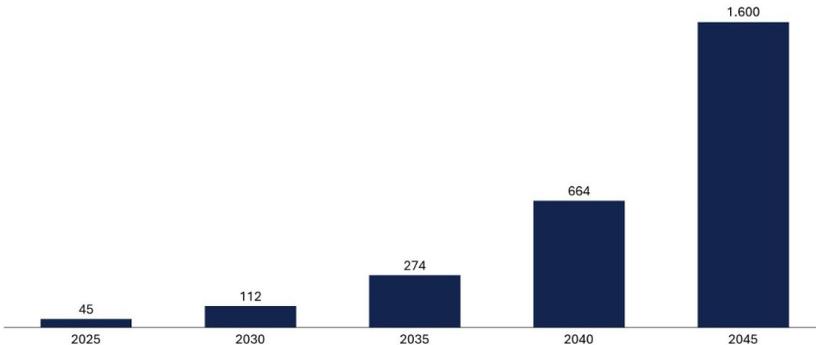
Untuk mencapai angka produktivitas tersebut, tentu dibutuhkan tambahan pekerja di sektor pertanian per hektarnya baik dari segi jumlah pekerja juga kualitas ketrampilan pekerja dalam memanfaatkan teknologi dan memahami berbagai faktor dan teknik pertanian yang baik. Estimasi menunjukkan bahwa pada tahun 2045, sektor makanan dan pertanian di Indonesia dapat menciptakan sekitar 1,6 juta pekerjaan hijau baru yang terbagi dalam 5 komoditas utama.

Proyeksi jumlah green jobs berdasarkan komoditas hingga tahun 2045
(dalam ribuan orang)



Grafik 3.6 Proyeksi jumlah *green jobs* berdasarkan komoditas hingga tahun 2045

Tren peningkatan jumlah green jobs di sektor Agrikultur Indonesia hingga 2045
(dalam ribuan orang)



Grafik 3.7 Tren peningkatan jumlah green jobs di sektor Agrikultur Indonesia hingga 2045

3.4 Lessons Learned dari Negara Lain

3.4.1 Vietnam: Raja Pertanian ASEAN melalui Proyek Transformasi Pertanian Berkelanjutan

Pertumbuhan ekonomi Vietnam yang pesat telah menjadi topik hangat dalam beberapa tahun terakhir, terutama karena

perkembangan di sektor pertanian yang memberikan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi. Lebih dari 40 persen populasi Vietnam bekerja di sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan. Antara tahun 2015 dan 2022, Vietnam melaksanakan restrukturisasi pertanian melalui Proyek Transformasi Pertanian Berkelanjutan (VnSAT⁶⁸). VnSAT bertujuan meningkatkan praktik pertanian dan nilai tambah di wilayah tertentu, serta memperkuat kelembagaan publik yang terlibat dalam implementasi rencana tersebut. Dengan pendanaan sebesar 238 juta USD dari Bank Dunia, VnSAT berhasil meningkatkan produksi beras dan kopi di Delta Mekong dan *Central Highlands* melalui peningkatan praktik pertanian, investasi infrastruktur, dan keterlibatan dalam agribisnis.

Berdasarkan laporan Bank Dunia, proyek ini dikategorikan berhasil dalam berbagai hal antara lain: menurunkan emisi gas rumah kaca setara 1,58 juta ton CO₂ dari target 1 juta ton (158%), meningkatkan laba bersih per hektar lahan sebesar 31,6% dari target 20% untuk beras dan 22,4% dari target 20% untuk kopi, menerapkan area praktik pertanian berkelanjutan sebanyak 184 ribu hektar dari target 150 ribu hektar untuk padi (123%) dan 70 ribu hektar dari target 50 ribu hektar untuk kopi (141%), meningkatkan kualitas logistik dengan skor yang memuaskan untuk empat departemen sasaran Kementerian Pertanian dan Pembangunan Pedesaan (MARD) dan sepuluh provinsi terpilih. Kementerian Pertanian dan Pembangunan Pedesaan Vietnam menobatkan proyek tersebut sebagai contoh sukses dalam sektor pertanian dengan keuntungan yang dirasakan lebih dari 60% penduduk Vietnam dengan nilai mencapai lebih dari 1 triliun Vietnam Dong (VND) untuk beras dan hampir 500 miliar VND untuk kopi sebagai dua komoditas utama.

Dari keberhasilan tersebut, penting untuk menekankan pentingnya pengembangan kapasitas Kementerian Pertanian dan lembaga publik lainnya untuk mendukung implementasi program secara efektif. Ini termasuk pelatihan atau *upskilling* bagi pekerja di sektor pertanian dan fokus yang jelas pada komoditas yang paling potensial untuk dikembangkan di negara tersebut.

⁶⁸ Vietnam Sustainable Agriculture Transformation Project

3.4.2 India: Mekanisasi Pertanian Jadi Kunci Pemenuhan Kebutuhan 1,4 Miliar Penduduknya

Pertanian di India telah tumbuh konsisten lebih dari 3 persen dari tahun 2019 hingga 2023, menyumbang sekitar 18 persen dari PDB nasional. Dengan populasi yang lima kali lebih besar dari Indonesia, India berhasil mencapai surplus pangan untuk memenuhi kebutuhan penduduknya. Keberhasilan ini didukung oleh pemanfaatan teknologi yang maksimal dan kebijakan pro-petani.

Pemerintah India telah menyediakan pusat penelitian di setiap radius 20 km yang melibatkan petani, pakar, dan dilengkapi dengan peralatan pertanian modern seperti traktor, laboratorium, dan alat panen. Hasilnya, produksi komoditas seperti gandum, padi, kentang, dan jagung meningkat signifikan setelah penerapan teknologi inovasi. Selain itu, pembangunan irigasi dan pabrik organik juga dilakukan untuk mendukung optimalisasi produktivitas lahan.

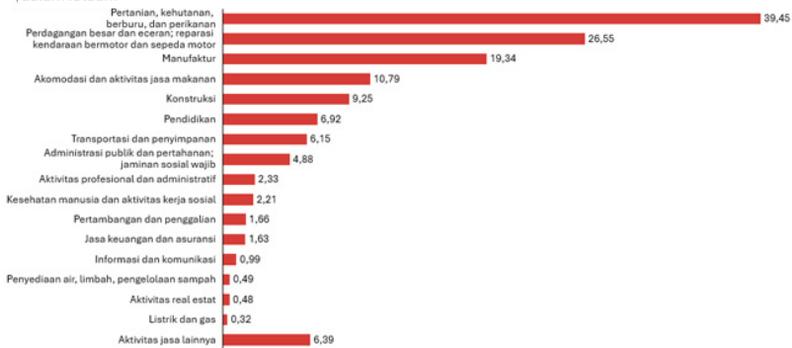
Penerapan koperasi di berbagai daerah mendukung akses dan distribusi pupuk yang efisien, yang didukung oleh penelitian pemerintah. Produksi pertanian dilakukan oleh koperasi lokal tanpa adanya dominasi konglomerasi. Keberhasilan ini juga ditunjang oleh diversifikasi konsumsi pangan, di mana penduduk India mengonsumsi 40 persen gandum, 40 persen beras, dan 20 persen produk lokal, mengurangi ketergantungan pada satu komoditas seperti di Indonesia.

Peningkatan kapasitas petani di India didukung dengan optimalisasi pendidikan pertanian. Lebih dari 40 perguruan tinggi pertanian di India menghasilkan lebih dari 35.000 lulusan setiap tahunnya dan wajib mengembangkan riset dan aplikasi praktis di bidang pertanian sehingga meminimalisasi lulusan yang tidak lanjut berkontribusi di sektor pertanian. Institusi pendidikan di India memiliki kurikulum khusus untuk setiap jenis komoditas seperti ilmu padi, gandum, kentang, dan pisang. Hal ini memastikan petani dapat menerapkan teknologi inovatif dan memahami praktik pertanian modern, yang akhirnya berkontribusi pada peningkatan produktivitas hasil panen.

3.5 Keahlian Baru Yang Dibutuhkan

Indonesia, sebuah negara di mana **lebih dari 60 persen** populasi masih tinggal di daerah pedesaan, sangat bergantung pada pertanian sebagai pekerjaan utama dan sumber pendapatan⁶⁹. Sektor pertanian, kehutanan, perburuan, dan perikanan mempekerjakan mayoritas populasi usia produktif Indonesia⁷⁰.

Persebaran Sektor Pekerjaan Penduduk Usia Produktif Indonesia Pada Tahun 2023
(dalam jutaan)



Grifik 3.8 Persebaran Sektor Pekerjaan Penduduk Usia Produktif Indonesia Pada Tahun 2023 (dalam jutaan)

Kontribusi Sektor Ekonomi Pada PDB Indonesia di Tahun 2022
(dalam %)



Grifik 3.9 Kontribusi Sektor Ekonomi Pada PDB Indonesia di Tahun 2022

⁶⁹ Indonesian Journal of Multidisciplinary Sciences, 2023

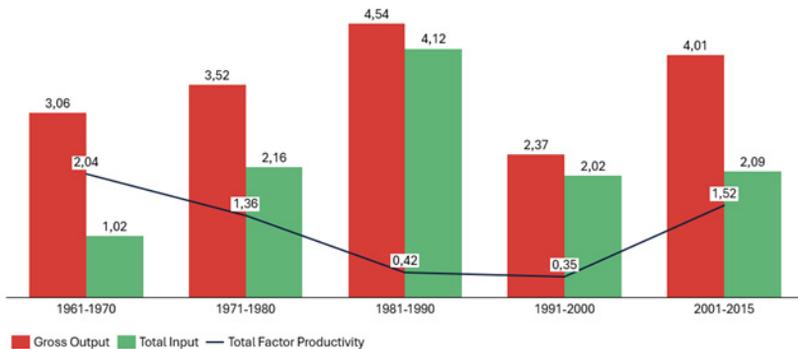
⁷⁰ Statista, 2024

Namun, meskipun tenaga kerja yang signifikan, kontribusi pertanian terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia tidak proporsional – hanya sekitar **12 persen**. Ketidakseimbangan ini sebagian besar disebabkan oleh upah rendah di sektor ini, yang hanya sekitar **32 persen** dari Upah Minimum Regional (UMR) Jakarta⁷¹.

Tantangannya adalah meningkatkan produktivitas per hektar dan meningkatkan upah petani tanpa harus meningkatkan lahan pertanian. Solusinya adalah *upskilling* dan *reskilling* petani untuk memenuhi kebutuhan pertanian saat ini. Ini sangat relevan dan senada dengan rencana transformasi pertanian digital serta peningkatan ketahanan sistem pangan nasional yang disampaikan oleh Deputy Bidang Kemaritiman dan Sumber Daya Alam Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) Indonesia pada "The UN Food Systems Summit +2 Stocktaking Moment 2023"⁷².

Data historis menunjukkan bahwa sektor pertanian Indonesia mengalami **kesulitan** dalam meningkatkan Total Faktor Produktivitas (TFP), walaupun ada tren peningkatan *input* secara bertahap setiap tahun. Faktanya, laju pertumbuhan TFP masih **lebih rendah** dibandingkan dengan peningkatan produktivitas lahan dan tenaga kerja⁷³.

Indikator Produktivitas Pertanian Indonesia Selama 5 Dekade Terakhir
(rata-rata tahunan dalam %)



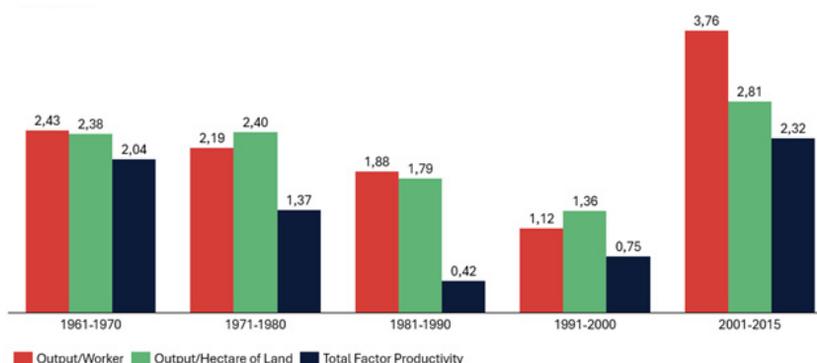
Grafik 3.10 Indikator Produktivitas Pertanian Indonesia Selama 5 Dekade Terakhir (rata-rata tahunan dalam %)

⁷¹ Jobstreet, 2024

⁷² HYPERLINK "<https://indonesia.un.org/id/240200-memajukan-transformasi-sistem-pangan-indonesia>" Yulaswati, 2023

⁷³ World Bank, 2019

Pertumbuhan TFP Terhadap Output Tenaga Kerja dan Lahan Per Hektar
(dalam %)



Grafik 3.11 Pertumbuhan TFP Terhadap Output Tenaga Kerja dan Lahan Per Hektar (dalam %)

Situasi ini menunjukkan adanya peluang besar untuk meningkatkan efisiensi dan hasil produksi per individu serta per hektar yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Tanpa perlu memperluas lahan pertanian, Indonesia berada di posisi yang strategis untuk menaikkan produktivitas per hektar dengan mengutamakan peningkatan TFP.

Masa depan pertanian digital di Indonesia tentunya akan memerlukan berbagai keterampilan dan keahlian baru. Ini dapat dibagi berdasarkan tingkat dan tahapan produksi. Bercermin pada praktik pertanian di **India** akan menjadi pembandingan yang sepadan, berhubung kedua negara memiliki kuantitas demografis yang serupa (India adalah negara terpadat ke-2, Indonesia ke-4) dengan **lebih dari setengah** tenaganya yang bekerja di bidang pertanian (India 59%, Indonesia >60%) – sehingga dapat memberikan wawasan yang berharga dan proporsional. Meskipun ada kesamaan, India berhasil menjadi produsen **terbesar ke-2** dalam perihal jenis pangan: padi, gandum, tebu, kacang tanah, sayuran, buah, dan kapas – yang berkontribusi pada **23% PDB**⁷⁴. Sebaliknya, Indonesia tertinggal dari angka-angka ini. Perbandingan ini menekankan potensi Indonesia untuk belajar dari praktik dan kebijakan pertanian sukses India.

⁷⁴ Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018

Keahlian yang diperlukan dapat dibagi menjadi 4 pilar: (1) **On-Ground Assistance** / Bantuan Lapangan, yang akan melibatkan pekerjaan langsung di lapangan dengan memanfaatkan alat teknologi guna meningkatkan efisiensi produksi; (2) **Off-Ground Supporting System** / Sistem Pendukung Luar Lapangan, yang mencakup infrastruktur yang akan memaksimalkan operasi di lapangan; (3) **Post-Harvest Optimization** / Pengoptimalan Pasca-Panen, yang akan berfokus untuk meningkatkan dan mempertahankan nilai/valuasi tanaman yang dipanen, serta memastikan kelancaran logistik dan rantai pasokan hasil panen dari hulu ke hilir; dan (4) **People and Policy** / Sumber Daya Manusia dan Regulasi, yang mencakup pelatihan individu dan implementasi kebijakan pertanian yang akan mempercepat transisi menuju pertanian digital. Dengan fokus pada empat pilar ini, harapannya adalah Indonesia dapat segera mentransformasikan sektor pertaniannya menuju pekerjaan hijau (*green jobs*), meningkatkan produktivitas, dan memenuhi kebutuhan populasi.

Urgensi untuk transisi pertanian dan praktek pertanian Indonesia ke *green jobs* pun menjadi lebih mendesak terutama melihat tren pekerjaan yang diproyeksikan. Seiring pertanian menjadi sektor **terbesar** yang mengalami penurunan pekerjaan pada tahun 2030, khususnya wilayah Asia Pasifik – akan mengalami pengurangan pekerjaan terbesar **ke-2** secara global⁷⁵. Hal ini sebagian besar didorong oleh kebutuhan tenaga kerja dalam sektor pertanian yang jauh lebih rendah di masa depan, di mana **120 juta** tenaga kerja akan terpengkas dengan hadirnya integrasi teknologi. Ini jelas membuktikan hipotesis bahwa sekadar **menduplikasi** tenaga kerja pertanian hari ini tidak akan berguna, sebaliknya **transisi** dan **upskilling** ke keterampilan yang lebih modern jauh lebih krusial dan relevan untuk mengakomodasi visi pertanian Indonesia di tahun 2045. Penelitian pun menunjukkan bahwa transisi ke ekonomi hijau diperkirakan akan menghasilkan **lebih dari 24 juta** pekerjaan pada tahun 2050, banyak di antaranya akan berada di bidang pertanian.

⁷⁵ International Labour Organization, 2018

Tabel 3.2 Potensi Jenis Pekerjaan Baru di Sektor Pertanian Indonesia di tahun 2045

Pekerjaan	Deskripsi Singkat	Skillset yang Dibutuhkan	Kualifikasi/Tingkat Pendidikan
Spesialis Pertanian Digital	Penggunaan teknologi GPS, penginderaan jarak jauh, <i>Variable Rate Technology</i> (VRT), dan <i>drone</i> memungkinkan pengamatan, pengukuran, dan analisis variabilitas area pertanian secara detail. Selain itu, pengoperasian peralatan mesin otonom mendukung efisiensi dan optimalisasi kegiatan di lapangan.	Memiliki keahlian mendalam dalam teknologi GPS dan VRT, terampil dalam pengoperasian serta pemeliharaan drone dan mesin otomatis, serta mampu menganalisis data kompleks. Ditambah dengan kemampuan menyelesaikan masalah dan mengkomunikasikan informasi serta hasil analisis secara efektif.	Sarjana (S-1) dalam bidang Pertanian, Agronomi, Teknologi Geospasial, Robotika, atau yang telah menempuh pelatihan yang relevan dengan teknologi dan praktik pertanian digital.
Teknisi Sistem Robotik	Memadukan peran Teknisi Pemungutan Panen Robotik dengan Spesialis <i>Internet of Things</i> (IoT), menjalankan sistem panen robotik untuk pemungutan hasil panen secara selektif sambil memanfaatkan teknologi IoT dalam memantau kondisi lahan pertanian dan ternak secara waktu nyata.	Menguasai operasi dan pemeliharaan sistem panen robotik, penerapan teknologi IoT untuk pemantauan <i>real-time</i> , penyelesaian masalah teknis pada sistem robotik dan IoT, serta analisis data perangkat IoT untuk mendukung pengambilan keputusan yang tepat.	Diploma (D-3) dalam bidang Teknologi Robotik, Teknologi Pertanian, atau yang berpengalaman praktis dengan sistem robotik dan teknologi IoT.

<p>Analisis Pertanian <i>Artificial Intelligence</i> (AI) / <i>Machine Learning</i> (ML)</p>	<p>Memanfaatkan AI dan ML guna meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pertanian. Mereka merancang model analitik prediktif untuk memperkirakan hasil panen, mengembangkan sistem deteksi dan manajemen penyakit secara instan, serta menciptakan sistem irigasi yang cerdas dan otomatis.</p>	<p>Memiliki pemahaman mendalam tentang algoritma AI dan ML beserta penerapannya dalam bidang pertanian, mampu merumuskan model prediktif untuk perhitungan hasil panen dengan mempertimbangkan berbagai variabel, menguasai pengetahuan tentang penyakit tanaman serta mampu mengembangkan sistem identifikasi dan pengelolaan penyakit secara instan, mahir dalam mendesain sistem irigasi cerdas yang efisien dalam penggunaan air, dan memiliki kemampuan analitis untuk mengevaluasi data kompleks demi pengambilan keputusan yang akurat.</p>	<p>Sarjana (S-1) dalam bidang Ilmu Komputer, Ilmu Data, Teknologi Pertanian, atau bidang terkait dengan fokus pada AI/ML. Namun, gelar magister (S2) atau Ph.D. dalam bidang aplikasi AI/ML dapat bermanfaat untuk posisi yang lebih lanjut.</p>
--	---	--	--

<p>Manajer Data dan Rantai Pasokan</p>	<p>Merangkum peran Analis <i>Big Data</i> dan Manajer Rantai Pasokan. Bertugas mengolah <i>dataset</i> besar untuk menyediakan informasi akurat dan relevan bagi petani, sekaligus mengatur serta meningkatkan efisiensi rantai pasokan <i>agri-food</i> melalui penerapan teknologi digital.</p>	<p>Kepandai-an dalam analisis <i>big data</i>, kecakapan dalam memperbaiki dan mengatur manajemen rantai pasokan, khususnya di bidang <i>agri-food</i>, kemampuan analitik data yang tajam, serta keterampilan komunikasi yang memadai untuk mempresentasikan analisis data kompleks kepada petani dan <i>stakeholder</i>.</p>	<p>Sarjana (S-1) dalam bidang Bisnis, Manajemen Rantai Pasokan, Ilmu Data, atau pengalaman praktis dengan analisis big data dan manajemen rantai pasokan dalam pengaturan pertanian.</p>
--	---	--	--

<p>Pelatih Pertanian <i>Virtual Reality</i> (VR) dan <i>Augmented Reality</i> (AR)</p>	<p>Memanfaatkan teknologi VR dan AR untuk menciptakan sesi pelatihan yang menarik dan interaktif, mensimulasikan beragam situasi pertanian dan membimbing petani melalui proses penyelesaian tugas-tugas yang kompleks dengan bantuan teknologi AR dan VR.</p>	<p>Menguasai teknologi VR dan AR untuk aplikasi pendidikan, berkeahlian dalam mengembangkan program pelatihan yang inovatif dan menarik melalui VR/AR, memiliki kepekaan terhadap konteks pertanian dalam merancang simulasi yang realistis, mahir dalam menyelesaikan permasalahan teknis sistem VR/AR, serta berkapasitas untuk membimbing petani dalam menavigasi tugas-tugas kompleks dengan memanfaatkan teknologi VR/AR.</p>	<p>Sarjana (S-1) di bidang Teknologi Pendidikan, Ilmu Komputer, atau bidang terkait dengan fokus pada VR/AR. Namun, gelar magister (S-2) di bidang-bidang ini bisa bermanfaat untuk posisi yang lebih lanjut.</p>
--	--	--	---

<p>Spesialis Keamanan Siber Pertanian</p>	<p>Menjaga keamanan perangkat pertanian pintar dan teknik pertanian presisi dari ancaman serangan siber, memastikan integritas dan keandalan praktik pertanian digital.</p>	<p>Memiliki keahlian tinggi dalam prinsip dan praktik keamanan siber, pengalaman luas dengan teknologi pertanian pintar dan alat pertanian presisi, serta kemampuan pro-aktif dalam mendeteksi dan mengatasi potensi ancaman siber, ditambah dengan keterampilan responsif dalam menangani dan mencegah serangan siber.</p>	<p>Sarjana (S-1) dalam bidang Keamanan Siber, Ilmu Komputer, atau pengalaman praktis terkait keamanan siber dalam pengaturan pertanian.</p>
---	---	---	---

<p>Spesialis Dukungan Teknis dan Keterlibatan Komunitas</p>	<p>Mengarahkan petani yang memiliki literasi dan keterampilan digital terbatas agar dapat memahami dan memanfaatkan teknologi pertanian digital dengan efektif, sekaligus memfasilitasi dialog dengan komunitas lokal untuk mempercepat penerimaan dan penerapan teknologi baru tersebut.</p>	<p>Memiliki keahlian teknis mendalam dalam teknologi pertanian digital, keahlian komunikasi yang efektif untuk mempermudah pemahaman konsep teknis yang kompleks, pengalaman luas dalam merencanakan dan memimpin kegiatan komunitas, serta keterampilan pemecahan masalah yang kuat dalam mengatasi tantangan teknologi digital.</p>	<p>Sarjana (S-1) dalam bidang Teknologi Informasi, Ilmu Komputer, atau Ilmu Pertanian, atau pengalaman dalam pendidikan dan pelatihan, dukungan teknis, atau pengembangan komunitas.</p>
---	---	---	--

<p>Analisis Kebijakan dan Regulasi</p>	<p>Mengevaluasi dan memahami kebijakan dan regulasi yang berkaitan dengan sektor pertanian, memastikan kepatuhan praktik pertanian digital terhadap regulasi yang ada, serta memberikan rekomendasi mengenai dampak hukum dari penerapan teknologi dan metode pertanian baru.</p>	<p>Memiliki pengetahuan komprehensif tentang kebijakan dan regulasi terkait pertanian digital, keahlian analitis untuk menilai dampak legislasi pada operasi pertanian digital, ketelitian dalam mengaudit dokumen hukum untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi, serta kemampuan komunikasi yang unggul untuk menjelaskan informasi regulasi yang kompleks kepada pemangku kepentingan. Selain itu, dapat menyesuaikan strategi secara proaktif sesuai dengan dinamika perubahan hukum dan regulasi.</p>	<p>Sarjana (S-1) dalam bidang Hukum, Kebijakan Publik, Ilmu Pertanian, atau bidang terkait biasanya diperlukan.</p> <p>Gelar master (S-2) atau sertifikasi khusus dalam hukum pertanian, analisis kebijakan, atau area serupa dapat bermanfaat untuk posisi yang lebih lanjut.</p>
--	---	--	--

3.6. Prospek Teknologi Baru Yang Dapat Dikenalkan Melalui Green Jobs

Berikut adalah gambaran mengenai potensi teknologi baru beserta keahlian yang dapat diajarkan dan dikembangkan pada para petani Indonesia di masa mendatang melalui peralihan ke *green jobs*.

Tabel 3.3 Potensi Teknologi Baru & Keahlian Masa Depan di Pangan & Agrikultur

Pilar/ Segmen	Sub-Komponen	Jenis Teknologi/ Inisiatif	Implementasi
On-Ground Assistance	<i>Precision Agriculture</i>	Teknologi GPS	Menyediakan data geospasial yang diperlukan untuk pemetaan batas lapangan, merencanakan jalur lapangan, dan menandai area yang ingin diusahakan. Mesin yang dipandu GPS ini akan mengefisiensikan pekerjaan dalam perihal durasi waktu maupun tenaga kerja yang dibutuhkan per hektar, serta akan meningkatkan jumlah hasil panen.
		<i>Remote Sensing</i>	Mengidentifikasi, mengamati, dan mengukur objek tanpa perlu berada di jangkauan dekat/langsung dengan mereka melalui penggunaan alat satelit. Dapat digunakan untuk memprediksi wabah penyakit maupun infestasi, serta memungkinkan tindakan kontrol proaktif yang pada akhirnya akan meningkatkan jumlah hasil panen.
		<i>Variable Rate Technology (VRT) atau Site-Specific Crop Management (SSCM)</i>	Menyesuaikan <i>input</i> (benih, pupuk, pestisida) berdasarkan persyaratan spesifik setiap lokasi/lahan. Terlebih dengan adanya kemajuan baru dalam algoritma <i>artificial intelligence (AI)</i> dan <i>machine learning (ML)</i> , kedua hal tersebut dapat membantu memprediksi tingkat <i>input</i> yang lebih akurat sehingga mengarah pada pemaksimalan jumlah hasil panen.

	<i>Robotics and Automation</i>	Kendaraan Udara Tanpa Awak (<i>Drone</i>)	Cara yang efisien untuk mengambil gambar ladang beresolusi tinggi untuk memberikan informasi <i>real-time</i> tentang kesehatan dan progres pertumbuhan tanaman, maupun apabila ada kemungkinan ancaman infestasi hama dan kebutuhan irigasi.
			Secara praktik langsung, <i>drone</i> dapat digunakan untuk menyemprot pestisida, pupuk, dan benih di mana kemampuan tersebut menjadi sangat berguna khususnya di daerah yang sulit diakses oleh mesin darat pada umumnya.
		<i>Autonomous Tractors and Harvesters</i>	Mengoptimalkan operasi lapangan dengan melakukan pekerjaan monoton seperti membajak, menanam, dan memupuk dengan presisi dan efisien – juga meminimalisir kerugian tanaman dan meningkatkan produktivitas dan ketepatan panen secara keseluruhan.
		<i>Robotic Picking Systems</i>	Panen selektif berdasarkan kematangan atau ukuran produk yang menghasilkan <i>output</i> dengan mutu yang konsisten dan juga meminimalisir kerusakan tanaman.

	<i>Artificial Intelligence and Machine Learning</i>	Analitik Prediktif Untuk Hasil Panen	Memodernisasi prediksi jumlah hasil tradisional yang dulunya hanya mengandalkan model regresi menggunakan data hasil historis, untuk sekarang memungkinkan prediksi hasil yang lebih akurat dan tepat secara waktu panen untuk setiap lokasi yang sedang diusahakan.
		Identifikasi dan Manajemen Wabah	Memungkinkan petani untuk mendiagnosis penyakit tanaman secara <i>real-time</i> , sehingga memungkinkan tindakan represif yang cepat maupun preventif untuk masa mendatang.
		Sistem Irigasi Pintar	Tidak hanya efisien dalam penggunaan air dengan kontrol otomatis yang menyesuaikan penyiraman sesuai kebutuhan spesifik setiap tanaman, tetapi juga meningkatkan pertumbuhan tanaman secara signifikan. Hal ini terjadi karena asupan gizi dan nutrisi yang diberikan sangat tepat, mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.
Off-Ground Supporting System	<i>Internet of Things (IoT) and Big Data</i>	IoT dalam Pemantauan Tanaman dan Manajemen Ternak	Memfasilitasi pemantauan secara <i>real-time</i> atas lahan pertanian dan ternak, memberikan kemampuan kepada petani untuk segera merespons setiap perubahan kondisi yang terjadi.
		<i>Big Data Untuk Decision Support Systems (DSS)</i>	DSS yang didasarkan pada big data menyediakan informasi yang akurat dan dapat langsung diterapkan oleh petani, memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih baik terkait pemilihan jenis tanaman, penjadwalan waktu tanam dan panen, penggunaan pupuk, pengaturan irigasi, serta pengelolaan hama secara efektif.

	<i>Virtual and Augmented Reality</i> Dalam Pelatihan Manajemen Pertanian	<i>Virtual Reality</i> Untuk Pelatihan Manajemen Pertanian	Mensimulasikan beragam skenario pertanian untuk memberi petani pengalaman langsung tanpa perlu menghadapi risiko dan biaya yang biasanya terlibat dalam praktik pertanian nyata. Sebagai contoh, peserta pelatihan dapat mengeksplorasi interior mesin traktor atau berkeliling di ladang virtual untuk memahami berbagai jenis tanaman dan hama yang ada.
		<i>Augmented Reality</i> Dalam Pelatihan Manajemen Pertanian	Berfungsi sebagai panduan bagi petani dalam menavigasi tugas-tugas yang rumit. Sebagai contoh, dengan menargetkan kamera ponsel mereka ke sebuah tanaman, petani bisa mendapatkan informasi mengenai hama atau penyakit yang berpotensi mengganggu tanaman tersebut, beserta rekomendasi metode pengobatannya.
	Keamanan Siber	Aksesibilitas dan Keamanan Data	Menguraikan metode penyimpanan, strategi keamanan, dan peran fungsi repositori dalam platform
		Interoperabilitas dan Integrasi Data	Membahas kemampuan platform untuk menyinkronkan data dalam domain yang serupa sekaligus memastikan kemudahan dalam pengembangan dan penyesuaian lebih lanjut.
		Pemrosesan Data	Kapabilitas platform dalam menyajikan alat-alat yang mendukung proses pembersihan teks, pemfilteran data numerik atau geospasial, serta memberikan kemungkinan bagi pengguna untuk melaksanakan analisis yang disesuaikan dengan kebutuhan mereka.
		Domain Data dan Target Pengguna	Kapabilitas platform dalam menangani dan mengelola aneka ragam data dengan kemudahan operasional, harga yang terjangkau, serta keterjangkauan bagi pengguna dari semua strata sosioekonomi, termasuk mereka yang memiliki keterbatasan dalam perangkat teknologi.

	Dukungan Teknis, Pemeliharaan, dan Pengawasan		Mengingat lebih dari 50% petani saat ini berada di atas usia 55 tahun, kebutuhan akan tenaga ahli dalam pertanian digital yang mumpuni menjadi sangat penting untuk mengarahkan petani Indonesia, yang secara umum memiliki tingkat keterampilan dan literasi digital yang rendah.
Post-Harvest Optimization	Manajemen Rantai Pasokan		Keterampilan dalam penerapan teknologi digital untuk efisiensi rantai pasokan pangan esensial, terutama melalui penggunaan <i>digital twins</i> (DT). DT merupakan replika virtual dari rantai pasokan fisik yang nyata, mulai dari petani hingga konsumen akhir, yang memungkinkan pelaksanaan simulasi dan optimalisasi secara virtual untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi.
	Jaminan Kualitas		Untuk menjaga dan meningkatkan kualitas, serta memperluas masa simpan produk.
	Pemasaran, Pembiayaan, dan Penjualan		Keahlian dalam memaksimalkan platform digital untuk kegiatan pemasaran dan penjualan, memberdayakan petani dengan akses yang lebih lancar serta distribusi efisien produk pertanian ke pasar yang lebih luas.
People and Policy	Kebijakan dan Regulasi		Bukan hanya menguasai secara mendalam tentang kebijakan dan regulasi di sektor pertanian digital, tetapi juga secara proaktif terlibat dalam pengembangan kebijakan yang dirancang untuk mempercepat transisi ke pertanian digital. Ini termasuk upaya untuk menjaga kesejahteraan petani selama periode transisi, menyediakan kepastian mengenai pendapatan, kebutuhan perlengkapan, dan dukungan dari pemerintah atau pihak terkait. Selain itu, berkontribusi dalam memastikan bahwa program pertanian digital berkelanjutan, dengan mendorong partisipasi aktif dari semua petani di Indonesia untuk jangka panjang, menjadi prioritas utama.

	Pelibatan Komunitas		Menciptakan komunitas "petani digital" berperan sebagai sarana utama untuk berkomunikasi dan berkolaborasi dengan kelompok lokal, mendukung adopsi teknologi pertanian digital secara menyeluruh. Edukasi berkualitas juga menjadi kunci agar petani bisa saling bertukar ilmu, mempercepat penyebaran dan pengaruh transisi ke pertanian digital, memungkinkan pengetahuan tersebar luas secara organik dan independen.
--	---------------------	--	--

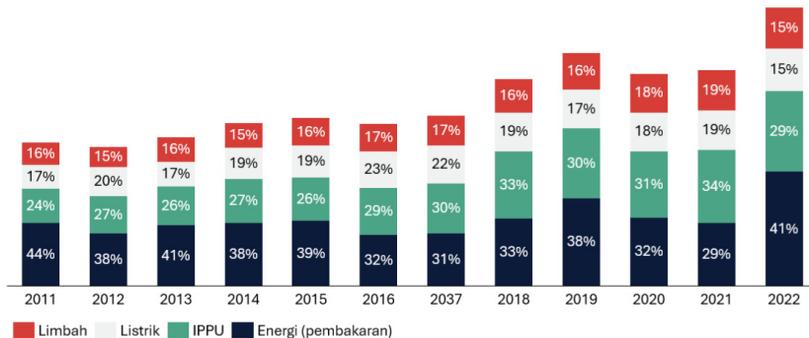
BAB IV

Industri

“Industri hijau memberikan banyak manfaat, diantaranya mengurangi biaya operasi termasuk penghematan energi dan air, menghemat sumber daya alam yang terbatas, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, menjaga keseimbangan ekosistem, serta mendorong pengembangan teknologi yang ramah lingkungan,”

- Kepala Badan Standardisasi dan Kebijakan Jasa Industri (BSKJI) Kementerian Andi Rizaldi.⁷⁶

Emisi GRK historis dari aktivitas industri
(dalam persentase emisi terkait energi)



Grafik 4.1 Emisi GRK historis dari aktivitas industri

⁷⁶ <https://pressrelease.kontan.co.id/news/kemenperin-dukung-pembangunan-sistem-manajemen-energi-di-sektor-industri>

Sumber: Indonesia Energy Transition Outlook 2024

Di ambang revolusi industri hijau, dunia menghadapi dilema antara pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan. Kemajuan sektor industri merupakan potensi besar bagi Indonesia untuk keluar dari perangkap pendapatan menengah (*middle income trap*). Namun, untuk sukses dalam pengembangan sektor industri, penting untuk memajukan tren industri hijau yang tidak hanya efisien tapi juga berkelanjutan. Berdasarkan grafik di atas, diketahui sektor industri merupakan salah satu konsumen energi terbesar di Indonesia, menyumbang sebagian besar penggunaan energi di negara ini. Jika sumber energi berbahan dasar fosil terus digunakan, maka sektor energi akan menjadi penghasil gas rumah kaca terbesar di Indonesia. Oleh karena itu, transformasi penggunaan energi ke dalam energi hijau menjadi sangat krusial dalam konteks industri hijau ini.

Industri yang mengalami transformasi signifikan dapat dibagi menjadi dua kategori sektor besar: sektor intensif emisi karbon yang merupakan industri-industri yang menghasilkan emisi karbon yang signifikan dan juga sektor teknologi hijau yang menjadi kunci dalam perkembangan industri hijau di masa yang akan datang.

- **Sektor Intensif Emisi Karbon:** Industri seperti plastik, amonia, semen, dan baja, berkontribusi besar terhadap emisi global dimana menjadi industri kunci yang harus menekan besar emisi karbon yang dihasilkan. Melalui proses penekanan emisi dan transformasi industri menjadi lebih hijau maka dapat menghasilkan potensi pengurangan emisi sebesar 118 – 196 juta ton CO₂.
- **Sektor Teknologi Hijau:** Mineral seperti tembaga, bauksit, nikel, dan kuarsa yang krusial dalam pengembangan teknologi hijau. Peningkatan permintaan teknologi bersih ini menempatkan mineral di pusat strategi industri masa depan.

Kedua sektor ini memiliki permintaan yang besar di tahun 2045 didorong dengan perkembangan perekonomian Indonesia dan transformasi industri secara keseluruhan yang menjadi lebih hijau guna mengurangi emisi karbon dan mencapai net zero 2060. Dengan praktik keberlanjutan dalam proses eksekusi industri, ada

beberapa dampak positif yang akan dihasilkan.

- **Dampak Lingkungan:** Potensi pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 118 – 196 metrik ton jika proses eksekusi dijalankan sesuai dengan praktik keberlanjutan dimana akan berkontribusi terhadap komitmen Indonesia dalam pengurangan GRK.
- **Dampak Sosial:** Potensi penciptaan **3.8 – 4.4 juta pekerjaan hijau** di sektor yang disebutkan di atas dimana akan mendukung perekonomian masyarakat Indonesia dan GDP negara secara bersamaan.

4.1 Lanskap Permintaan Masa Depan untuk Manufaktur Hijau

Indonesia berambisi menjadi negara pengekspor bersih antara tahun 2035 dan 2039, sesuai dengan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN). Untuk merealisasikan ambisi ini, transformasi hijau dalam sektor industri menjadi kata kunci. Komitmen internal negara untuk mencapai *net zero emissions* pada tahun 2060 mendukung inisiatif ini dengan peningkatan efisiensi energi, pemanfaatan energi terbarukan, dan pengimplementasian teknologi ramah lingkungan dalam proses produksi. Transformasi ini diharapkan tidak hanya akan menurunkan emisi karbon tetapi juga meningkatkan daya saing industri manufaktur Indonesia di kancah internasional⁷⁷.

Salah satu dorongan eksternal untuk transisi hijau datang dari *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM), sebuah kebijakan yang diterapkan oleh Uni Eropa yang bertujuan untuk menyesuaikan harga karbon produk impor agar sejalan dengan harga karbon di pasar Uni Eropa. Ini mendorong negara-negara ekspor seperti Indonesia untuk mempercepat transisi energi mereka dan mengadopsi praktik manufaktur yang lebih berkelanjutan, sehingga produk mereka tetap kompetitif di pasar Eropa⁷⁸.

Lanskap permintaan masa depan untuk manufaktur hijau di Indonesia ditandai oleh kebutuhan mendesak akan transformasi industri yang berkelanjutan. Baik tantangan internal maupun

⁷⁷ Y Cao et al., 2024

⁷⁸ AM Fathollahi-Fard et al., 2024

eksternal mendorong negara ini untuk mengadopsi teknologi hijau dan prinsip-prinsip berkelanjutan dalam produksi industri⁷⁹.

4.2 Industri Intensif Emisi Karbon

Sektor manufaktur global, termasuk Indonesia, sedang bertransformasi besar-besaran menuju keberlanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meminimalisir jejak karbon. Upaya ini mencakup identifikasi penghalang dan pendorong praktik efisien karbon di rantai pasok, peningkatan efisiensi energi, serta transisi dari penggunaan batu bara ke sumber energi terbarukan.

4.2.1 Plastik

Industri plastik global menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, dengan volume produksi yang mencerminkan permintaan yang kuat dari berbagai sektor. Pada tahun 2021, produksi plastik global mencapai 390,7 juta metrik ton, menandakan peningkatan yang signifikan dari tahun-tahun sebelumnya. Pertumbuhan ini diharapkan akan berlanjut, dengan proyeksi yang menunjukkan produksi termoplastik global akan mencapai 445,25 juta metrik ton pada tahun 2025, menekankan pentingnya plastik dalam kehidupan modern karena keberagamannya dan aplikasinya yang luas di berbagai industri⁸⁰.



Ilustrasi 4.1 Perusahaan produksi plastik utama di Indonesia

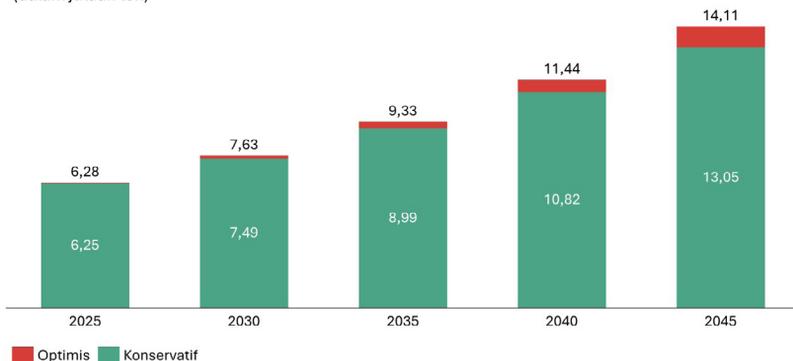
⁷⁹ N Khaddage-Soboh et al., 2024

⁸⁰ Statista, 2024; Grand View Research, 2024

Di Indonesia, pasar plastik dinilai sebesar US\$8,63 miliar pada tahun 2022, dengan proyeksi yang menunjukkan potensi pertumbuhan menjadi US\$14,58 miliar pada tahun 2031. Dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) lebih dari 6%, Indonesia memainkan peran penting dalam pasar plastik global. Pertumbuhan cepat ini menghasilkan tantangan baru dalam pengelolaan limbah, membutuhkan praktik berkelanjutan dan inisiatif daur ulang untuk mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan plastik yang meningkat⁸¹.

Respons global terhadap dampak lingkungan dari produksi plastik telah mendorong adopsi praktik manufaktur yang lebih berkelanjutan. Inovasi dalam teknologi daur ulang lanjutan, termasuk pirolisis, menawarkan potensi reduksi emisi gas rumah kaca sebesar 18-23%, mendukung transisi sektor industri plastik ke model ekonomi sirkular. Selanjutnya, strategi nasional, seperti yang dirumuskan oleh EPA AS, bertujuan untuk menanggulangi polusi plastik melalui optimisasi pemulihan dan efisiensi material, yang pada gilirannya akan membuka jalan bagi masa depan manufaktur plastik yang lebih berkelanjutan dan ekologis⁸².

Permintaan Amonia Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



⁸¹ The Packman, 2024; Mordor Intelligence, 2023

⁸² US EPA, 2023; ScienceDaily, 2023

Grafik 4.2 Permintaan Plastik Indonesia tahun 2025 - 2045

Diperkirakan bahwa permintaan plastik domestik akan meningkat secara signifikan, mencapai sekitar ~44-81 juta ton pada tahun 2045. Faktor-faktor utama yang mendorong pertumbuhan ini termasuk ekspansi industri pengemasan, urbanisasi yang berkelanjutan, pertumbuhan populasi global, serta peningkatan aplikasi plastik dalam sektor otomotif dan elektronik. Namun, tantangan terkait dengan pengelolaan limbah plastik dan kebutuhan akan solusi berkelanjutan juga akan menjadi lebih penting, mendorong inovasi dalam teknologi daur ulang dan produksi plastik yang lebih ramah lingkungan.

4.2.2 Amonia

Industri amonia global akan mengalami pertumbuhan yang signifikan, dengan produksi global amonia pada tahun 2023 diperkirakan mencapai sekitar 150 juta metrik ton. Peningkatan ini mencerminkan permintaan yang terus tumbuh seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan produksi pangan dan energi⁸³.

Di Indonesia, pertumbuhan permintaan akan amonia juga menunjukkan peningkatan signifikan, dengan impor amonia yang meningkat dari berbagai negara dari tahun 2021 ke 2022. Diproyeksikan bahwa ekspor amonia Indonesia akan mencapai nilai \$475 juta pada tahun 2026, menandakan potensi ekonomi yang signifikan dari industri ini. Selanjutnya, pasar amonia hijau di Indonesia diperkirakan akan mencapai 18 ribu metrik ton pada tahun 2030, yang menandai transisi negara menuju praktik yang lebih bersih dan berkelanjutan⁸⁴.

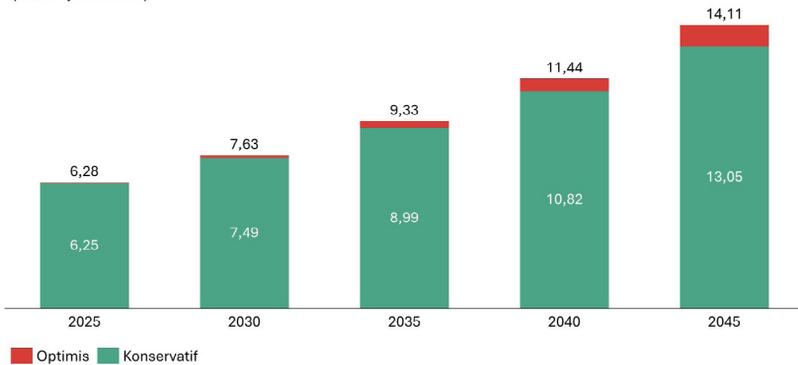
Upaya untuk mengurangi emisi dalam produksi amonia telah menjadi fokus utama secara global, mengingat produksi amonia menyumbang sekitar 1,3% dari emisi CO₂. Pengembangan amonia hijau, yang diproduksi melalui metode yang lebih ramah lingkungan, menawarkan potensi untuk memangkas emisi sebesar 5 persen. Pupuk Indonesia, sebagai salah satu pemain utama di industri amonia di Indonesia, berkomitmen untuk menjadi pemain besar

⁸³ Statista, 2024

⁸⁴ The Observatory of Economic Complexity, 2022; Statista, 2023

dalam amonia bersih dengan mengembangkan amonia dengan emisi karbon rendah hingga nol. Proyek amonia terbaru dengan kapasitas 150.000 ton per tahun yang didukung oleh energi angin dan surya menandai langkah besar menuju pengurangan emisi⁸⁵. ().

Permintaan Amonia Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.3 Permintaan Amonia Indonesia tahun 2025 – 2045

Menuju tahun 2045, diperkirakan permintaan nasional amonia akan mencapai sekitar 13-14 juta metrik ton, sebagai respons terhadap peningkatan kebutuhan dalam sektor pertanian dan potensi aplikasi energi bersih. Pertumbuhan ini sejalan dengan kebutuhan global akan inovasi dalam produksi amonia yang ramah lingkungan, termasuk pengembangan infrastruktur untuk amonia hijau yang berbasis energi terbarukan.

4.2.3 Baja

Produksi baja global mencapai 18,88 miliar metrik ton pada tahun 2023, menunjukkan kestabilan dibandingkan dengan tahun 2022⁸⁶. Total produksi baja kasar dunia tercatat sebesar 1.888,2 juta ton pada tahun 2023, mencerminkan dinamika pasar baja global

⁸⁵ World Economic Forum, 2023; McKinsey & Company, 2023; Pupuk Indonesia, 2023; IESR, 2023

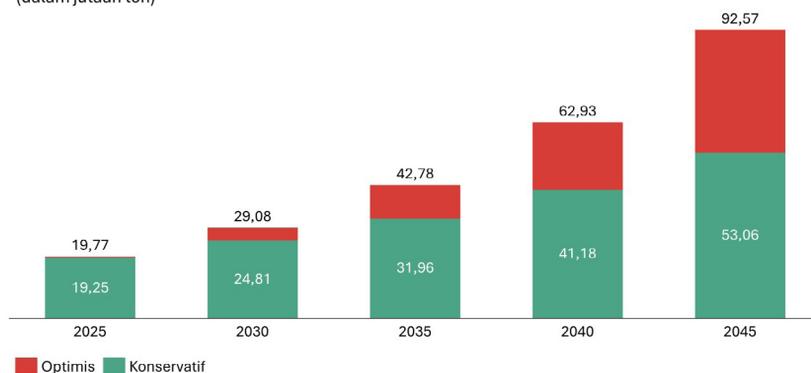
⁸⁶ Worldsteel, 2022

yang kompleks⁸⁷.

Di Indonesia, pasar baja menunjukkan pertumbuhan yang signifikan. Berdasarkan laporan terbaru, impor baja mengalami kenaikan sebesar 23% dari 3,9 juta ton pada tahun 2020. Industri baja Indonesia tumbuh 10,86% *year-on-year* selama kuartal ketiga, menegaskan posisinya sebagai pilar penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi negara⁸⁸.

Industri bajamenghadapitantangansignifikandalammengurangi emisi, mengingat proses produksinya yang intensif energi. Analisis terbaru oleh IEA menunjukkan bahwa lebih dari 100 juta metrik ton produksi pembuatan besi dengan emisi hampir nol diperlukan pada tahun 2030. Industri baja menargetkan pengurangan intensitas sebesar 45% untuk baja primer dan 65% untuk baja sekunder pada tahun 2030 menuju *net-zero* pada tahun 2050. Inovasi pada dekade ini akan menjadi krusial untuk komersialisasi teknologi baru yang mendekati nol emisi, yang sangat dibutuhkan untuk transformasi industri baja global menjadi lebih berkelanjutan⁸⁹.

Permintaan Baja Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.4 Permintaan Baja Indonesia tahun 2025 – 2045

Diperkirakan bahwa permintaan baja di Indonesia akan

⁸⁷ SP Global, 2023; World Steel Association, 2024

⁸⁸ GlobeNewswire, 2024; SEAISI, 2023

⁸⁹ IEA, 2023; World Economic Forum, 2023

mencapai sekitar ~53-92 juta ton pada tahun 2045. Faktor-faktor seperti pertumbuhan ekonomi yang pesat, ekspansi proyek infrastruktur, urbanisasi yang terus meningkat, serta pengembangan sektor industri dan konstruksi, berperan besar dalam mendorong permintaan tersebut. Kenaikan ini juga mencerminkan kesadaran yang bertambah terhadap keberlanjutan dan inovasi teknologi, yang memungkinkan produksi baja dengan efisiensi energi lebih tinggi dan emisi lebih rendah, sejalan dengan tren global dan kebutuhan pasar domestik yang dinamis.

4.2.4 Semen

Produksi semen global pada tahun 2023 mencapai perkiraan 4,1 miliar ton, menandakan pertumbuhan yang signifikan sejak tahun 1995. Selain itu, International Energy Agency (IEA) mencatat bahwa sekitar 8% dari kapasitas produksi global perlu konsisten emisi hampir nol pada tahun 2030 untuk mencapai target *net zero global*.⁹⁰

Industri semen di Indonesia menunjukkan potensi pertumbuhan yang signifikan. Pada tahun 2022, pasar semen global diperkirakan bernilai sekitar USD 340 miliar, dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (*CAGR*) sebesar 5,1%. Khususnya di Indonesia, pasar semen diperkirakan akan mencapai 72,61 juta ton pada tahun 2024 dan tumbuh dengan *CAGR* sebesar 7,05% hingga mencapai 109,24 juta ton pada tahun 2030, mencerminkan pentingnya industri ini dalam mendukung pembangunan infrastruktur dan pertumbuhan ekonomi nasional⁹¹.

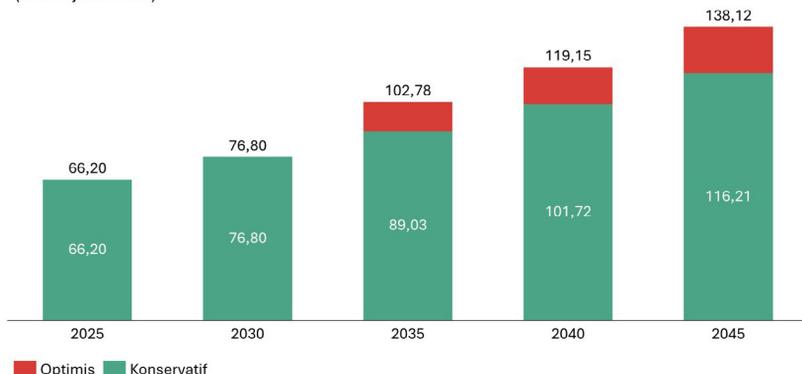
Dari perspektif emisi, industri semen merupakan salah satu penyumbang emisi CO₂ terbesar, dengan emisi sebesar 40 Mt CO₂ setiap tahunnya. Economic Forum dan IEA menyoroti berbagai inisiatif yang ditujukan untuk mengurangi emisi CO₂, dengan Global Cement and Concrete Association (GCCA) menargetkan pengurangan emisi sebesar 20% pada tahun 2030 dan mencapai *net zero* emisi pada tahun 2050. Strategi utama mencakup peningkatan efisiensi energi, beralih ke bahan bakar dengan karbon lebih rendah,

⁹⁰ Statista, 2023; IEA, 2024

⁹¹ Asian Insiders, Mordor Intelligence, 2024

dan mempromosikan penggunaan teknologi inovatif⁹².

Permintaan Semen Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.5 Permintaan Semen Indonesia tahun 2025 – 2045

Menjelang tahun 2045, diperkirakan permintaan semen di Indonesia akan mencapai sekitar 116-138 juta ton. Faktor-faktor seperti pertumbuhan populasi global, urbanisasi yang berkelanjutan, dan ekspansi infrastruktur khususnya di negara-negara berkembang, diharapkan menjadi pendorong utama pertumbuhan permintaan ini. Namun, di tengah meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan, industri semen juga menghadapi tantangan untuk mengurangi emisi CO₂. Hal ini mendorong inovasi dalam produksi semen, termasuk pengembangan bahan alternatif yang lebih berkelanjutan dan teknologi produksi yang efisien.

4.3. Industri Berbasis Teknologi Hijau

4.3.1 Nikel

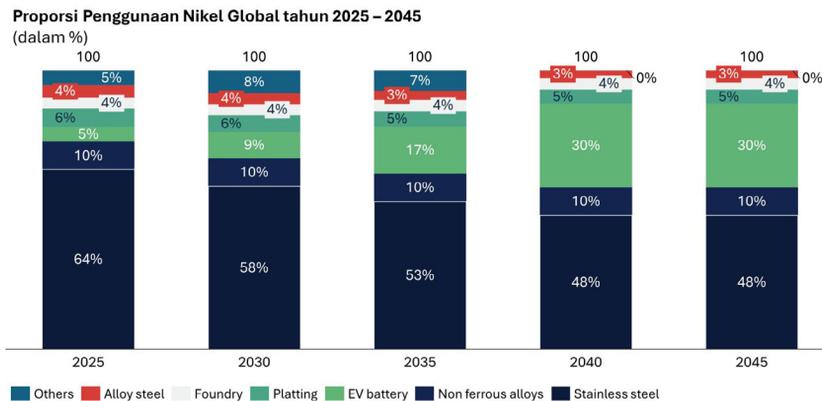
Berdasarkan laporan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), permintaan nikel global mencapai 2.4 juta ton pada tahun 2020, dan diprediksi akan terus meningkat dengan angka pertumbuhan yang relatif tinggi. Nikel merupakan salah satu mineral yang sangat krusial untuk pengembangan teknologi hijau, terutama

⁹² World Economic Forum 2023; IEA; MDPI, 2023; WRI, 2024

kendaraan listrik.

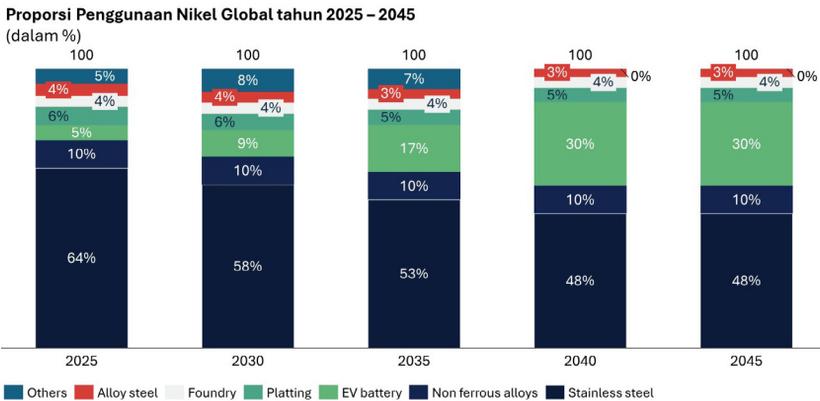
Saat ini, penggunaan mobil listrik didominasi oleh Tiongkok jumlah mobil listrik sebanyak 13,8 juta, Eropa sebanyak 9,5 juta, dan Amerika Serikat sebanyak 3 juta. Permintaan terhadap sepeda motor listrik juga telah mengalami peningkatan yang signifikan, terutama di pasar Tiongkok dan India yang mendominasi penjualan sepeda motor listrik. Saat ini, industri sepeda motor listrik di Indonesia dianggap sebagai pasar yang potensial yang ditandai dengan hadirnya berbagai perusahaan manufaktur sepeda motor listrik seperti Elektrum, United, Selis, dan lain lain.

Namun tentu, proses ekstraksi nikel dari bumi dan manufaktur produk jadi akan mengeluarkan karbon emisi yang cukup intensif, yaitu sebesar 26.94 ton Co2 per ton nikel. Berdasarkan hasil proyeksi, diprediksi bahwa sebesar 9 juta ton Co2 akan diemisikan oleh industri nikel Indonesia pada tahun 2024. Seusai dengan amanat pemerintah untuk mencapai Indonesia *net zero* di tahun 2060, maka diperlukan inisiatif-inisiatif baru untuk merevolusi industri manufaktur agar menjadi lebih hijau.



Grafik 4.6 Permintaan Nikel Global tahun 2025 – 2045

Diproyeksikan bahwa permintaan global akan nikel akan mencapai hingga 10.2 juta ton nikel pada tahun 2045, dengan pertumbuhan sebesar 4.1% per tahun.



Grafik 4.7 Proporsi Penggunaan Nikel Global tahun 2025 – 2045

Permintaan nikel saat ini masih didominasi oleh industri produksi stainless steel, yaitu sebanyak 71 persen pada tahun 2020, dengan Tiongkok sebagai pembeli utama. Di lain sisi, baterai hanya menyumbang 3% dari total kebutuhan nikel global pada tahun 2020. Namun, hal ini diprediksi akan berubah drastis di masa depan, dimana alokasi untuk baterai listrik akan meningkat secara signifikan hingga mencapai 40 persen dan stainless steel akan menurun menjadi 48% dari total permintaan nikel dunia pada tahun 2040.

Secara umum, terdapat 2 jenis baterai listrik yang paling banyak digunakan, yaitu baterai berbahan lithium-ion yang berbahan dasar nikel dan baterai LFP (Lithium-Ferro-Phosphate) yang tidak menggunakan nikel. Berdasarkan data Badan Energi Internasional (IEA), baterai berbahan dasar nikel merupakan yang paling banyak digunakan pada tahun 2022, yaitu dengan pangsa pasar sebesar 60 persen⁹³ dan akan terus bertumbuh besar.

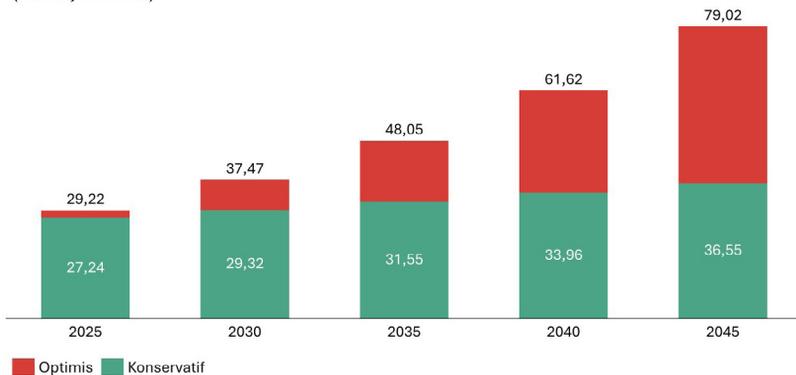
⁹³ CNBC Indonesia, 2024

4.3.2 Tembaga

Permintaan tembaga di masa mendatang akan terus meningkat sejalan dengan perkembangan ekonomi dikarenakan tembaga merupakan mineral yang banyak digunakan dalam pembuatan kabel listrik dan peralatan elektronik. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), kegunaan tembaga saat ini terbagi menjadi 31 persen untuk perlengkapan, 30 persen untuk pembangunan gedung, 15 persen untuk infrastruktur, 12 persen untuk manufaktur transportasi, dan 12 persen untuk kebutuhan industrial.⁹⁴ Kebutuhan tembaga di masa mendatang akan didukung oleh permintaan pada sektor manufaktur transportasi hijau, pembangunan infrastruktur berkelanjutan, dan teknologi hijau lainnya di masa depan.

Meskipun tembaga merupakan salah satu bahan baku paling krusial dalam proses peralihan menuju praktik yang lebih terbarukan, praktik penambangan tembaga pada saat ini masih menghasilkan emisi karbon dalam jumlah yang cukup signifikan, yaitu sebesar 5.34 ton Co₂ per ton tembaga. Industri tembaga Indonesia sendiri pun diperkirakan akan mengemisikan karbon sebesar 37.3 juta ton Co₂.

Permintaan Tembaga Global tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.8 Permintaan Tembaga Global tahun 2025 – 2045

⁹⁴ Statista, 2023

Kebutuhan tembaga dunia pada tahun 2024 diperkirakan akan mencapai 27 juta ton dan diproyeksikan akan meningkat dengan tingkat pertumbuhan yang pesat, hingga mencapai 31,5 – 48 juta ton tembaga pada tahun 2045.

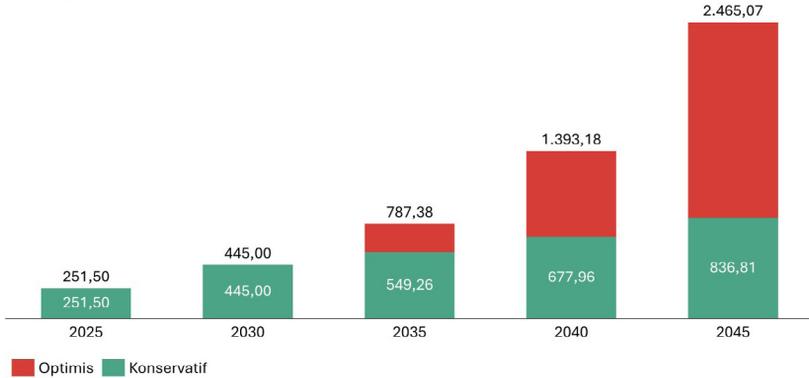
Untuk Indonesia, tembaga memiliki peran yang krusial dalam proses pembangunan infrastruktur dan teknologi hijau, seperti pengembangan infrastruktur kelistrikan dan jaringan daerah, pembangunan pembangkit listrik tenaga terbarukan, dan proses manufaktur komponen mobil listrik. Diperkirakan pada tahun 2045, penggunaan tembaga untuk proses manufaktur teknologi dan infrastruktur hijau mencapai hingga 70%.

4.3.3 Bauksit

Bauksit merupakan mineral yang digunakan sebagai bahan dasar dari pembuatan aluminium. Proses pembuatan aluminium akan dimulai dari pemurnian biji bauksit menjadi alumina, kemudian dilanjutkan dengan peleburan alumina menjadi aluminium. Secara umum, 1 ton aluminium dapat diproduksi dengan bahan dasar 6-ton bauksit. Banyaknya kebutuhan akan aluminium membuat bauxite menjadi salah satu mineral yang paling dibutuhkan dalam proses manufaktur industrial.

Proses penambangan bauksit menghasilkan emisi karbon yang relatif lebih rendah dibandingkan mineral bahan dasar teknologi hijau, seperti nikel dan tembaga dengan emisi 0.15 ton Co₂ per ton bauksit. Namun, proses pemurnian bauksit menjadi aluminium sangat intensif karbon dengan emisi rata-rata global sebesar 16 ton Co₂ per ton aluminium. Industri aluminium bertanggung jawab atas emisi karbon sebesar 1.1 miliar ton Co₂ pada tahun 2018 atau setara dengan 4% emisi dunia.

Permintaan Bauksit Global tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.9 Permintaan Bauksit Global tahun 2025 – 2045

Diproyeksikan pada tahun 2024, kebutuhan bauksit global akan mencapai 224.4 juta ton bauksit, dan akan terus bertumbuh secara konsisten di masa mendatang. Hal ini tentu didorong dengan tren meningkatnya permintaan global untuk aluminium yang akan digunakan untuk memproduksi teknologi-teknologi hijau di masa mendatang, seperti mobil Listrik dan teknologi pembangkit Listrik tenaga hijau seperti turbin.

Saat ini permintaan domestik Indonesia hanya menyumbang 1,54% dari total permintaan bauksit global yang relatif kecil dibandingkan permintaan negara lainnya yang dikarenakan minimnya produksi teknologi hijau domestik⁹⁵.

4.3.4 Pasir Kuarsa

Pasir kuarsa yang merupakan bahan baku dari silika merupakan salah satu bahan baku yang memiliki permintaan sangat tinggi akhir-akhir ini yang digunakan dalam proses manufaktur berbagai teknologi seperti semikonduktor, peralatan elektronik, dan panel surya. Secara umum, dibutuhkan 13.6 kg pasir kuarsa untuk memproduksi 1 kg silika. Kemudian, silika tersebut dapat diolah menjadi berbagai macam teknologi, salah satunya panel surya.

⁹⁵ Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral (ESDM), 2020

Sama halnya dengan industri berbahan dasar mineral lainnya, industri penambangan dan pemurnian pasir kuarsa masih menghasilkan emisi karbon yang relatif besar. Jumlah karbon emisi per ton pasir kuarsa berbeda beda sesuai dengan tingkat kemurniannya, namun dalam rata-rata karbon yang diemisikan oleh industri pasir kuarsa sebesar 3.94 Ton Co2 per ton pasir kuarsa.

Kebutuhan pasir kuarsa diproyeksikan tumbuh pesat di masa depan, yaitu sebesar 10.5% per tahun hingga tahun 2030⁹⁶. Hal ini dikarenakan oleh peningkatan kebutuhan global untuk pemenuhan permintaan semikonduktor yang digunakan dalam berbagai macam peralatan elektronik. Di lain sisi, peningkatan kebutuhan pasir kuarsa juga didorong oleh peningkatan produksi panel surya yang sejalan dengan target untuk melakukan transisi menuju energi yang lebih hijau.

Di Indonesia, sejalan dengan aspirasi untuk hilirisasi sektor pertambangan, maka pemerintah berencana untuk melarang ekspor pasir kuarsa mentah dimana alhasil permintaan pasir kuarsa dalam negeri memiliki potensi yang besar di pasar global ditambah dengan kualitas kemurnian silika domestik yang lebih tinggi dibanding kualitas negara lainnya pada kemurnian silika 99.5%⁹⁷.

4.4 Mengevaluasi Lanskap Pasokan untuk Transisi Hijau

4.4.1 Lanskap Pasokan Industri Intensif Emisi Karbon Plastik

Pasokan plastik di Indonesia pada tahun 2045 diperkirakan akan mencapai antara ~44 – 81 juta metrik ton per tahun, memenuhi target permintaan domestik. Peningkatan kapasitas produksi ini mencerminkan perkembangan signifikan dalam industri plastik di Indonesia, yang sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan peningkatan permintaan pasar. Proyeksi ini menunjukkan bahwa Indonesia dapat meningkatkan peranannya di pasar global sebagai salah satu pemain kunci dalam manufaktur plastik.

⁹⁶ Coherent Market Insight, 2023

⁹⁷ Advisory Board Himpunan Penambang Kuarsa Indonesia (HIPKI) Rezky Syahrir dalam Mining Zone CNBC Indonesia

Namun, peningkatan pasokan yang substansial juga menghasilkan potensi emisi karbon sekitar tiga kali jumlah ton plastik yang diproduksi. Oleh karena itu, transisi hijau yang didukung oleh peningkatan jumlah pekerjaan hijau dengan keahlian yang memadai menjadi esensial. Langkah ini diharapkan dapat menghasilkan pengurangan emisi karbon sebesar 40 – 80 juta metrik ton per tahun. Transisi ini penting tidak hanya untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan tetapi juga untuk memastikan bahwa industri manufaktur plastik Indonesia beroperasi secara lebih efisien dan ramah lingkungan, meminimalkan dampak negatif terhadap planet.

Dalam upaya meningkatkan produksi plastik sambil mengurangi emisi karbon, Indonesia memerlukan transisi ke ekonomi sirkular yang menekankan pada regenerasi bahan baku dan pengurangan limbah. Pendekatan regeneratif yang mengutamakan penggunaan bahan yang dapat tumbuh dan mengurangi ekstraksi bahan baku menjanjikan pengurangan signifikan dalam emisi karbon⁹⁸.

Pemerintah Indonesia, bersama dengan pelaku industri, telah mengambil langkah konkret untuk mendukung transisi hijau dalam sektor manufaktur plastik. Kebijakan ini meliputi insentif untuk inovasi teknologi yang ramah lingkungan, peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya, dan pengurangan emisi karbon di seluruh rantai pasokan. Upaya ini mencakup pengembangan infrastruktur daur ulang, peluncuran program kesadaran publik tentang pengurangan sampah plastik, dan kolaborasi dengan perusahaan untuk mengadopsi praktik produksi yang berkelanjutan. Meskipun tantangan seperti infrastruktur daur ulang belum memadai dan tingkat kesadaran masih perlu ditingkatkan, langkah-langkah yang diambil menunjukkan komitmen kuat Indonesia untuk memastikan bahwa industri plastik bergerak menuju masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Ammonia

Pada tahun 2023, produksi global amonia diperkirakan mencapai 150 juta metrik ton, dengan Asia Timur, terutama China,

⁹⁸ Soares & Puccinelli, 2023

memimpin produksi sebesar 64,6 juta metrik ton. Dalam konteks global, Indonesia, dengan kapasitas produksi tahunan 4-5 juta ton, menunjukkan potensi besar sebagai pemain kunci dalam transisi energi menuju *green ammonia*⁹⁹).

Dalam usaha meningkatkan produksi dan mengurangi emisi karbon, Indonesia telah menunjukkan inisiatif signifikan dalam adopsi *green ammonia*. Studi terbaru mengungkapkan bahwa *green ammonia*, yang diproduksi melalui energi terbarukan, berpotensi menggantikan ammonia berbasis fosil dalam industri pupuk, transportasi, dan energi¹⁰⁰. Hal ini menandai langkah penting menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

Pemerintah Indonesia, melalui BUMN PT Pupuk Indonesia, berambisi menggandakan kapasitas produksi ammonia, menargetkan produksi ammonia hijau mencapai hampir 1 juta ton pada tahun 2030. Berdasarkan analisis data dan tren, diperkirakan bahwa potensi pasokan ammonia dari Indonesia mencapai 13 – 14 juta metrik ton per tahun pada 2045 untuk memenuhi permintaan domestik sepenuhnya. Hal ini didasarkan pada peningkatan kapasitas produksi, efisiensi energi, dan adopsi teknologi daur ulang. Upaya-upaya ini diharapkan menempatkan Indonesia sebagai kontributor signifikan terhadap pasokan ammonia yang berkelanjutan secara global¹⁰¹.

Namun, dengan peningkatan pasokan yang substansial, juga proyeksi potensi emisi karbon sebesar 34 – 37 juta metrik ton per tahun, perlu ditekankan pentingnya transisi hijau yang didukung oleh peningkatan jumlah pekerjaan hijau dengan keahlian yang memadai. Transisi ini bertujuan mencapai pengurangan emisi karbon sebesar 12 – 13 juta metrik ton per tahun, menyoroti kebutuhan kritis akan tenaga kerja terampil dan adopsi teknologi baru mengurangi dampak lingkungan dari produksi ammonia.

Baja

Menurut data dari *World Steel Association* tahun 2022, Indonesia menempati peringkat di antara 15 negara penghasil baja mentah

⁹⁹ Statista, 2023; Republika Online, 2023

¹⁰⁰ Humphreys dan Tao (2023)

¹⁰¹ Antara News, 2023; Republika Online, 2023

terbesar di dunia, dengan estimasi produksi sekitar 15,6 juta ton. Angka ini menunjukkan peningkatan disbanding produksi tahun sebelumnya yang tercatat sebesar 14,8 juta ton, menegaskan peran serta potensi Indonesia dalam industri baja global yang terus meningkat¹⁰².

Volume ekspor produk baja Indonesia menunjukkan peningkatan signifikan sejak tahun 2018. Mencatat kenaikan sebesar 1,8 juta ton atau sekitar 16,7% hingga kuartal ketiga tahun 2023 dibandingkan dengan periode yang sama tahun sebelumnya. Pertumbuhan ini tidak hanya mencerminkan peningkatan kapasitas produksi tetapi juga nilai ekspor yang didukung oleh inovasi dalam manufaktur, khususnya adopsi *green steel manufacturing*. Praktik ini, yang mengutamakan pengurangan emisi karbon dan efisiensi energi, tidak hanya menempatkan Indonesia pada posisi yang lebih kompetitif di pasar global tetapi juga memungkinkan industri baja memenuhi standar lingkungan yang lebih ketat dan preferensi global untuk produk yang berkelanjutan.

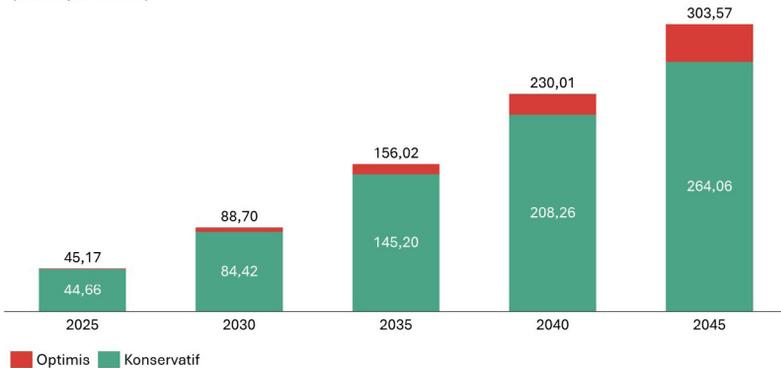
Kementerian Perindustrian Indonesia terus mendorong hilirisasi industri baja sebagai bagian dari strategi untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Hilirisasi di sektor industri baja didorong untuk membantu meningkatkan kapasitas produksi dan menciptakan produk yang dapat menggantikan impor, dengan mengedepankan inovasi dari para pelaku usaha¹⁰³. Menperin menekankan pentingnya meningkatkan utilisasi industri baja nasional untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan baku dan mendukung penggunaan produk dalam negeri¹⁰⁴.

¹⁰² Katadata, 2023

¹⁰³ Kontan, 2023

¹⁰⁴ Setkab, 2020

Produksi Baja Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.10 Produksi Baja Indonesia tahun 2025 – 2045

Berdasarkan analisis tren saat ini dan inisiatif yang diambil, diproyeksikan bahwa potensi pasokan baja dari Indonesia dapat mencapai sekitar 264-303 juta ton per tahun pada tahun 2045. Proyeksi ini didasarkan pada peningkatan yang diharapkan dalam kapasitas produksi, efisiensi energi, dan adopsi teknologi produksi baja yang lebih ramah lingkungan.

Namun, dengan peningkatan pasokan yang substansial, juga diikuti dengan kenaikan emisi karbon, yang menekankan pentingnya transisi hijau yang didukung oleh peningkatan jumlah pekerjaan hijau dengan keahlian yang memadai. Transisi ini bertujuan untuk mencapai potensi pengurangan emisi karbon sebesar 40-70 juta metrik ton per tahun, menyoroti kebutuhan kritis akan tenaga kerja terampil dan adopsi teknologi baru dalam mengurangi dampak lingkungan dari produksi baja.

Semen

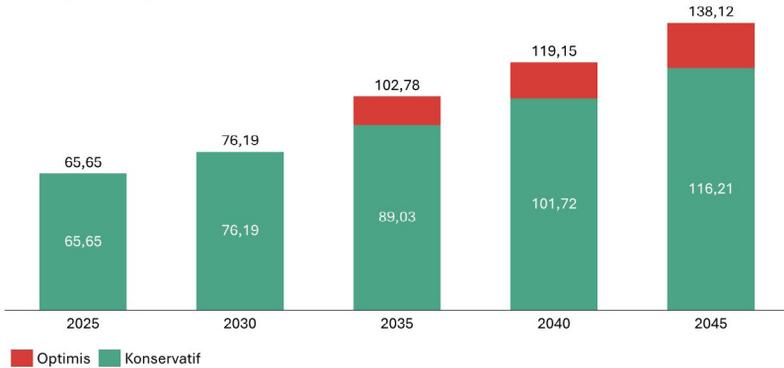
Pada tahun 2023, Indonesia menempati posisi kedelapan sebagai produsen semen terbesar di dunia, dengan volume produksi yang mencapai 62 juta metrik ton. Meskipun ini menunjukkan penurunan dari produksi tahun sebelumnya yang sebesar 64 juta metrik ton, posisi strategis Indonesia dalam industri semen global tetap kokoh.

Tantangan utama yang dihadapi industri semen di Indonesia adalah kelebihan kapasitas produksi atau *oversupply*, yang menjadi fokus perhatian pemerintah dan produsen¹⁰⁵.

Dalam upaya untuk meningkatkan produksi sambil mengurangi emisi karbon, telah terjadi inovasi produk, seperti pengembangan semen hijau. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. (INTP), salah satu produsen semen terkemuka di Indonesia, mendukung penggunaan semen hijau untuk proyek-proyek besar seperti Ibu Kota Nusantara (IKN), dengan tujuan mengurangi jejak karbon dari konstruksi. Semen hijau, yang dihasilkan dari proses manufaktur karbon-negatif, menawarkan alternatif ramah lingkungan dengan emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan semen konvensional¹⁰⁶.

Melalui analisis tren saat ini dan inisiatif yang sedang berjalan, diproyeksikan bahwa potensi pasokan semen dari Indonesia dapat mencapai 116 – 138 juta ton per tahun pada tahun 2045. Proyeksi ini didasarkan pada peningkatan yang diharapkan dalam kapasitas produksi, efisiensi energi, dan adopsi teknologi produksi semen yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Produksi Semen Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.11 Produksi Semen Indonesia tahun 2025 – 2045

¹⁰⁵ Databoks Katadata, 2024; Kontan, 2023

¹⁰⁶ Bisnis.com, 2023; Kompas, 2023

Namun, dengan peningkatan pasokan yang substansial, juga diproyeksikan adanya potensi emisi karbon sebesar 69 – 81 juta metrik ton per tahun, menyoroti pentingnya transisi hijau yang didukung oleh peningkatan jumlah pekerjaan hijau dengan keahlian yang memadai. Transisi ini bertujuan untuk mencapai pengurangan emisi karbon sebesar 24 – 28 juta metrik ton per tahun. Langkah-langkah ini menekankan kebutuhan kritis akan tenaga kerja terampil dan adopsi teknologi baru dalam mengurangi dampak lingkungan dari produksi semen, sejalan dengan upaya global untuk mengurangi perubahan iklim dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan.

4.4.2 Proyeksi Penyediaan Material Teknologi Hijau

Nikel

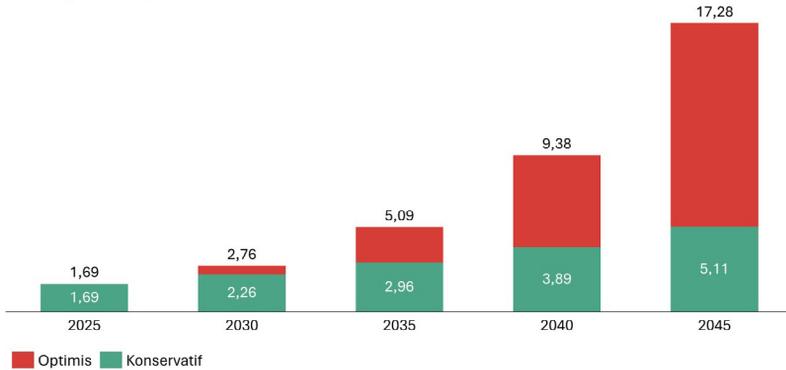
Indonesia merupakan salah satu pemasok utama nikel dalam pasar global, terutama dengan cadangan nikel Indonesia yang mencapai 52% dari cadangan nikel dunia, yaitu sebesar 72 juta ton¹⁰⁷. Pada tahun 2023, Indonesia telah memproduksi 1.4 juta ton nikel atau setara dengan 38% permintaan global nikel.

Sesuai dengan aspirasi negara pada RPJPN (Rencana Pembangunan Jangka Panjang Negara), Indonesia beraspirasi untuk berkompetisi di pasar global dan mencapai net ekspor nikel pada tahun 2035-2039. Sejalan dengan aspirasi ini, pemerintah telah melakukan larangan ekspor mineral mentah dan banyak upaya hilirisasi pada industri pertambangan, termasuk nikel¹⁰⁸. Upaya ini dilakukan untuk meningkatkan nilai jual atas kekayaan alam yang dimiliki oleh Indonesia untuk membantu Indonesia keluar dari *middle income trap*.

¹⁰⁷ Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 2020

¹⁰⁸ Indonesia akan membangun 6 smelter HPAL (High Pressure Acid Leaching) untuk pengelolaan bijih nikel kadar rendah dengan nilai investasi sebesar US\$ 5,13 miliar.

Produksi Nikel Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.12 Produksi Nikel Indonesia tahun 2025 – 2045

Produksi nikel Indonesia diproyeksikan akan meningkat secara signifikan seiring berjalannya waktu dengan target kendaraan Listrik domestik dan internasional di masa mendatang. Saat ini, telah ada 12,248 mobil Listrik dan 62,409 unit sepeda motor Listrik di Indonesia. Pemerintah Indonesia telah menetapkan jumlah target kendaraan Listrik, yaitu dengan adanya 2 juta mobil Listrik dan 13 juta mobil Listrik pada tahun 2030. Selain pemenuhan kebutuhan domestik, Indonesia diproyeksikan akan tetap mendominasi pasokan nikel dunia dengan pangsa pasar sebesar 48% - 50% pada tahun 2045.

Selain hilirisasi yang terjadi pada tahap awal pemrosesan nikel, Indonesia juga perlu untuk mengembangkan kapasitas produksi barang jadi nikel dengan nilai tambah yang jauh lebih besar, seperti baterai kendaraan Listrik. Diperkirakan bahwa pada tahun 2030, Indonesia memerlukan kapasitas produksi baterai kendaraan Listrik sebesar 787-gigawatt hour (GWh) untuk memenuhi kebutuhan kendaraan listrik domestik sesuai dengan target pemerintah.

Saat ini, pemerintah Indonesia telah melakukan berbagai upaya untuk mendorong investasi asing dalam proses manufaktur baterai kendaraan Listrik. Upaya tersebut telah berbuah hasil dengan komitmen PT HLI Green Power, yang merupakan sebuah *joint venture* LGES and Hyundai Motor Group untuk membangun pabrik baterai

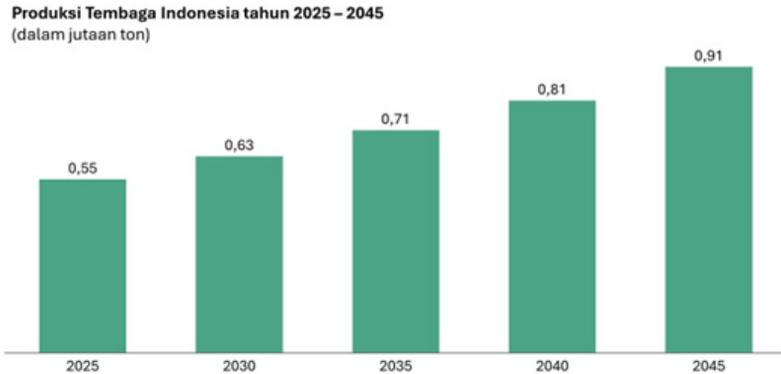
kendaraan Listrik dengan kapasitas 10 GWh di Karawang, Jawa Barat dengan nilai investasi sebesar \$1.1 miliar¹⁰⁹. Ter-realisasinya beberapa investasi dari luar negeri merupakan awalan yang baik bagi revolusi sektor industri Indonesia, namun tentu semangat perjuangan ini harus tetap diemban dalam jangka panjang untuk memastikan tercapainya aspirasi Indonesia Emas 2045.

Tembaga

Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia merupakan salah satu pemasok global tembaga dengan jumlah cadangan sebesar 3% dari total cadangan dunia yaitu sebesar 28 juta ton tembaga dan produksi sebesar 2% dari total kebutuhan tembaga dunia, yaitu sebesar 340 ribu ton pada tahun 2020.

Serupa dengan nikel, pemerintah Indonesia telah menetapkan aspirasi negara untuk berkompetisi di pasar global dan mencapai net ekspor tembaga pada tahun 2035-2039, sesuai yang tertera pada dokumen RPJPN (Rencana Pembangunan Jangka Panjang Negara). Hal ini didukung dengan kebijakan pemerintah untuk melakukan larangan ekspor mineral mentah, termasuk tembaga yang akan dilaksanakan pada Juni 2024. Kebijakan ini dilakukan demi mendorong upaya peningkatan kapasitas dan kapabilitas hilir industri tembaga Indonesia, yang akan memberikan nilai tambah lebih tinggi dan menjadi salah satu kunci bagi Bangsa Indonesia untuk keluar dari *middle income trap*.

¹⁰⁹ CNBC Indonesia, 2023



Grafik 4.13 Produksi Tembaga Indonesia tahun 2025 – 2045

Produksi tembaga Indonesia diperkirakan akan meningkat secara signifikan di masa mendatang, hingga mencapai 900 ribu ton pada tahun 2045. Peningkatan produksi Indonesia tentu didorong dengan meningkatnya permintaan global untuk memenuhi kebutuhan pembangunan infrastruktur, dan teknologi hijau seperti komponen kendaraan listrik dan perlengkapan pembangkit listrik tenaga hijau. Berdasarkan hasil proyeksi, diperkirakan sebesar 69% dari total produksi tembaga Indonesia akan digunakan untuk kebutuhan teknologi hijau, terutama komponen kendaraan listrik dan teknologi untuk peningkatan efisiensi penggunaan energi.

Menanggapi upaya pemerintah untuk melakukan hilirisasi pada industri tembaga, pemerintah telah mendorong pembangunan smelter tembaga terbesar di dunia oleh PT. Freeport Indonesia di Gresik dengan nilai investasi sebesar \$3.1 miliar atau setara dengan IDR 48 Triliun pada Desember 2023. Fasilitas ini akan memiliki kapasitas produksi 1.7 ton katoda dan akan memproduksi hingga 600 ribu ton katoda tembaga per tahun. Fasilitas yang diharapkan dapat beroperasi pada Agustus 2024 ini akan menjadi langkah awal yang monumental untuk menghasilkan produk turunan dengan tingkat kemurnian dan nilai tambah yang lebih tinggi¹¹⁰.

¹¹⁰ Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 2020; Kutipan dari Jenpino Ngabdi selaku wakil presiden direktur PT Freeport Indonesia.

Namun, selain upaya hilirisasi dalam proses pemurnian tembaga, Indonesia juga perlu untuk mengembangkan industri manufaktur berbasis dasar tembaga, seperti manufaktur komponen kendaraan listrik dan peralatan pembangkit listrik tenaga hijau.

Bauksit

Indonesia merupakan salah satu pemasok bauksit terbesar di pasar global, yaitu berada pada urutan ke 5 dengan memasok 4.3% total kebutuhan bauksit dunia. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki cadangan bauksit terbesar ke-6 di dunia dengan cadangan sebesar 1,200 juta ton atau setara dengan 4% cadangan total dunia. Hal ini berarti bahwa Indonesia akan memiliki peran yang penting dalam ekosistem pemasokan bauksit global, terutama di masa depan dimana aluminium akan digunakan secara intensif untuk proses produksi teknologi hijau.

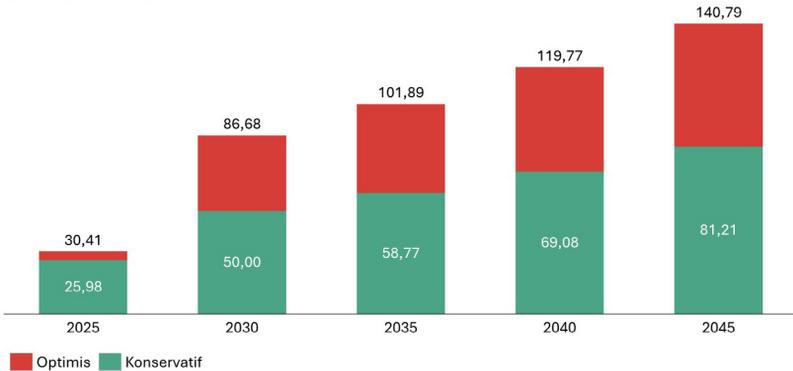
Meskipun produksi bauksit Indonesia telah memasok 4% kebutuhan dunia, Indonesia hanya mampu memasok sebesar 0.37% pasokan aluminium global. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia mengeksport 16.1 juta ton biji bauksit, sedangkan hanya 2.9 juta ton biji bauksit diolah secara domestik untuk menjadi alumina. Dari total 1.1 juta ton alumina yang diproduksi, 1.08 juta ton diekspor dan 27 ribu ton digunakan untuk bahan baku produksi aluminium. Ironisnya, Indonesia perlu mengimpor alumina sebanyak 458 ribu ton untuk memproduksi sebesar 250 ribu ton aluminium. Sebaliknya, Indonesia mengimpor 748 ribu ton aluminium pada tahun 2019¹¹¹. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar produk bauksit yang diekspor oleh Indonesia merupakan barang mentah dan setengah jadi.

Demi menanggapi rendahnya kemampuan produksi dalam negeri, pemerintah telah mengambil Langkah yang proaktif, sesuai dengan yang dicantumkan dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang Negara (RPJPN) untuk menjadi negara net ekspor bauksit pada tahun 2035-2039. Sesuai dengan aspirasi ini, pemerintah telah memberlakukan larangan ekspor biji mentah bauksit pada tahun 2023

¹¹¹ Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 2020

dan melakukan upaya hilirisasi dan pengembangan kapabilitas dalam proses penambangan dan manufaktur produk turunan bauksit.

Produksi Bauksit Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.14 Produksi Bauksit Indonesia tahun 2025 – 2045

Produksi bauksit Indonesia diproyesikan akan terus meningkat secara signifikan di masa depan, mengikuti permintaan global yang meningkat drastis akibat kebutuhan untuk proses produksi teknologi hijau. Diperkirakan sebanyak 56% dari total produksi bauksit Indonesia pada tahun 2045 akan digunakan untuk kebutuhan produksi teknologi hijau, seperti kendaraan listrik dan panel surya. Pemerintah telah menetapkan target pencapaian untuk kendaraan listrik, yaitu sebanyak 2 juta mobil listrik dan 13 juta sepeda motor listrik pada tahun 2030. Berdasarkan target penggunaan teknologi hijau yang ditetapkan oleh pemerintah, produksi bauksit hijau di Indonesia diperkirakan mencapai 45 juta ton pada tahun 2045.

Upaya hilirisasi pemerintah telah menghasilkan buah yang manis dengan masuknya berbagai investasi asing untuk pembangunan fasilitas produksi kendaraan listrik dan panel surya yang menggunakan aluminium sebagai bahan dasarnya. Salah satunya adalah investasi oleh produsen kendaraan listrik terbesar di dunia dari Tiongkok yaitu Build Your Dream (BYD) yang berencana untuk menanamkan modal sebesar \$1.3 miliar untuk membangun fasilitas produksi mobil listrik dengan kapasitas 150.000 unit mobil

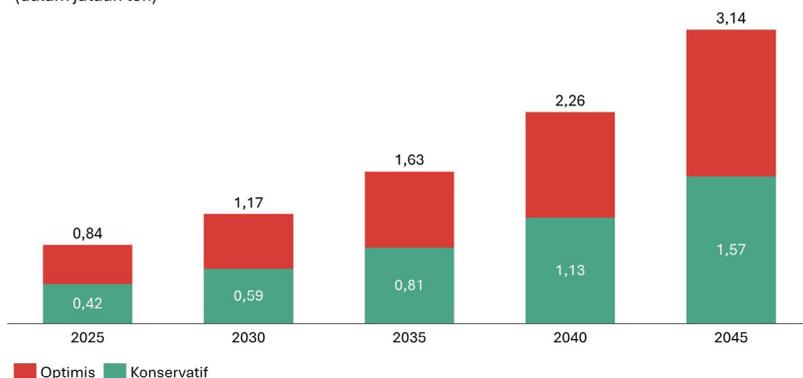
per tahun¹¹².

Pasir Kuarsa

Indonesia memiliki potensi untuk menjadi pemasok pasir kuarsa global, terutama dengan jumlah cadangan terbesar ke 8 di dunia yaitu sebesar 330 juta ton. Pada tahun 2020, Indonesia telah mulai untuk mengeksport pasir kuarsa mentah ke Tiongkok dan telah berhasil menggeser pangsa pasar tiga negara eksportir lainnya yaitu, Australia, Kamboja, Pakistan.

Mengingat sebagian besar ekspor pasir kuarsa dari Indonesia berupa produk mentah, pemerintah telah mempertimbangkan rencana untuk melarang ekspor pasir kuarsa sejalan dengan aspirasi untuk melakukan hilirisasi industri dan meningkatkan nilai tambah untuk keluar dari *middle income trap*.

Produksi Pasir Kuarsa Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 4.15 Produksi Pasir Kuarsa Indonesia tahun 2025 – 2045

Produksi pasir kuarsa Indonesia diproyeksikan akan meningkat secara signifikan di masa mendatang, mencapai 1,5 – 3,1 juta ton pasir kuarsa pada tahun 2045, terutama karena peningkatan kebutuhan dari industri manufaktur intensif teknologi seperti semikonduktor,

¹¹² Pabrik kendaraan listrik diperkirakan akan beroperasi pada 2026 berdasarkan kutipan dari Luhut Binsar Pandjaitan, Menteri Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi (Menko Marves).

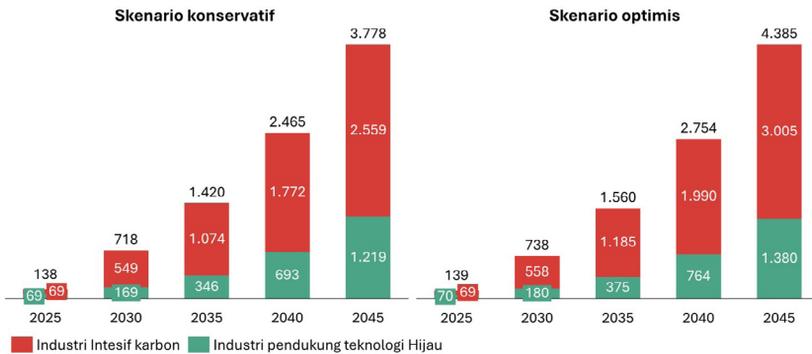
panel surya, dan perangkat elektronik lainnya.

Pemerintah telah menetapkan target untuk memiliki pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas 400 GWh pada tahun 2060. Tentu diharapkan bahwa di masa depan Indonesia akan memiliki kapasitas dan kapabilitas produksi dalam negeri yang cukup, terutama ketika Indonesia telah memiliki sebagian besar bahan baku mentah yang dibutuhkan dalam proses manufaktur.

Upaya hilirisasi pemerintah telah berbuah dengan rencana perusahaan Tiongkok Xinyi group untuk mendirikan pabrik kaca dan panel surya di Batam, Kepulauan Riau dengan investasi mencapai Rp381 triliun¹¹³. Selain itu, grup Sinarmas juga berencana untuk menggandeng mitra dari Tiongkok untuk mengembangkan pabrik panel surya di Indonesia dengan investasi lebih dari US\$100 juta¹¹⁴.

4.5 Potensi Penciptaan Pekerjaan Hijau Pada Industri hingga Tahun 2045

Jumlah Pekerjaan Hijau yang dibutuhkan di Sektor Industri Indonesia tahun 2025 – 2045
(dalam ribuan orang)



Grafik 4.16 Jumlah Pekerjaan Hijau yang dibutuhkan di Sektor Industri Indonesia tahun 2025 – 2045

¹¹³ CNBC Indonesia, 2023; Telah menanda tangani MOU (Memorandum of Understanding)

¹¹⁴ Sinarmas, 2023; Melakukan upaya pembentukan joint venture bersama Trina Solar Co. Ltd., PT Agra Surya Energy dan PT PLN (Persero).

Perhitungan pekerjaan hijau dilakukan dengan membagi dalam 2 jenis, yaitu pekerja yang mendapatkan pelatihan ulang untuk menerapkan praktik yang berlandaskan keberlanjutan dan tenaga kerja baru yang dibutuhkan di industri manufaktur hilir berbahan dasar mineral, seperti industri manufaktur baterai kendaraan listrik. Berdasarkan asumsi tersebut, diproyeksikan akan ada 3,8 juta hingga 4,4 juta pekerjaan hijau pada tahun 2045.

4.5.1 Klaisifikasi Green jobs yang dibutuhkan

Seiring dengan kemajuan teknologi, melakukan pelatihan ulang merupakan sesuatu yang wajib dilakukan untuk mempertahankan daya saing dan relevansi. Di masa depan, industri pertambangan dan manufaktur akan berbasis teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan meminimalisir dampak lingkungan. Fasilitas manufaktur semakin terintegrasi dengan teknologi dan digital sehingga menjadi *smart factory* untuk memotong biaya operasi dan emisi karbon yang dihasilkan selama proses produksi. Maka dari itu, pelatihan ulang pada tenaga kerja akan dibutuhkan untuk mengoperasikan teknologi-teknologi baru yang akan digunakan di masa mendatang.

Di sisi lain, jumlah karbon emisi dalam proses ekstraksi dan pemurnian mineral yang dihasilkan dari proses produksi energi, terutama ketika mayoritas energi yang digunakan masih berasal dari bahan bakar fosil akan meningkat. Emisi karbon dari penggunaan energi yang intensif dapat dikurangi melalui pembaharuan teknologi dan otomatisasi, menggunakan sumber energi yang terbarukan dan fasilitas *carbon capture utilization and storage* (CCUS).

Mengimplentasikan perubahan-perubahan tersebut, dibutuhkan pelatihan ulang untuk berbagai macam kemampuan baru terhadap tenaga kerja yang telah ada, seperti pengoperasian teknologi CCUS dan pembangkit listrik baru terbarukan *off-grid*. Beberapa jenis pekerjaan yang dibutuhkan untuk praktik penambangan yang lebih berkelanjutan:

Tabel 4.1 Jenis Pekerjaan yang dibutuhkan pada Industri Penambangan Masa Depan

Disclaimer: tabel deskripsi jenis pekerjaan diatas tidak exhaustive

Jenis pekerjaan	Deskripsi Singkat	Tingkat pendidikan yang dibutuhkan
Geologis	Geologis bertanggung jawab untuk memahami struktur geologi, sifat mineral, dan distribusi deposit mineral. Mereka melakukan survei lapangan, pengambilan contoh, serta analisis geologi untuk mengidentifikasi lokasi potensial untuk eksplorasi tambang.	Sarjana
Insinyur Pertambangan	Insinyur pertambangan merancang, mengembangkan, dan mengelola operasi penambangan. Mereka merancang teknik penambangan, memilih peralatan yang sesuai, serta memastikan keamanan dan keberlanjutan operasi tambang	Sarjana & Magister (untuk peran yang lebih teknis)
Teknisi Tambang	Teknisi tambang bertanggung jawab untuk mendukung operasi penambangan sehari-hari. Mereka melakukan pemeliharaan peralatan, memantau kinerja mesin, serta membantu dalam pengaturan dan pengoperasian alat penambangan	Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)
Operator Alat Berat	Operator alat berat mengoperasikan mesin dan peralatan berat seperti ekskavator, <i>bulldozer</i> , dan <i>dump truck</i> di lokasi tambang. Mereka bertanggung jawab untuk memastikan operasi yang aman dan efisien.	Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)
Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	Ahli K3 di bidang pertambangan bertanggung jawab untuk memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan dan kesehatan kerja. Mereka merancang program-program keselamatan, memberikan pelatihan, serta melakukan inspeksi dan audit keamanan.	Sarjana

Ahli Lingkungan	Ahli lingkungan di industri pertambangan bertanggung jawab untuk memantau dampak lingkungan dari operasi tambang dan mengembangkan strategi mitigasi. Mereka melakukan penelitian, pemantauan air dan udara, serta memberikan rekomendasi untuk menjaga keberlanjutan lingkungan.	Sarjana & Magister (untuk peran yang lebih teknis)
Manajer Keberlanjutan	Manajer keberlanjutan bertanggung jawab untuk mengembangkan dan mengawasi kebijakan dan program-program keberlanjutan di perusahaan pertambangan. Mereka bekerja sama dengan tim lintas departemen untuk memastikan implementasi praktik pertambangan yang berkelanjutan.	Sarjana & Magister (untuk peran yang lebih teknis)
Teknisi Panel Surya	Teknisi panel surya/foto voltaik bertanggung jawab atas instalasi, pemeliharaan, dan perbaikan sistem panel surya atau foto voltaik di lokasi pertambangan. Mereka memastikan penggunaan energi terbarukan yang efisien dan berkontribusi pada pengurangan emisi karbon.	Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)

Selain pelatihan ulang tenaga kerja menuju praktik yang lebih hijau, tenaga kerja baru dalam jumlah besar akan dibutuhkan dalam proses produksi teknologi hijau yang berbahan dasar mineral, seperti komponen kendaraan listrik dan panel surya. Tenaga kerja yang bergerak dalam bidang produksi teknologi hijau akan dianggap sebagai pekerjaan hijau karena dampak tidak langsung pada lingkungan yang dihasilkan melalui penggunaan teknologi hijau tersebut.

Berdasarkan proyeksi, industri manufaktur baterai kendaraan listrik lithium-ion yang berbahan dasar nikel akan menyerap lebih dari 200 ribu tenaga kerja pada tahun 2045. Selain itu, industri manufaktur kendaraan listrik roda 2 dan roda 4 yang akan menggunakan aluminium, yang merupakan turunan dari bauksit dalam jumlah besar dalam proses manufaktur kerangka kendaraan

akan masing masing menyerap sekitar 380 ribu dan 250 ribu tenaga kerja pada tahun 2045. Terlebihnya, produksi panel surya yang berbahan dasar pasir kuarsa dan alumunium akan menyerap sekitar 40 ribu tenaga kerja pada tahun 2045. Selain itu, Industri manufaktur kabel listrik berbahan dasar tembaga yang akan banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur pembangkit listrik tenaga hijau diprediksi akan menyerap tenaga kerja dalam jumlah yang signifikan, yaitu sekitar 200 ribu tenaga kerja. Beberapa jenis pekerjaan yang dibutuhkan dalam proses manufaktur hilir berbahan dasar mineral:

Tabel 4.2 Jenis Pekerjaan yang dibutuhkan pada Industri Manufaktur Teknologi Hijau

Jenis pekerjaan	Industri	Deskripsi Singkat	Tingkat pendidikan
Insinyur	Kendaraan listrik & Panel Surya	Insinyur bertanggung jawab merancang, mengembangkan, dan memastikan keandalan teknologi serta sistem yang terlibat. Mereka menggunakan pengetahuan teknis mereka untuk merancang solusi yang efisien dan inovatif.	Sarjana & Magister (untuk peran yang lebih teknikal)
	Mekatronik	Insinyur mekatronik bertanggung jawab untuk merancang, mengembangkan, dan memelihara sistem mekatronik yang kompleks. Mereka mengintegrasikan elemen-elemen mekanis, elektronik, dan perangkat lunak dalam sistem otomatisasi, robotika, kendaraan otonom, dan peralatan lainnya.	
	Energi Terbarukan	Merancang dan mengembangkan teknologi energi terbarukan, termasuk turbin angin, panel surya, dan sistem pembangkit listrik biomassa.	

Teknisi produksi	Kendaraan listrik & Panel Surya	Teknisi produksi bertugas mengelola dan mengawasi proses produksi di pabrik atau fasilitas manufaktur. Mereka memastikan bahwa mesin dan peralatan beroperasi dengan baik, serta memecahkan masalah yang mungkin timbul selama proses produksi.	Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)
Montir kendaraan listrik	Kendaraan listrik	Montir kendaraan listrik melakukan pemasangan, perawatan, dan perbaikan pada kendaraan listrik. Mereka memeriksa sistem kelistrikan, baterai, dan komponen lainnya untuk memastikan kendaraan beroperasi dengan optimal dan aman.	Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)
Teknisi instalasi (EPC)	Panel Surya	Teknisi instalasi bertanggung jawab untuk memasang dan mengonfigurasi peralatan atau sistem, seperti panel surya atau peralatan listrik lainnya. Mereka memastikan bahwa instalasi dilakukan dengan benar dan sesuai dengan standar keselamatan dan peraturan yang berlaku.	Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dan sarjana

4.5.2 Teknologi pendukung green jobs

Dalam mencapai pemenuhan kebutuhan di masa yang akan datang, perkembangan teknologi bermain peran vital untuk mendukung para tenaga kerja green jobs untuk menjalankan pekerjaan kesehariannya. Beberapa teknologi yang akan menjadi objek pendukung *green jobs* di masa depan:

Tabel 4.3 Penggunaan Teknologi pada Industri Penambangan dan Manufaktur Teknologi Hijau Masa Depan

Jenis Teknologi ¹¹⁵	Industri	Implementasi
Otomasi dan kendaraan otonom bertenaga listrik dan Hidrogen	Penambangan	Sektor penambangan akan terotomatisasi dengan bantuan robot dan peralatan otonom yang dapat berfungsi secara mandiri atau dikendalikan dari jarak jauh dengan energi listrik atau hidrogen sehingga efisiensi dan keamanan pekerja dapat ditingkatkan.
<i>Artificial Intelligence</i> (AI)	Penambangan	AI dan analisis data tingkat lanjut sedang diintegrasikan ke dalam operasi penambangan untuk memungkinkan pemantauan waktu nyata, pemeliharaan prediktif, pengelolaan sumber daya yang dioptimalkan, dan pengambilan keputusan berdasarkan data. Hal ini membantu meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional.
	Manufaktur	Kecerdasan buatan memiliki banyak kegunaan dalam proses manufaktur, termasuk membantu proses inspeksi kualitas, prediksi permintaan pasar, optimisasi rantai pasok, dan otomatisasi proses produksi. Kecerdasan buatan dapat melakukan inspeksi kualitas untuk mendeteksi cacat dan masalah kualitas pada produk dengan lebih akurat dan cepat dibandingkan inspektur manusia. Selain itu, kecerdasan buatan dapat membantu menganalisis data historis dan informasi <i>real-time</i> untuk meramalkan kebutuhan produksi, pola permintaan, yang akan membuat proses rantai pasok menjadi lebih efisien dan optimal. Selain itu, kecerdasan buatan dapat mengotomatisasi tugas-tugas repetitif berbasis aturan, membebaskan pekerja manusia untuk fokus pada kegiatan yang lebih kompleks dan strategis.

¹¹⁵ Report from Deloitte, Forbes, WeForum, Oracle, Global Shapers, and others.

Internet of Things (IoT)	Penambangan	Perangkat dan sensor <i>IoT</i> yang ditempatkan di seluruh lokasi penambangan mengumpulkan data <i>real-time</i> mengenai kinerja peralatan, penggunaan energi atau air, keselamatan, dan dampak lingkungan. Data ini kemudian dianalisis untuk mengoptimalkan operasi dan meminimalkan dampak lingkungan.
	Manufaktur	<i>IoT</i> telah mengubah industri manufaktur dengan mengoptimalkan proses produksi, memungkinkan perawatan prediktif, dan menciptakan peluang pendapatan baru - meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keamanan. Dengan mengumpulkan data dari mesin dan peralatan, <i>IoT</i> memungkinkan identifikasi tren, <i>monitoring real-time</i> , dan solusi masalah tepat waktu. Konektivitas nirkabel <i>IoT</i> juga memungkinkan kontrol jarak jauh untuk mengurangi <i>downtime</i> . Data dari <i>IoT</i> juga dapat dimanfaatkan dalam proses menciptakan model bisnis baru. Selain itu, sensor <i>IoT</i> dapat meningkatkan keselamatan di tempat kerja dengan memantau kondisi seperti kebocoran gas.
Koneksi 6G	Penambangan	Penyebaran jaringan 6G saat ini sedang dalam tahap pengembangan dan diekspektasi akan hadir secara komersial pada tahun 2030 di pasar global. Teknologi 6G di lokasi pertambangan memungkinkan konektivitas yang lebih baik, transmisi data yang lebih cepat, dan peningkatan integrasi perangkat dan sensor <i>IoT</i> . Hal ini mendukung penerapan teknologi penambangan cerdas.
Sumber Energi Terbarukan	Penambangan	Penggunaan sumber energi hijau dalam operasi penambangan untuk mengurangi emisi karbon yang dihasilkan.
	Manufaktur	Penggunaan sumber energi hijau dalam proses manufaktur untuk mengurangi emisi karbon yang dihasilkan.

Pencetakan 3D	Manufaktur	Teknologi pencetakan 3D merevolusi industri dengan memungkinkan produksi bentuk kompleks dan bagian yang disesuaikan secara cepat dan efisien. Sebagai contoh, di industri manufaktur pesawat terbang, teknologi pencetakan 3D digunakan untuk mencetak bagian-bagian kompleks, seperti turbin mesin atau sayap pesawat, dengan tingkat presisi yang tinggi dan tanpa perlu menggunakan metode tradisional yang memakan waktu dan mahal.
	Penambangan	Teknologi pencetakan 3D memungkinkan produksi suku cadang dan komponen untuk peralatan pertambangan secara <i>on-demand</i> , mengurangi waktu tunggu dan biaya transportasi.
Pemetaan 3D	Penambangan	Perusahaan pertambangan menggunakan teknologi pemetaan 3D untuk membuat representasi yang detail dari lokasi pertambangan dan topografi. Ini membantu dalam eksplorasi mineral dan perencanaan penggalian dengan memberikan informasi akurat tentang distribusi bijih dan fitur geologi.
Metode Penambangan In-situ	Penambangan	Metode penambangan in-situ seperti <i>leaching</i> , <i>recovery</i> , dan <i>bio-mining</i> dikembangkan untuk mengekstraksi mineral dari tubuh bijih tanpa perlu penggalian yang luas. Hal ini mengurangi dampak lingkungan dan menghasilkan limbah nol, menjadikan operasi pertambangan lebih berkelanjutan dan efisien. Salah satu contoh penggunaan metode penambangan in-situ <i>leaching</i> yaitu proses ekstraksi tembaga dari deposit bijih yang terletak di bawah permukaan tanah dengan melakukan penyuntikan larutan kimia ke dalam formasi bijih untuk melarutkan mineral tembaga, yang kemudian dapat dipompa ke permukaan dan diproses lebih lanjut untuk mendapatkan logam tembaga. Dengan memanfaatkan metode ini, perusahaan pertambangan dapat meningkatkan efisiensi produksi mineral secara berkelanjutan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan komunitas lokal.

<i>Augmented Reality</i>	Manufaktur	Teknologi AR semakin banyak digunakan dalam manufaktur untuk meningkatkan proses produksi. Ini memberikan informasi dan panduan real-time kepada pekerja, memungkinkan mereka untuk melihat instruksi perakitan atau panduan langkah demi langkah langsung di lokasi kerja. Sebagai contoh, di sebuah pabrik mobil, teknologi AR digunakan untuk menampilkan instruksi perakitan di dekat bagian yang sedang dikerjakan oleh pekerja, sehingga mempercepat proses perakitan dan mengurangi kesalahan.
Nanoteknologi	Manufaktur	Material dan komponen nanoskala dikembangkan untuk membuat produk-manufaktur lebih ringan, kuat, dan hemat bahan bakar. Dalam industri otomotif, nanoteknologi digunakan untuk mengembangkan bahan komposit yang lebih kuat dan ringan untuk bagian mobil, seperti bodi atau bagian mesin, yang menghasilkan kendaraan yang lebih efisien bahan bakar dan ramah lingkungan.
<i>Collaborative Robots (Cobots)</i>	Manufaktur	Robotika telah menjadi bagian penting dari industri manufaktur dengan menyederhanakan proses dan mengurangi ketergantungan pada pekerjaan manual dalam tugas-tugas yang berulang. Namun, perkembangan teknologi telah menghadirkan jenis robot yang lebih canggih, yaitu <i>Collaborative Robots</i> . Berbeda dengan robot tradisional yang bekerja secara mandiri dan sering terisolasi untuk memastikan keselamatan manusia, <i>Collaborative Robots</i> didesain untuk bekerja bersama pekerja manusia. Mereka lebih adaptif, fleksibel, dan dilengkapi dengan sensor untuk memastikan interaksi yang aman, sehingga menjadi teman ideal dalam proses produksi.

4.6 Regulasi yang Dipelajari dari Negara Lain

Dalam mencapai jumlah green jobs yang telah disebutkan di atas, pemerintah berperan penting mendorong dan meningkatkan minat lapangan pekerjaan tersebut. Beberapa negara telah berhasil mencapainya melalui beberapa inisiatif yang dikembangkan. Hal ini dapat menjadi kunci pelajaran untuk Indonesia saat mengembangkan regulasinya.

Tabel 4.4 Studi Banding Inisiatif Pemerintah Luar Negeri dalam Mendorong Praktik Industrial yang Hijau

Negara / Kota	Inisiatif ¹¹⁶	Tindakan Khusus	Dampak Positif	Lesson Learned
Tiongkok	Mendorong rekrutmen tenaga kerja asing yang berbakat melalui subsidi	Pada Maret 2018, Pemerintah Kota Beijing mengumumkan inisiatif rekrutmen penuh skala untuk pekerja terampil di bidang sains dan teknologi, seni kreatif, dan manajemen keuangan. Untuk mendorong perusahaan untuk mempekerjakan tenaga kerja asing yang berbakat, Negara menawarkan subsidi rekrutmen dan prosedur masuk yang lebih mudah. Subsidi dapat mencakup dari 50% hingga 80% dari gaji.	Cepatnya pertumbuhan kapasitas dan kapabilitas manufaktur Tiongkok dikarenakan kemampuan mereka yang dapat dengan cepat menguasai teknik teknik berketerampilan tinggi dan kompleks.	Kebijakan untuk mendorong Perusahaan lokal mempekerjakan pekerja asing berketerampilan tinggi berhasil untuk mempercepat proses tranfer teknologi dalam negeri.

¹¹⁶ WCMS report, Economic Times, China Dialogue, and others.

Tiongkok	Subsidi kepada produsen kendaraan listrik (<i>EV</i>) untuk transportasi umum, taksi, dan konsumen akhir	<p>Sejak tahun 2009 pemerintah Tiongkok telah memberikan subsidi kepada produsen kendaraan listrik (<i>EV</i>) untuk transportasi umum, taksi, dan pasar konsumen. Kebijakan tersebut meliputi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengurangan pajak bagi produsen dan konsumen akhir untuk kendaraan listrik 2. Pemberian subsidi bagi konsumen akhir dengan jumlah yang bervariasi tergantung kriteria kendaraan listrik yang dibeli. Subsidi biaya listrik untuk keperluan pengisian daya, dan lain lain 	pertumbuhan yang pesat dalam sektor <i>EV</i> , dengan China menghasilkan sekitar 6 juta <i>EV</i> dan mobil plug-in hibrida pada tahun 2022. Subsidi ini telah membantu mengurangi emisi karbon dan mempercepat adopsi kendaraan ramah lingkungan di Tiongkok.	Pentingnya dukungan pemerintah dalam mendorong inovasi dan adopsi teknologi ramah lingkungan. Namun, ketika pasar telah matang, pemerintah perlu secara bertahap mengurangi subsidi untuk mendorong inovasi mandiri dan keberlanjutan sektor. Selain itu, pendekatan regional yang fleksibel dalam memberikan subsidi dapat menjadi tambahan yang efektif untuk dukungan pemerintah pusat, membuat kepemilikan <i>EV</i> lebih menarik bagi bisnis dan konsumen.
----------	--	--	---	--

Jepang	Mendorong rekruitmen tenaga kerja asing yang berbakat melalui kemudahan visa dan perijinan	Reformasi imigrasi tenaga kerja dengan kebijakan visa yang direvisi mulai berlaku pada April 2019. Kebijakan yang direvisi memungkinkan pekerja di bidang berpengalaman tinggi untuk tinggal secara permanen (setelah perpanjangan visa) di Jepang bersama keluarga mereka. Kebijakan ini juga untuk pertama kalinya membuka pintu kesempatan bagi pekerja asing dengan keterampilan yang lebih dasar untuk bekerja di Jepang demi memenuhi kebutuhan tenaga kerja di 14 sektor industrial mereka.	Kebijakan tersebut membantu Jepang untuk mengatasi permasalahan kurangnya tenaga kerja dengan mendorong tenaga kerja asing yang kompeten.	Kebijakan imigrasi yang inklusif dan mendukung dapat membantu negara menarik bakat asing yang diperlukan untuk mengisi kekurangan keterampilan dan meningkatkan daya saing global.
--------	--	--	---	--

	<p>Mendorong rekrutmen tenaga kerja asing yang berbakat melalui insentif pajak</p>	<p>Kebijakan untuk mengurangi pajak penghasilan pribadi sebesar 30% bagi pekerja di bidang IT, teknologi tinggi, pertanian dan pengolahan pertanian berbasis teknologi tinggi, dan industri yang membutuhkan tenaga kerja dengan kemampuan yang tinggi lainnya.</p>	<p>Cepatnya pertumbuhan kapasitas dan kapabilitas manufaktur Vietnam, yang dibuktikan dengan banyaknya perusahaan-perusahaan global, terutama yang relatif lebih rendah teknologi mulai memindah proses produksi mereka ke Vietnam dikarenakan biaya yang relatif lebih murah dan kemampuan yang memadai.</p>	<p>Mempercepat perkembangan adopsi teknologi, keterampilan dan daya saing industri melalui kebijakan pemberian keringanan pajak atau "tax heaven" bagi pekerja asing terampil.</p>
--	--	---	---	--

	<p>Pemberian bantuan keuangan untuk pelatihan tambahan</p>	<p>SkillsFuture Singapura adalah inisiatif pengembangan keterampilan nasional yang bertujuan untuk memberikan kesempatan bagi individu untuk mengembangkan potensi mereka sepenuhnya sepanjang hidup. Inisiatif ini dirancang untuk aksesibilitas warga Singapura di semua tahap karier dan kehidupan, dan oleh karena itu mencakup pembelajaran seumur hidup sebagai elemen kunci bersamaan dengan fokus yang ditargetkan pada keterlibatan siswa, karyawan, pengusaha, dan penyedia pelatihan. Ada berbagai macam program yang tersedia dalam inisiatif ini, termasuk pemberian uang untuk pelatihan hingga \$4000 untuk penduduk berusia 40 tahun keatas, program magang, pelatihan singkat, dan lain lain.</p>	<p>Singapore merupakan negara net exporter, dengan jasa berketerampilan tinggi sebagai salah satu penyumbang pendapatan negara terbesar.</p>	<p>Program pengembangan keterampilan yang mengemban semangat belajar sepanjang hidup untuk memastikan bahwa populasinya memiliki keterampilan yang relevan di era globalisasi dan perkembangan teknologi yang pesat.</p>
--	--	--	--	--

	<p>Mendorong investasi untuk manufaktur kendaraan listrik (EV)</p>	<p>Persetujuan kebijakan baru untuk menjadikan India sebagai pusat manufaktur kendaraan listrik (EV). Kebijakan ini bertujuan untuk menarik produsen EV asing dengan menawarkan insentif seperti keringanan pajak dan penurunan tarif impor pada EV tertentu. Untuk memenuhi syarat mendapatkan manfaat ini, produsen harus berkomitmen untuk menginvestasikan setidaknya Rs 4.150 crore dalam waktu tiga tahun dan memulai manufaktur lokal kendaraan listrik.</p>	<p>Meningkatnya minat investasi global dalam sektor EV India dan memberikan konsumen India akses ke teknologi terbaru dalam pasar kendaraan listrik (EV). Selain itu, kebijakan ini diharapkan akan mendorong pertumbuhan ekonomi melalui peningkatan produksi lokal dan penciptaan lapangan kerja di sektor manufaktur kendaraan listrik.</p>	<p>pentingnya insentif pemerintah dalam mendorong investasi asing dan perkembangan industri dalam negeri. Kebijakan yang dirancang untuk mendorong investasi asing juga perlu memperhatikan kemitraan yang kuat dengan produsen lokal dan persyaratan pembuatan komponen lokal untuk memastikan keberlanjutan dan pertumbuhan sektor EV India secara keseluruhan.</p>
--	--	---	--	---

BAB V

Manajemen Limbah

“Kuncinya adalah ekonomi sirkular untuk mencegah sampah masuk ke TPA. Pada akhirnya, kami menargetkan nol sampah dan nol emisi
- **Rosa Vivien Ratnawati, Direktur Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah, dan Bahan Berbahaya dan Beracun (PSLB3) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)**

Setiap tahunnya, lebih dari satu juta spesies biota laut di Indonesia mati akibat limbah yang berakhir di laut, mengancam keanekaragaman biodiversitas yang menjadi kebanggaan negara. Limbah-limbah tersebut, yang meliputi pestisida, minyak, timah, cadmium, dan merkuri, menjadi sumber kontaminasi utama yang serius di Indonesia. Tidak hanya berdampak pada kehidupan flora dan fauna, keberadaan limbah di Indonesia juga berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, dengan estimasi produksi emisi sebesar 3,5 hingga 5,2 juta CO₂-ekuivalen setiap harinya. Dari periode tahun 2000 hingga 2012, rata-rata pertumbuhan emisi gas rumah kaca akibat limbah mencapai 4% per tahun, menegaskan urgensi bagi Indonesia untuk mengambil langkah serius dalam menekan pertumbuhan emisi ini. Langkah tersebut merupakan bagian penting dari komitmen Indonesia untuk mencapai target Emisi Nol Karbon pada tahun 2060, sejalan dengan upaya global dalam mengatasi perubahan iklim.

Untuk menghitung jumlah *green jobs* yang dibutuhkan, sampah yang dihitung akan dibatasi menjadi tiga jenis, yaitu limbah kompos, limbah daur ulang, dan limbah beracun. Dari sisi jumlah produksi

sampah, terdapat dua skenario yang diasumsikan, yaitu:

- Konservatif, jumlah limbah yang dihasilkan akan terus bertambah seperti biasa, sehingga membutuhkan jumlah pekerja yang lebih banyak untuk mengolah sampah berikut
- Optimis, jumlah limbah yang dihasilkan akan semakin sedikit diakibatkan diasumsikan bahwa masyarakat sudah mampu melakukan proses pengurangan jumlah limbah dengan melakukan 3R (Reduce, Reuse, Recycle), kapabel dalam menyortir kategori limbah yang dibuang, serta peka terhadap limbah yang dibuang oleh setiap oknum.

Dari dua skenario diatas, Indonesia memiliki potensi untuk menciptakan 400-10,500 lapangan kerja hijau yang dapat memberikan dorongan positif bagi perekonomian Indonesia.

5.1 Latar Belakang Produksi Limbah di Indonesia

Pertumbuhan produksi limbah di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan, mencapai 4,4% pada tahun 2021, 5,3% pada tahun 2022, dan 5,8% pada tahun 2023¹¹⁷. Pertumbuhan pesat diakibatkan oleh limbah yang seharusnya dapat dikompos dan didaur ulang tidak diolah dengan baik. Masalah Indonesia dalam limbah kembali berputar kembali ke kebiasaan masyarakat serta ketersediaan tempat pengolahan limbah untuk mengelola limbah secara efektif dan baik. Kondisi ini merupakan kebutuhan mendesak untuk segera diatasi sebelum jumlah limbah bertambah banyak.

Manajemen Sampah Rumah Tangga (MSW) berkaitan secara langsung dengan 12 dari 17 SDG PBB, di mana manajemen MSW yang tidak efektif memiliki dampak jangka panjang terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan, serta berkontribusi pada perubahan iklim. Indonesia telah menyadari peran krusial dari manajemen MSW yang efisien dalam mendukung keberlanjutan lingkungan¹¹⁸.

Berdasarkan UU Nomor 2008 tentang pengelolaan limbah, limbah didefinisikan sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/ atau proses alam yang berbentuk padat. Limbah ini berasal dari

¹¹⁷ Analisis SRE

¹¹⁸ What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. World Bank

limbah pemukiman, komersial, industri, institusi, proyek layanan kota, konstruksi dan pembongkaran, alur proses, dan agrikultur. Dalam pembahasan ini, limbah akan dibagi menjadi 3 kategori:

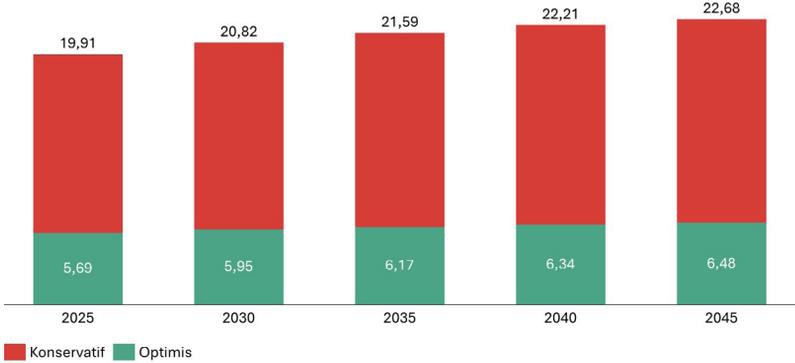
- Limbah kompos, yang meliputi limbah-limbah organik seperti limbah sisa makanan, kayu, ranting, karet, kulit, dan lainnya;
- Limbah daur ulang, yang meliputi kertas, karton, plastik, kain, dan kaca;
- Limbah beracun, yang meliputi besi dan lainnya.

Proyeksi pertumbuhan produksi ketiga jenis limbah di Indonesia hingga tahun 2045 akan bergantung pada perkembangan industri, manufaktur serta pertumbuhan populasi. Jumlah produksi limbah di Indonesia pada tahun 2045 dicari dengan produksi limbah per kapita untuk setiap tahunnya dikalikan dengan proyeksi populasi Indonesia sampai dengan tahun 2045. Perubahan produksi limbah per kapita di Indonesia dapat dikategorikan ke dalam 2 skenario, yaitu:

- Konservatif, didasari produksi limbah per kapita akan terus meningkat tanpa perubahan perilaku masyarakat dan pengolahan limbah yang berarti. Pertumbuhan jumlah sampah disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya urbanisasi yang masif. Urbanisasi telah dibuktikan untuk berkorelasi secara positif dengan produksi limbah, Tren urbanisasi akan terus meningkat, dengan 56.7% populasi tinggal di daerah urban pada tahun 2020, serta diprediksi untuk terus meningkat sampai dengan 66.6% pada tahun 2035¹¹⁹.
- Optimis, yang diasumsikan bahwa masyarakat sudah mampu melakukan proses pengurangan jumlah limbah dengan melakukan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*), kapabel dalam menyortir kategori limbah yang dibuang, serta peka terhadap limbah yang dibuang oleh setiap oknum.

¹¹⁹ Urbanization and Benefit of Integration Circular Economy into Waste Management in Indonesia: A Review

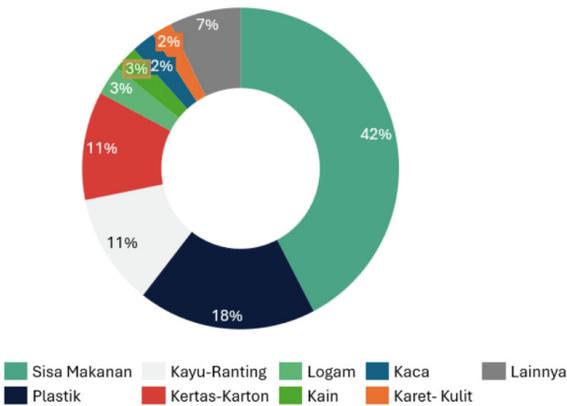
Proyeksi Produksi Sampah Indonesia per Tahun sampai 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 5.1. Proyeksi Produksi Limbah Indonesia per Tahun sampai 2045¹²⁰

Mencapai titik ideal produksi limbah merupakan langkah krusial dalam perjalanan Indonesia menuju Indonesia Emas 2045. Jarak antara garis untuk skenario konservatif dan optimis merupakan tantangan dan kepentingan yang harus diatasi untuk membangun sistem pengelolaan limbah yang efektif di Indonesia.

Persentase Komposisi Sampah Indonesia Tahun 2023
(dalam %)



Grafik 5.2. Persentase Komposisi Limbah Indonesia Tahun 2023¹²¹

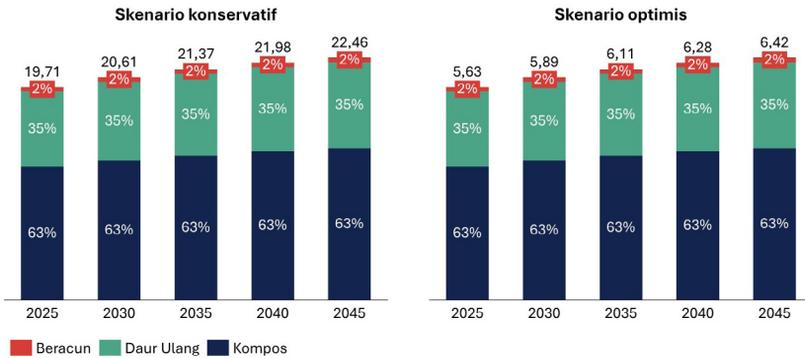
¹²⁰ Kementerian LHK

¹²¹ Kementerian LHK

Limbah kompos merupakan kontributor terbesar dalam produksi limbah, dihasilkan dari aktivitas sehari-hari seperti makan dan buang air. Berdasarkan proyeksi, rasio limbah kompos per kapita diharapkan tetap konsisten hingga tahun 2045 tanpa pertumbuhan signifikan per individu. Sementara itu, limbah yang dapat didaur ulang seperti plastik, kertas, karton, kain, dan kaca berasal dari berbagai sektor seperti manufaktur, industri, dan konstruksi. Meskipun produksi komponen limbah ini tidak terjadi secara rutin dengan skala besar seperti limbah kompos, jumlahnya masih signifikan. Oleh karena itu, diperkirakan bahwa persentase limbah daur ulang akan lebih rendah dibandingkan limbah kompos. Hal serupa berlaku untuk limbah beracun; proyeksi menunjukkan bahwa rasio komposisi limbah akan tetap sama hingga tahun 2045.

Limbah yang dibuang ke laut juga merupakan masalah serius di Indonesia, grafik 6.2. belum melibatkan limbah yang dibuang ke lautan, dimana limbah yang mengalir ke lautan Indonesia sebanyak 0.27 sampai 0.9 juta ton setiap tahunnya dengan mayoritas limbah tersebut berbentuk plastik dan *polystyrene foam*. Sebagai contoh, 19,6% dari 1,6 juta ton limbah yang dihasilkan di Bali adalah plastik, dengan 33.000 ton mengalir ke perairan setiap tahunnya. 700 tenaga kerja pembersih dikerahkan oleh pemerintahan Bali pada tahun 2018 untuk membersihkan 100 ton limbah di pantai-pantainya. Hal ini dapat membawa dampak negatif ke provinsi Bali yang banyak bergantung pada sector pariwisata dan maritim, seperti rusaknya daerah wisata perairan di Bali dan rusaknya ekosistem maritim.

Proyeksi Komposisi Sampah Indonesia Tahun 2045
(dalam jutaan ton)



Grafik 5.3. Proyeksi Komposisi Limbah Indonesia Indonesia Tahun 2045¹²²

Kesadaran masyarakat dan industri untuk mengurangi produksi limbah serta melakukan penyortiran limbah adalah kunci dalam membantu institusi pengolahan limbah. Kontribusi aktif dari kedua pihak ini sangat penting untuk membawa Indonesia menuju skenario optimis dalam pengelolaan limbah.

5.2 Latar Belakang Pengolahan Limbah di Indonesia

Pengelolaan limbah merujuk pada pendekatan dan prosedur yang dibentuk untuk menentukan, mengendalikan, dan mengelola jenis-jenis limbah yang berbeda dari awal produksi sampai dengan pembuangan. Implementasi total meliputi mengurangi produksi limbah, menggunakan ulang dan daur ulang, atau apapun yang berkontribusi dalam mengurangi efek langsung seperti emisi ataupun efek tidak langsung seperti pengurangan sumber daya¹²³.

Untuk mengakomodir pengelolaan limbah, Indonesia telah menerapkan beberapa teknologi untuk mengelola limbah seperti berbasis data SIPSN:

¹²² Analisis SRE

¹²³ Introduction to Waste Management

Tabel 5.1 Teknologi Pengelolaan Limbah di Indonesia

Metode	Penjelasan	Lokasi Pengolahan
Insinerasi	Proses pembakaran limbah pada suhu tinggi, menghasilkan gas beracun dan mengurangi volume limbah dengan efektivitas dalam mengolah jenis limbah yang beragam.	Jakarta, Surabaya, Bandung
MBT-RDF (Mechanical Biological Treatment to produce Refuse Derived Fuel)	Pengolahan limbah menjadi bahan bakar alternatif melalui proses mekanik dan biologis, menciptakan sumber energi yang ramah lingkungan dari limbah.	Jakarta, Surabaya, Medan
Anaerobic digestion	Dekomposisi limbah organik tanpa oksigen oleh bakteri, menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi dan pupuk organik yang berguna bagi pertanian.	Surabaya, Semarang, Makassar
Composting	Transformasi limbah organik menjadi kompos untuk pertanian melalui dekomposisi bakteri, meminimalkan limbah dan mendukung pertanian berkelanjutan.	Jakarta, Bandung, Yogyakarta
Pirolisis	Konversi plastik menjadi bahan bakar dan minyak melalui proses pemanasan, mengurangi limbah plastik dan menciptakan sumber energi alternatif.	Jakarta, Surabaya, Makassar
Landfill	Penimbunan limbah di area tertentu, berpotensi menciptakan pencemaran dan kerusakan lingkungan, membutuhkan pengelolaan yang hati-hati dan terpadu.	Jakarta, Surabaya, Medan, Makassar, Palembang

Untuk mencapai titik ideal pengolahan limbah, diperlukan kapasitas pengolahan yang dapat mengakomodir produksi limbah tersebut. Namun kapasitas pengolahan ini masih terbatas di Indonesia¹²⁴. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terbatasnya penambahan kapasitas pengolahan limbah, yaitu:

¹²⁴ WASTE MANAGEMENT SERVICE IN INDONESIA BASED ON STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS

1. Biaya tinggi;
2. Membutuhkan area yang luas, Indonesia masih membutuhkan 2617 lokasi pengelolaan limbah baru;
3. Kurangnya kualitas pengelolaan limbah;
4. Akses dan infrastruktur ke daerah pengelolaan limbah terbatas;
5. Minimnya pengawasan untuk pengelolaan limbah;
6. Kurangnya dukungan masyarakat;
7. Penambahan kapasitas pengolahan limbahpun membutuhkan biaya yang besar.

5.3 Apa itu *Green Jobs* di sektor limbah?

Green jobs yang berkaitan dengan manajemen limbah fokus pada upaya mereduksi, mendaur ulang, dan memanfaatkan kembali bahan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip efisiensi sumber daya dan upaya untuk mengurangi limbah. Setiap tahap dalam proses manajemen limbah, mulai dari pengumpulan hingga pengolahan limbah, memiliki kontribusi penting dalam mengalihkan material dari tempat pembuangan akhir, menjaga keberlanjutan sumber daya alam, serta mengurangi tingkat pencemaran.

Di sisi lain, sektor limbah juga menawarkan berbagai inisiatif yang bertujuan untuk mengatasi perubahan iklim, seperti penangkapan metana dari tempat pembuangan akhir dan pembuatan kompos dari limbah organik. Inisiatif ini tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga menghasilkan sumber daya terbarukan, mendukung transisi menuju ekonomi rendah karbon.

5.3.1 Jumlah *Green Jobs* yang dibutuhkan

Berdasarkan proyeksi jumlah limbah Indonesia pada Grafik 5.1, maka dihasilkan proyeksi jumlah *green jobs* yang tercipta sampai tahun 2045 dengan dua skenario, yaitu skenario Optimis dan Konservatif.

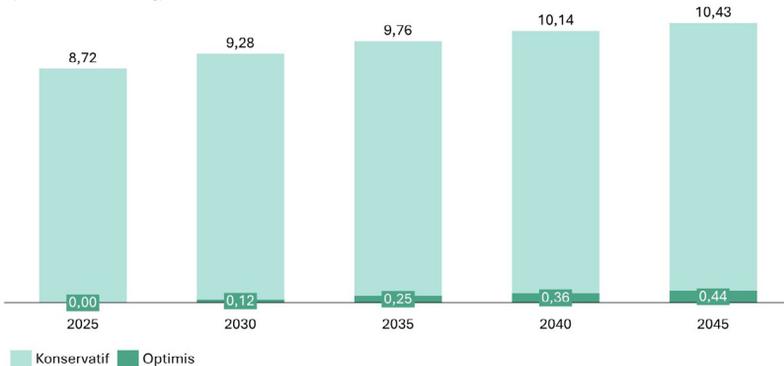
Faktor-faktor yang mendasari proyeksi lapangan kerja hijau dan pembangunan situs pengelolaan limbah baru (TPA dan TPS) dapat dihubungkan langsung dengan data historis kapasitas pengelolaan limbah dan defisit limbah di tahun 2023.

Tabel 5.2 Proyeksi Angka *Green Jobs* pada Tahun 2045

Skenario	Kapasi- tas Pen- gelolaan Limbah	Produksi Limbah 2045	Defisit Tahun 2045	Kon- versi Jumlah Peker- ja/ Situs Baru	Kon- versi Jumlah Peker- ja/ Kapita	Proyek- si <i>Green Jobs</i> Tahun 2045	Jumlah Situs Penge- lolaan Limbah Baru Tahun 2045
Kon- serva- tif		22.683,787	16.924,322			10.432	2.071
Opti- mis	5.759,466	6,481,082	721,616	8,170	1,622	88	88

Skenario konservatif menunjukkan bahwa proyeksi *green jobs* ada pertumbuhan yang stabil namun lambat dari sekitar 8,600 pada tahun 2024 hingga sekitar 10,432 pada tahun 2045¹²⁵, seiring dengan peningkatan volume limbah yang dihasilkan dari sekitar 19,712,266 ton pada tahun 2024 hingga sekitar 22,683,787 ton pada tahun 2045¹²⁶. Namun, permintaan untuk pembangunan situs pengelolaan limbah baru meningkat secara bertahap dari sekitar 1,707 pada tahun 2024 menjadi sekitar 2,071 pada tahun 2045.

Potensi Jumlah *Green Jobs* pada Tahun 2045
(dalam ribuan orang)



Grafik 5.4. Potensi Jumlah *Green Jobs* pada Tahun 2045¹²⁷

¹²⁵ Analisis SRE pada Grafik 5.4

¹²⁶ Analisis SRE pada Grafik 5.3

¹²⁷ Analisis SRE

Dalam skenario optimis, proyeksi *green jobs* menunjukkan pertumbuhan yang dimulai dari nol pada tahun 2024, tetapi meningkat secara bertahap hingga mencapai sekitar 444 pada tahun 2045¹²⁸. Meskipun dimulai dari titik awal yang rendah, pertumbuhan ini menandakan upaya perlahan namun pasti dalam penciptaan lapangan kerja hijau terkait pengelolaan limbah. Sementara itu, kebutuhan akan situs pengelolaan limbah baru juga meningkat secara bertahap dari nol pada tahun 2024 hingga sekitar 88 pada tahun 2045¹²⁹. Meskipun proyeksi ini lebih konservatif, dengan adanya peningkatan jumlah situs baru menunjukkan kesadaran akan kebutuhan akan infrastruktur yang diperlukan untuk mengelola volume limbah yang terus meningkat dari sekitar 5,6 juta ton pada tahun 2024 hingga sekitar 6,5 juta ton pada tahun 2045¹³⁰.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proyeksi lapangan kerja hijau dan pembangunan situs pengelolaan limbah baru (TPA dan TPST) dapat dihubungkan langsung dengan data historis kapasitas pengelolaan limbah dan defisit limbah di tahun 2023. Implikasi dari kedua skenario tersebut adalah bahwa peluang untuk menciptakan lapangan kerja hijau dan membangun infrastruktur pengelolaan limbah baru sangat tergantung pada kapasitas pengelolaan limbah yang tersedia. Tanpa kapasitas yang mendukung, potensi untuk menciptakan dua hal tersebut akan terbatas. Oleh karena itu, pengembangan kapasitas pengelolaan limbah perlu sejalan dengan pertumbuhan jumlah limbah yang dihasilkan.

Dalam proyeksi lapangan kerja hijau di sektor limbah, terdapat tren pertumbuhan konsisten dari tahun ke tahun untuk kedua skenario. Namun, tingkat pertumbuhan dan stabilitasnya berbeda-beda di setiap skenario. Misalnya, periode 2028-2035 menunjukkan peningkatan konsisten di semua skenario yang disebabkan oleh adopsi teknologi baru, peningkatan kesadaran, dan kebijakan pemerintah yang mendukung.

Perbedaan signifikan terlihat dalam tren pertumbuhan lapangan kerja hijau antara skenario optimis dan konservatif. Misalnya, dalam

¹²⁸ Analisis SRE pada Grafik 5.4 Potensi Jumlah Green Jobs pada Tahun 2045

¹²⁹ Analisis SRE pada Tabel 5.2 Proyeksi Angka *Green Jobs* pada Tahun 2045

¹³⁰ Analisis SRE pada Grafik 5.3. Proyeksi Komposisi Limbah Indonesia Indonesia Tahun 2045

skenario optimis terdapat tren pertumbuhan yang lebih cepat dan konsisten dari tahun 2024 hingga 2045 yang mencerminkan kondisi yang lebih menguntungkan dalam hal regulasi, investasi, dan inovasi. Di sisi lain seperti di skenario konservatif, pertumbuhan angka lapangan kerja hijau lebih lambat dan fluktuatif serta mencerminkan tantangan yang lebih besar.

Meskipun volume limbah meningkat dari 2024 hingga 2045 di semua skenario, proyeksi lapangan kerja hijau menunjukkan adaptabilitas terhadap tantangan tersebut. Selanjutnya, permintaan untuk pembangunan situs pengelolaan limbah baru juga meningkat secara bertahap dari tahun 2024 hingga 2045 di semua skenario. Tantangan dalam pembangunan infrastruktur dan regulasi yang kurang mendukung dapat memperlambat pertumbuhan pekerjaan hijau dan pembangunan situs baru.

5.3.2 Klasifikasi *Green Jobs* yang Dibutuhkan

5.3.2.1 Klasifikasi *Green Jobs* di Teknologi Mekanikal

Pemahaman mendalam tentang teknologi mekanikal menjadi kunci bagi berbagai tingkatan keterampilan tenaga kerja. Tabel berikut memperinci teknologi mekanikal baru yang diperlukan dalam industri limbah. Dari pemahaman dasar hingga keahlian tingkat lanjut, pemahaman yang menyeluruh tentang keterampilan yang dibutuhkan dapat membantu merancang program pelatihan yang efektif dan mempersiapkan tenaga kerja untuk masa depan yang berkelanjutan dalam pengelolaan limbah menuju Indonesia Emas 2045.

Tabel 5.3 Kebutuhan Keahlian untuk Operasional Mesin

Pekerjaan	Deskripsi Singkat	Skillset yang Dibutuhkan	Tingkat Pendidikan / Kebutuhan Dasar
Operator Air Seperator	Bertanggung jawab untuk mengoperasikan dan menjaga kinerja mesin pemisah udara	Pemahaman dasar tentang operasi, pemeliharaan mesin	SMA/SMK

Engineer Desain Mesin Air Seperator	Merancang sistem mesin pemisah udara untuk pengelolaan limbah	Pemahaman tentang desain mesin	D3/S1 Teknik Mesin atau sejenisnya
Engineer Proses Pengolahan Limbah	Mengembangkan dan mengoptimalkan proses teknologi mekanikal pengolahan limbah	Pemahaman proses teknis, analisis efisiensi, pemecahan masalah	S1 Teknik bidang sejenisnya
Insinyur Kualitas Produk	Bertanggung jawab atas jaminan kualitas produk dalam proses pengolahan limbah	Kemampuan pengujian, analisis kualitas, audit	D3/S1 Teknik atau Ilmu Terapan
Operator Layar Trommel	Mengatur dan menjalankan mesin pemisah limbah dengan menggunakan layar trommel	Pemahaman proses pemisahan limbah, pengaturan mesin	D3/S1 Teknik Lingkungan atau sejenisnya
Teknisi Konveyor Rantai	Bertugas menjalankan dan merawat konveyor rantai limbah	Pemahaman prinsip konveyor, pemeliharaan mekanis	D3/S1 Teknik Mesin atau sejenisnya
Teknisi Shredder	Menangani operasi dan pemeliharaan mesin penghancur limbah	Pemahaman operasi, pemeliharaan mesin penghancur	D3/S1 Teknik Elektro atau sejenisnya
Operator Pemisah Balistik	Mengoperasikan alat pemisahan limbah untuk memilah material berdasarkan ukuran dan berat	Pemahaman prinsip pemisahan limbah, pengaturan alat	D3/S1 Teknik Kimia atau sejenisnya
Teknisi Balistic Separator	Bertugas menjalankan dan merawat alat pengomposan limbah (tumpukan angin)	Pemahaman operasi, pemeliharaan alat kompos	D3/S1 Biologi/Teknik Lingkungan atau sejenisnya

Spesialis Kecerdasan Buatan dalam Robot	Memahami dan mengelola sistem kecerdasan buatan dalam konteks teknologi mekanikal	Pemahaman tentang kecerdasan buatan, desain teknologi, operasi, pemeliharaan	D3/S1/S2 Teknik Mekatronika atau sejenisnya dan D3/S1/S2 Ilmu Komputer
Teknisi Smart Waste Bins	Mengatur, mengoperasikan, dan merawat teknologi Smart Waste Bins	Pemahaman tentang desain teknologi, operasi, pemeliharaan	D3/S1 Teknik Mesin atau sejenisnya
Teknisi Cryo-milling	Bertanggung jawab atas pemahaman prinsip pembekuan senyawa kimia dan reaksinya serta pemeliharaan mesin	Pemahaman mendalam prinsip pembekuan senyawa kimia dan reaksinya, operasi, pemeliharaan	D3/S1 Teknik Kimia atau sejenisnya
Teknisi Rotary Klin dan Pemanggang Post	Bertanggung jawab atas pemahaman prinsip pembakaran limbah, operasi, dan pemeliharaan mesin	Pemahaman mendalam prinsip pembakaran limbah	S1 Teknik Mesin atau sejenisnya
Engineer R&D	Melakukan penelitian untuk mengembangkan teknologi baru dalam pengolahan limbah.	Kemampuan analisis, inovasi teknologi, penelitian	S2 di bidang teknik/terkait
Teknisi Automasi	Mengembangkan dan memelihara sistem otomasi dalam pengolahan limbah.	Pemahaman tentang sistem otomasi, pemrograman, troubleshooting	D3/S1 Teknik Elektro atau sejenisnya

5.3.2.2 Klasifikasi Green Jobs di Teknologi Digitalisasi

Menghadapi tantangan digitalisasi industri daur ulang limbah, diperlukan pemahaman yang mendalam mengenai keterampilan dan pendidikan yang menerapkan teknologi spesifik. Seperti *Internet of Things* (IoT), Analisis *Big Data*, *Artificial Intelligence*, Teknologi *Blockchain*, serta Robotika dan *Drone*, kebanyakan masuk *high-skilled workers*, memerlukan keterampilan khusus dalam pengembangan, pemrograman, dan pemeliharaan. Sertifikasi tambahan diperlukan untuk meningkatkan kredibilitas dan kemampuan profesional dalam mengimplementasikan teknologi ini. Tabel di bawah memperlihatkan teknologi spesifik yang diperlukan dalam digitalisasi industri daur ulang limbah, beserta keterampilan yang dibutuhkan, tingkat pendidikan yang direkomendasikan, dan sertifikasi tambahan untuk meningkatkan kompetensi.

Tabel 5.4 Kebutuhan Keahlian untuk Operasional Teknologi Digital

Pekerjaan	Deskripsi Singkat	Skillset yang Dibutuhkan	Tingkat Pendidikan / Kebutuhan Dasar
Engineer IoT	Mengembangkan perangkat keras, pemrograman embedded, pemasangan dan pemeliharaan sensor	Pengembangan perangkat keras, pemrograman embedded, pemeliharaan jaringan	Sarjana Teknik Elektro, Diploma atau Pelatihan Teknis
Analisis Big Data	Menganalisis data dari proses pengelolaan limbah untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan.	Analisis data, pemodelan prediktif, statistik	Sarjana Ilmu Komputer/ Statistik
Ahli AI (Artificial Intelligence)	Menggunakan teknik pembelajaran mesin untuk memprediksi tren dan memperbaiki proses pengelolaan limbah.	Pemrograman, pembelajaran mesin, pemrosesan bahasa alami	Sarjana Ilmu Komputer

Spesialis Teknologi Blockchain	Menerapkan teknologi blockchain untuk mengoptimalkan proses pelacakan dan manajemen limbah.	Keamanan informasi, pengembangan blockchain	Sarjana Teknik Informatika
Pengembang Aplikasi Digital	Mengembangkan aplikasi yang memfasilitasi pelaporan dan pengelolaan limbah secara efisien.	Pengembangan aplikasi, manajemen informasi.	Sarjana Manajemen Informatika
Ahli Robotika	Merancang robotika untuk proses otomatisasi dalam pengelolaan limbah.	Pemrograman, rekayasa mekanika, kontrol otomatisasi	Sarjana Teknik Mesin atau sejenisnya
Ahli Drone	Menggunakan teknologi drone untuk survei dan pemantauan limbah di area yang sulit diakses.	Pemrograman UAV, pengolahan citra, navigasi UAV	Sarjana Ilmu Komputer, Teknik Elektro
Ahli Spektroskopi NIR	Menerapkan spektroskopi NIR untuk analisis kualitas limbah dan pemantauan proses pengelolaan limbah.	Pemahaman prinsip spektroskopi, analisis data, pemrograman	Sarjana Ilmu/ Teknik Fisika, Kimia, Biologi
Administrator Infrastruktur Cloud	Mengelola infrastruktur cloud yang mendukung aplikasi dan sistem pengelolaan limbah digital, termasuk keamanan data, pemeliharaan, dan skalabilitas.	Administrasi sistem, keamanan informasi, pengetahuan tentang teknologi cloud	Diploma atau Sertifikasi Administrasi Sistem Komputer
Ahli Integrasi Sistem	Mengintegrasikan berbagai sistem dan platform teknologi yang digunakan dalam pengelolaan limbah digital untuk memastikan interoperabilitas dan efisiensi operasional.	Integrasi sistem, pengembangan perangkat lunak, pemahaman tentang arsitektur sistem	Sarjana Teknik Informatika atau bidang terkait

Meskipun digitalisasi memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengelolaan limbah, masih ada hambatan utama berupa *skill gap* dan pengetahuan di kalangan praktisi¹³¹. Salah satu *skill gap* kritis terletak pada kekurangan ahli analisis data dan interpretasi. Ini diperlukan untuk mengoptimalkan proses pengelolaan limbah dengan memanfaatkan data dari sensor, perangkat IoT, dan platform digital¹³². Selain itu, kurangnya literasi digital dan adopsi teknologi di kalangan *stakeholders* krusial seperti pejabat pemerintah dan masyarakat juga menjadi kendala dalam memanfaatkan potensi digitalisasi dalam pengelolaan limbah¹³³. Mengidentifikasi dan mengatasi *skill gap* tersebut merupakan langkah penting untuk mengatasi hambatan dalam menerapkan solusi digital dalam industri daur ulang limbah.

Tabel 5.5 Sasaran dan Pelatihan untuk Keterampilan Teknologi Digital

Keterampilan	Deskripsi	Kelompok Sasaran	Kebutuhan Pelatihan
Analisis Data dan Interpretasi	Kemampuan dalam mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasi volume data besar dari sensor, perangkat IoT, dan platform digital untuk menginformasikan pengambilan keputusan dan mengoptimalkan proses pengelolaan limbah.	Profesional Pengelolaan Limbah	Kursus atau lokakarya tentang alat analisis data (misalnya, Python, R, SQL), teknik visualisasi data, dan interpretasi wawasan data.

¹³¹ Urban technological innovation: developing and testing a sociotechnical framework for studying smart city projects

¹³² IoT and A Sustainable City

¹³³ Anaerobic digestion of food waste, brewery waste, and agricultural residues in an off-grid continuous reactor

Literasi Digital dan Adopsi Teknologi ¹³⁴	Kemampuan untuk menggunakan alat dan platform digital untuk pengumpulan data, komunikasi, dan kolaborasi.	Pemerintah, Pembuat Kebijakan, Anggota Masyarakat, dan Pihak-pihak Terkait Pengelolaan Limbah	Pelatihan dasar literasi digital yang mencakup aplikasi perangkat dasar dan penting (misalnya, Microsoft Office, Google Suite), <i>platform</i> komunikasi (misalnya, <i>email</i> , aplikasi pesan), dan alat kolaborasi (misalnya, <i>software</i> manajemen proyek, <i>cloud storage</i>).
Kesadaran Keamanan Siber	Pemahaman tentang ancaman keamanan siber dan praktik terbaik untuk melindungi sistem digital dan data dalam operasi pengelolaan limbah.	Staf TI, Administrator Sistem, dan Pembuat Keputusan yang Bertanggung Jawab atas Infrastruktur Digital	Kursus atau lokakarya tentang dasar-dasar keamanan siber, regulasi perlindungan data (misalnya, GDPR), dan prosedur respons insiden.
Pemantauan dan Pengendalian Jarak Jauh	Kemampuan dalam menggunakan teknologi pemantauan jarak jauh dan sistem pengendalian untuk mengelola fasilitas dan peralatan limbah secara <i>remote</i> .	Manajer Fasilitas, Teknisi, dan Karyawan Pemeliharaan	Pelatihan praktis tentang perangkat lunak pemantauan jarak jauh, perangkat IoT, dan antarmuka kontrol, dengan penekanan pada prosedur pemecahan masalah dan pemeliharaan.

Selain itu, terdapat *Skill Gap* dalam manajemen proyek dan kemampuan manajemen di kalangan para profesional pengelolaan limbah. Inisiatif digitalisasi membutuhkan perencanaan, implementasi, dan pemantauan yang cermat untuk memastikan keberhasilan. Para profesional dengan keahlian dalam manajemen proyek dan manajemen perubahan mempunyai peran dalam memimpin proyek-proyek digitalisasi, mengelola harapan pemangku kepentingan, dan mengatasi resistensi terhadap perubahan di dalam organisasi.

¹³⁴ Unlocking synergies between waste management and climate change mitigation to accelerate decarbonization through circular-economy digitalization in Indonesia

Banyak perusahaan kecil dan menengah, pemilik dan operator bangunan, serta pengguna potensial lainnya mengetahui tentang digitalisasi tetapi tidak memiliki kapasitas internal untuk menerapkannya dan menggunakan secara efektif dalam operasinya. Mereka mungkin tidak menggunakan teknologi secara optimal, seperti memasukkan data secara manual daripada otomatis, mengabaikan wawasan dari data dan analisis, atau hanya menggunakan sejumlah fitur dasar dari alat-alat tersebut. Alat-alat digital perlu ramah pengguna dan mudah digunakan bagi non-ahli teknis untuk memungkinkan mereka mengurangi jumlah input data dan analisis yang diperlukan. Dengan mengidentifikasi *skill gap* tersebut, stakeholders dapat mengembangkan inisiatif pembangunan kapasitas dan skema pelatihan untuk mengatasi kebutuhan keterampilan serta memfasilitasi implementasi inisiatif digitalisasi dalam praktik pengelolaan limbah lokal¹³⁵.

5.3.2.3 Klasifikasi *Green Jobs* di Bidang Manajerial

Keterampilan manajerial daur ulang dan pengomposan sangat penting untuk memastikan efektivitas dan pengelolaan program-program lingkungan. Posisi seperti Konsultan Pengalihan Limbah, Manajer Program Pengalihan Limbah, dan sejenisnya diperkirakan semakin banyak dibutuhkan di masa depan, sebagaimana tercermin dalam Peta Okupasi Nasional Green Jobs dalam Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) 2022¹³⁶. Meskipun peran-peran tersebut sudah terdefinisi, belum ada standar kompetensi untuk mendukung pelaksanaannya. Maka dari itu, tabel di bawah ini menyajikan keterampilan manajerial yang dibutuhkan untuk posisi-posisi tersebut yang dapat menjadi faktor kunci dalam menciptakan lanskap pekerjaan hijau di sektor limbah dari sisi manajerial.

¹³⁵ Anaerobic digestion of food waste, brewery waste, and agricultural residues in an off-grid continuous reactor

¹³⁶ Peta Okupasi nasional green jobs Dalam Kerangka Kualifikasi Nasional indonesia (KKNI)

Tabel 5.6 Keterampilan Manajerial yang Dibutuhkan

Pekerjaan	Deskripsi Singkat	Skillset yang Dibutuhkan	Educational Level / Basic Needs
Konsultan Pengalihan Limbah	Mengembangkan dan melaksanakan rencana pengurangan limbah, berkoordinasi dengan pemangku kepentingan, memastikan kepatuhan peraturan	Kolaborasi, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Pengalaman dalam manajemen program limbah
Manajer Program Pengalihan Limbah	Mengelola tim lintas fungsi untuk melaksanakan rencana pengurangan limbah	Kolaborasi Tim, Kepemimpinan, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Pengalaman dalam manajemen limbah
Koordinator Program Pengurangan Limbah	Mengembangkan dan mengelola inisiatif pengurangan limbah dan program daur ulang untuk kota	Manajemen Proyek, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Sarjana (S1) dalam Ilmu Lingkungan, Teknik Lingkungan, atau Bisnis
Koordinator Program Pengalihan Limbah	Mengembangkan inisiatif dan kampanye edukasi untuk melibatkan masyarakat dalam pengalihan limbah	Keterlibatan Masyarakat, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Sarjana (S1) dalam bidang lingkungan terkait
Koordinator Pengelolaan Sisa Daur Ulang	Melaksanakan proyek dan kegiatan pendidikan yang mempromosikan daur ulang, kompos, dan minimisasi limbah	Pelaksanaan Proyek, Manajemen Daur Ulang, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Gelar yang relevan
Koordinator Regional Daur Ulang dan Pengurangan Limbah	Mengembangkan dan melaksanakan program pengurangan limbah dan daur ulang melalui edukasi dan penjangkauan	Pengembangan Program, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Gelar yang relevan

Koordinator Daur Ulang	Mengelola operasi program daur ulang, memastikan kepatuhan terhadap regulasi	Kepatuhan Regulasi, Manajemen Daur Ulang, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Gelar yang relevan
Petugas Pengelolaan Limbah dan Daur Ulang	Mengelola kegiatan pengelolaan limbah, edukasi publik tentang pengurangan limbah	Manajemen Limbah, Edukasi Publik, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Minimal Diploma (D-3)
Operator Proses Limbah Cair	Mengoperasikan dan memonitor sistem pengolahan air limbah, memastikan kepatuhan	Operasi Proses, Manajemen Kepatuhan, Strategi Pengurangan Limbah, Audit Limbah, Pelatihan, Manajemen Limbah	Diploma SMA, sertifikasi yang relevan

5.3.3 Teknologi Mekanikal Pendukung *Green Jobs*

Di era inovasi teknologi, pengelolaan limbah memiliki peran penting mengurangi polusi lingkungan dan mendorong praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Untuk mewujudkan lanskap pekerjaan hijau di sektor limbah, teknologi menjadi unsur yang sangat mendasar dalam mengidentifikasi jenis pekerjaan hijau yang diperlukan pada tahun 2045. Inovasi teknologi manajemen limbah akan menyederhanakan pengumpulan limbah, meningkatkan efisiensi proses daur ulang, serta mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah.

Tabel 5.7 Teknologi Mekanikal yang dapat Mendukung *Green Jobs*

Teknologi/ Proses	Deskripsi	Pengelolaan
Smart WasteBins¹³⁷	Tempat pembuangan limbah yang dapat diimplementasikan di ruang publik dengan kemampuan menentukan tingkat kepenuhan, emisi gas yang diproduksi oleh limbah, kelembapan, berat total, dan isi dari limbah tersebut.	Kompos, Daur Ulang, Beracun

¹³⁷ Modern Technologies for Waste Management: A Review

Balistic Separator ¹³⁸	Mesin pengelolaan limbah ini dirancang untuk menyortir limbah padat berdasarkan ukuran, densitas, dan bentuk sebelum proses pengolahan lebih lanjut.	Kompos, Daur Ulang, Beracun
Kecerdasan Buatan dalam Robot ¹³⁹	Pemanfaatan robot dengan teknologi kecerdasan buatan untuk penyortiran limbah memanfaatkan visualisasi seperti warna dan bentuk. Robot-robot ini juga dilengkapi dengan kemampuan penyortiran melalui tekanan udara, magnet, alat deteksi besi, dan sensor lainnya untuk presisi penyortiran.	Kompos, Daur Ulang, Beracun
Windrow Composting ¹⁴⁰	Metode kompos dimana limbah-limbah mentah diletakkan dalam baris panjang yang akan diputar secara berkala dengan sistem aerasi. Sistem kompos ini menggunakan alat-alat seperti <i>front-end loaders</i> , <i>excavator</i> , dan <i>windrow turners</i> serta dikatakan efektif secara waktu.	Kompos
Static Composting ¹⁴¹	Metode kompos yang menggunakan konsep aerasi aktif maupun pasif untuk mempertahankan suhu dan tingkat oksigen yang optimal. Aerasi pasif didapatkan dari udara hangat yang diproduksi oleh aktivitas mikrobial yang merambat ke atas tumpukan limbah disaat yang bersamaan dengan udara dingin yang turun kebawah untuk menggantikannya. Aerasi aktif menggunakan pipa dibawah atau didalam tumpukan limbah yang menarik dan meniup udara hangat dan dingin untuk memastikan tingkat suhu dan kelembapan sama agar mempercepat proses kompos.	Kompos

¹³⁸ Characterization of landfill mining material after ballistic separation to evaluate material and energy potential

¹³⁹ Modern Technologies for Waste Management: A Review

¹⁴⁰ EPA

¹⁴¹ EPA

Berkley Rapid Composting ¹⁴²	Metode kompos yang cepat dengan limbah berukuran 0.5-1.5 inci, dimana ukuran kecil ini akan mempercepat proses kompos. Suhu, kelembapan, dan ukuran yang sesuai untuk memastikan bahwa proses kompos berlangsung secara cepat, serta tidak boleh adanya penambahan bahan sampai proses kompos selesai agar proses kompos tidak mengulang dari awal. Metode kompos ini sangat menuntut kebutuhan mesin <i>shredder</i> yang dapat memotong limbah ke ukuran yang sesuai.	Kompos
PET bottle recycling technology ¹⁴³	Proses pengolahan botol PET yang dimulai menggunakan penyortiran warna dan botol dengan bahan tambahan, yang lalu dilewati mesin <i>coarse cutter</i> dan <i>fine crusher</i> untuk menjadikan botol-botol ini menjadi serpihan kecil. Serpihan kecil ini nantinya akan melewati proses pembersihan dan <i>dehydrator</i> untuk menyerap semua kelembapan sehingga menjadi lempengan PET kecil. Lempengan ini nantinya dapat dijadikan bentuk pelet dan fiber, yang menjadi bahan mentah untuk produk-produk seperti baju, tas, sarung tangan, dan lainnya.	Daur Ulang
Chemical recycling ¹⁴⁴	Daur ulang secara kimiawi meliputi proses depolimerasi plastik menjadi monomer. Monomer hasil proses ini dapat digunakan untuk membuat polimer-polimer baru atau produk kimiawi lain. <i>Jenis chemical recycling:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Glikolisis: penggunaan <i>glycol</i> dengan kondisi terkontrol • Hidrolisis: penggunaan cairan alkali, asam, atau netral dalam situasi tertentu • <i>Methanolysis</i>: penggunaan methanol dibawah kondisi suhu 270-300 derajat celsius dan tekanan 0.1-15MPa • Alkoholisis: menggunakan alkohol untuk menghasilkan carbamates dan <i>polyhydroxyl alcohol</i> tanpa produk akhir karbon dioksida 	Daur Ulang

¹⁴² Waste Management through Composting: Challenges and Potentials

¹⁴³ Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan

¹⁴⁴ Technological Advances in Mechanical Recycling Innovations and Corresponding Impacts on the Circular Economy of Plastics

Cryo-milling ¹⁴⁵	Teknik pengelolaan untuk limbah-limbah elektronik yang mengandung senyawa-senyawa beracun dengan membekukan limbah-limbah tersebut sebelum menggerusnya menjadi partikel-partikel kecil. Teknik pengelolaan ini menghasilkan sisah limbah terkecil serta dampak buruk kepada lingkungan terkendali dengan mengurangi reaksi-reaksi kimia yang berbahaya.	Beracun
Insinerasi bahan beracun ¹⁴⁶	Proses pembakaran dari bahan beracun harus mengikuti 5 langkah ini untuk menahan kontaminasi. Pertama, limbah beracun dapat dibakar di dalam insenerator. Kemudian, limbah akan dilelehkan pada fasilitas pelelehan. Ketiga, limbah harus disterilisasi menggunakan uap bertekanan tinggi. Keempat, limbah akan disterilisasi untuk kedua kalinya menggunakan <i>dry heat sterilizer</i> . Terakhir, limbah akan masuk ke tahap disinfeksi. Dalam mengakomodir proses ini, terdapat mesin-mesin seperti <i>The Rotary Klin and Post burning stoker furnace</i> dan <i>dry distillation gassification-type compact incinerator</i> .	Beracun

5.3.4 Teknologi Digital Pendukung *Green Jobs*

Dunia kini berada pada tahap di mana digitalisasi menjadi kunci mengatasi pertumbuhan ekonomi sekaligus menjaga lingkungan. Mengadopsi digitalisasi dalam industri daur ulang limbah menjadi langkah strategis krusial. Dengan digitalisasi, diperkirakan industri daur ulang limbah di Indonesia menciptakan lebih dari 120.000 lapangan kerja baru¹⁴⁷. Hal ini memungkinkan industri mengubah model bisnisnya menuju solusi berkelanjutan yang tidak hanya meningkatkan efisiensi biaya, tetapi juga mengurangi biaya operasional secara keseluruhan. Dengan adanya teknologi digital, proses pelacakan dan pemeliharaan limbah dilakukan efisien, sehingga memudahkan proses memperpanjang masa pakai limbah. Dengan pemahaman menyeluruh mengenai sifat dan peruntukan limbah, para pelaku daur ulang tidak hanya dapat mengidentifikasi

¹⁴⁵ Modern Technologies for Waste Management: A Review

¹⁴⁶ Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan

¹⁴⁷ Transformation towards Circular Economy (CE) in Municipal Waste Management System: Model Solutions for Poland

bahan bekas melalui *platform* daring, tetapi juga mengurangi permintaan sumber daya material baru. Akhirnya, digitalisasi tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga melestarikan sumber daya alam secara bersamaan.

Diluar biaya rendah, keuntungan dengan menggunakan teknologi digitalisasi jelas, seperti peningkatan *search power* dan meminimalkan kesalahan jika sebuah informasi yang diposting di situs web digunakan secara berulang-ulang. Informasi yang disebarikan melalui platform digital mempengaruhi aktivitas bisnis dan pengambilan keputusan pelanggan. Digitalisasi juga meningkatkan produktivitas di berbagai sektor dan memperluas partisipasi publik di sektor ekonomi¹⁴⁸. Selanjutnya, Indonesia harus bekerja pada komponen infrastruktur TIK seperti jaringan Wi-Fi berkecepatan tinggi dan titik akses internet berkepadatan tinggi. Karena digitalisasi bergantung pada konektivitas, infrastruktur jaringan, dan antarmuka, hal ini sangat penting untuk meningkatkan transmisi data dan interoperabilitas berbagai sistem dan aplikasi¹⁴⁹. Setiap teknologi dirancang untuk menangani aspek tertentu dari masalah pengelolaan limbah dengan efektivitas dan efisiensi yang lebih besar:

¹⁴⁸ Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises

¹⁴⁹ End-of-life solar photovoltaic e-waste assessment in India: a step towards a circular economy

Tabel 5.8 Teknologi digital yang dapat Mendukung *Green Jobs*

Teknologi	Teknologi Spesifik	Aplikasi	Deskripsi	Negara benchmark
Internet of Things (IoT) ¹⁵⁰¹⁵¹¹⁵²	Jaringan Sensor, RFID, Smart bins	Pemantauan real-time pada bak limbah	Perangkat IoT dilengkapi dengan sensor dan RFID yang memungkinkan pemantauan <i>real-time</i> pada bak limbah, memudahkan pengumpulan limbah.	Singapura, Korea Selatan
Analisis BigData ¹⁵³¹⁵⁴	Penambangan Data, Algoritma <i>Machine Learning</i>	Analisis tren untuk pengelolaan limbah	Alat analisis Big Data menganalisis volume besar data limbah untuk mengidentifikasi tren dan pola, membantu pengambilan keputusan alokasi sumber daya.	Amerika Serikat, Jepang

¹⁵⁰ Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context

¹⁵¹ Internet of Things for Sustainable Community Development: Wireless Communications, Sensing, and Systems

¹⁵² Application with internet of things technology in the municipal industrial wastewater treatment based on membrane bioreactor process

¹⁵³ Big data-enabled large-scale group decision making for circular economy: an emerging market context

¹⁵⁴ State-of-the-Art of Artificial Intelligence and Big Data Analytics Reviews in Five Different Domains: A Bibliometric Summary

Artificial Intelligence (AI) ¹⁵⁵ ¹⁵⁶ ¹⁵⁷	Visi Mesin, Pemrosesan Bahasa Alami (NLP), Pembelajaran Dalam (<i>Deep Learning</i>)	Pemilahan otomatis bahan daur ulang, Identifikasi limbah	Sistem visi mesin yang didukung AI, pemrosesan bahasa alami dan algoritma deep learning mengotomatiskan pemilahan bahan daur ulang, meningkatkan efisiensi, dan identifikasi material daur ulang dalam aliran limbah.	Jerman, Swedia
	Sistem Pemilahan Otomatis dengan <i>advanced</i> sensor	Pemilahan limbah	Menggunakan sensor untuk mengidentifikasi bahan dalam aliran limbah campuran dan menggunakannya untuk memilahnya berdasarkan kriteria yang telah ditentukan.	
Teknologi Blockchain ¹⁵⁸ ¹⁵⁹	Ledger Terdistribusi (DLT)	Pelacakan transparan aliran limbah	Teknologi blockchain dengan ledger terdistribusi memastikan pelacakan transparan dan jejak aliran limbah selama proses daur ulang	Estonia, Belanda

¹⁵⁵ Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review

¹⁵⁶ State-of-the-Art of Artificial Intelligence and Big Data Analytics Reviews in Five Different Domains: A Bibliometric Summary

¹⁵⁷ Analyzing the risks of adopting circular economy initiatives in manufacturing supply chains

¹⁵⁸ Blockchain with Artificial Intelligence to Efficiently Manage Water Use under Climate Change

¹⁵⁹ Digitizing water management: Toward the innovative use of blockchain technologies to address sustainability

Paspor Produk Digital ¹⁶⁰¹⁶¹¹⁶²	Pembelajaran Mesin	Pelacakan siklus hidup produk, Pengurangan limbah	Paspor digital melacak dan menelusuri produk sepanjang siklus hidupnya, membantu dalam pengurangan limbah dan pemulihan sumber daya.	Hainan
Robotika ¹⁶³	Lengan Robotik	Pemilahan limbah, Pembongkaran, Memisah antara bahan-bahan yang dapat didaur ulang dan bahan-bahan lainnya dari limbah yang tercampur	Robotika meningkatkan proses pemilahan dan pembongkaran limbah, meningkatkan efisiensi dan memperpanjang masa pakai peralatan.	
Drone ¹⁶⁴¹⁶⁵	Alat Pemetaan Udara	Pemantauan lokasi limbah, Deteksi tumpukan limbah ilegal	<i>Drone</i> dilengkapi dengan alat pemetaan udara memantau lokasi limbah dan mendeteksi tumpukan limbah ilegal, membantu dalam manajemen limbah dan perlindungan lingkungan.	Hainan

¹⁶⁰ Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues

¹⁶¹ The Potential of Digitalization to Promote a Circular Economy in the Water Sector

¹⁶² E-waste recycling behavior: an integration of recycling habits into the technology acceptance model and the theory of planned behavior

¹⁶³ Analyzing the risks of adopting circular economy initiatives in manufacturing supply chains

¹⁶⁴ From Illegal Waste Dumps to Beneficial Resources Using Drone Technology and Advanced Data Analysis Tools: A Feasibility Study

¹⁶⁵ Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study

Teknologi Spektroskopi Near-Infrared (NIR) ¹⁶⁶	Sensor NIR	Identifikasi material dalam limbah rumah tangga	Mengidentifikasi secara cepat dan akurat bahan-bahan dalam limbah rumah tangga berdasarkan komposisi kimianya.	Amerika Serikat, Jerman, Jepang
--	------------	---	--	---------------------------------

Dengan adopsi teknologi yang ada di tabel diatas, peluang untuk menciptakan lapangan kerja hijau semakin terbuka lebar. Implementasi teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan limbah, tetapi juga menciptakan permintaan baru untuk spesialis dalam bidang teknologi informasi dan rekayasa.

5.3.5 Regulasi yang Dipelajari dari Negara Lain

Tabel 5.9 Regulasi yang Dapat Dicontoh

Negara/Kota	Strategi Pengelolaan Limbah	Tindakan Khusus	Dampak Positif	Lessons Learned
Korea Selatan	Mengimplementasikan smart bins di tempat umum	<ul style="list-style-type: none"> Mewajibkan penduduk membayar untuk jumlah limbah yang dibuang oleh suatu tempat pemukiman Menggantikan tempat limbah umum dengan smart bins Menggunakan packaging yang mudah terurai di hampir setiap daerah 	<ul style="list-style-type: none"> Meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap jumlah limbah yang dihasilkan Meminimalkan pembuangan limbah di tempat umum untuk menghindari biaya tambahan Berhasil mengelola 95% limbah makanan di tahun 2022 	Pentingnya pengelolaan limbah yang inovatif dan berbasis teknologi dalam mengurangi jumlah limbah yang terbuang secara sembarangan dan meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap masalah lingkungan.

¹⁶⁶ The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper

Austria	Menganjur jenis limbah yang diperbolehkan masuk ke TPA	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki undang-undang yang ketat untuk mengatur jenis limbah yang diperbolehkan masuk ke TPA • Limbah yang memiliki tingkat emisi karbon organik diatas 5% tidak diperbolehkan masuk ke TPA dan didaur ulang sesuai dengan limbah yang dibuang. 	Meningkatkan tingkat skor daur ulang limbah sampai 54%	Regulasi yang ketat dari pemerintah pengelolaan dapat tingkat daur ulang dan meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan.
Singapura	Menerapkan insentif untuk pembuangan limbah	<ul style="list-style-type: none"> • Memberikan insentif kepada masyarakat yang membuang limbah elektronik pada tempatnya • Menyediakan pengelolaan alternatif untuk limbah yang dikumpulkan • Mengambil langkah preventif dengan memberikan denda sejumlah 300 SGD bagi yang membuang limbah sembarangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Mengurangi pembuangan limbah secara sembarangan • Mendorong masyarakat untuk membuang limbah elektronik pada tempat yang sesuai • Telah berhasil mengatasi limbahnya hanya dengan satu TPA. 	Penggunaan insentif dan langkah preventif dapat mendorong perilaku yang lebih bertanggung jawab dari masyarakat terkait pembuangan limbah. Dengan hanya menggunakan satu TPA, Singapura pentingnya infrastruktur pengelolaan Melalui pendekatan ini, telah Singapura memperlihatkan pentingnya masyarakat membuang dengan jawab.

Tionghoa	Pengomposan sebagai praktik umum di masyarakat	<ul style="list-style-type: none"> • Mendorong pengomposan sebagai praktik umum di masyarakat Tionghoa • Meningkatkan penggunaan kompos sebagai pupuk untuk pertanian dan taman 	<ul style="list-style-type: none"> • Mengurangi jumlah limbah organik yang masuk ke tempat pembuangan akhir yang bisa mencapai hanya 3% dari total komposisi limbah • Mengurangi dampak negatif pembuangan limbah organik terhadap lingkungan 	Pentingnya pengomposan sebagai praktik umum dan budaya mengurangi limbah organik terbuang dan creation serta value dalam jumlah yang dalam menciptakan pupuk yang berguna.
Hainan, China¹⁶⁷	Digitalisasi pengelolaan limbah	<ul style="list-style-type: none"> • Menghubungkan pasokan dan permintaan limbah secara digital • Pengurangan limbah akhir yang dibuang ke tempat pembuangan • Peningkatan tanggung jawab warga terhadap lingkungan 	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi kerjasama antara sektor swasta dan pemerintah, menciptakan lapangan kerja baru. • Kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan limbah meningkat. • Penyediaan informasi tentang pusat daur ulang limbah. 	Dukungan pemerintah, investasi sektor swasta, dan tenaga kerja terampil menjadi kunci keberhasilan. Namun, perbedaan sosial-budaya dan tata kelola memengaruhi kelangsungan inisiatif. Pentingnya keterlibatan masyarakat dan penyediaan informasi pusat daur ulang limbah menjadi poin penting yang harus diperhatikan dalam menerapkan model serupa di tempat lain.

¹⁶⁷ Kurniawan, T. A., Meidiana, C., Goh, H. H., Zhang, D., Othman, M. H., Aziz, F., Anouzla,

5.3.6 Rencana Aksi dan Rekomendasi

Skalabilitas lapangan kerja menjadi kunci untuk mencapai keberlanjutan strategi pembangunan lapangan kerja hijau di sektor limbah. Dalam konteks ini, skalabilitas merujuk pada kemampuan untuk menyesuaikan dan memperluas program-program pekerjaan hijau sesuai dengan pertumbuhan volume limbah dan kebutuhan infrastruktur yang terkait. Dalam skenario konservatif, di mana pertumbuhan *green jobs* terbatas oleh tantangan infrastruktur dan regulasi, skalabilitas menjadi isu kritis. Pembangunan situs pengelolaan limbah baru harus dipertimbangkan dengan memperhitungkan kapasitas yang dapat ditingkatkan seiring waktu untuk memastikan pemenuhan kebutuhan pekerjaan hijau yang terus berkembang. Dalam skenario optimis, pertumbuhan *green jobs* yang lebih stabil memberikan peluang untuk mengembangkan strategi yang lebih skalabel. Secara makro dan general, beberapa faktor dapat mendorong skalabilitas dalam pekerjaan hijau di sektor limbah;

- 1. Investasi dalam pengembangan infrastruktur:** Dengan adanya infrastruktur yang memadai, potensi untuk menciptakan lebih banyak lapangan kerja hijau akan meningkat karena ada permintaan yang lebih besar untuk tenaga kerja yang terampil dalam operasi dan pemeliharaan fasilitas.
- 2. Regulasi dan kebijakan:** Regulasi yang mendukung dan konsisten dapat memberikan kepastian kepada para investor dan pelaku industri untuk melakukan investasi jangka panjang dalam pengelolaan limbah. Dengan adanya kejelasan aturan, pelaku industri akan merasa lebih percaya diri untuk mengembangkan teknologi dan memperluas operasinya.
- 3. Pendekatan Masyarakat:** Melibatkan masyarakat dalam program pengelolaan limbah, seperti kampanye dan edukasi pembersihan lingkungan, pengurangan

A., Sarangi, P. K., Pasaribu, B., & Ali, I. (2024). Unlocking synergies between waste management and climate change mitigation to accelerate decarbonization through circular-economy digitalization in Indonesia. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 522–542. doi:10.1016/j.spc.2024.03.011

penggunaan plastik, dan pengelolaan limbah di tingkat rumah tangga, tidak hanya meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah, tetapi juga menciptakan lebih banyak peluang bagi masyarakat lokal untuk terlibat dalam pekerjaan hijau seperti pemilahan limbah dan kegiatan daur ulang.

- 4. Meningkatkan pendidikan dan pelatihan:** Investasi dalam pendidikan dan pelatihan akan meningkatkan kualifikasi dan menutup skill gap yang ada di sektor limbah. Pelatihan tentang teknologi pengelolaan limbah terkini, praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan, dan manajemen risiko lingkungan akan memberikan tenaga kerja dengan keterampilan yang relevan dan dibutuhkan untuk berkontribusi dalam upaya pengelolaan limbah yang efektif dan berkelanjutan serta teknologi limbah yang baru.

BAB VI

Aksi Lanjutan Transformasi Green Jobs

6.1 Action Plan Peta Jalan Perkembangan Green Jobs Indonesia Sampai Dengan 2045

Bab ini menguraikan tindakan kebijakan khusus yang dapat diambil oleh pemerintah Indonesia untuk mempercepat pengembangan ekosistem pekerjaan hijau yang kuat, dengan mengintegrasikan referensi sukses dari negara-negara yang telah memimpin inisiatif serupa.

6.1.1 Action Plan secara Umum

1. Memperluas Insentif untuk Pekerjaan Hijau

- **Tujuan:** Meningkatkan daya tarik dan keberlanjutan pekerjaan hijau.
- **Tindakan:** Menetapkan kerangka insentif yang kuat untuk mempromosikan penciptaan dan pemertahanan pekerjaan hijau.
- **Implementasi:** Membuat insentif finansial seperti subsidi upah bagi pengusaha yang menawarkan pekerjaan hijau.
- **Referensi:** Inisiatif **EcoEnergy** di Kanada memberikan insentif finansial bagi bisnis dan individu yang berinvestasi dalam efisiensi energi dan sumber energi terbarukan.¹⁶⁸
- **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah:** Menyediakan pendanaan, mengembangkan pedoman kebijakan, dan mendukung

¹⁶⁸ ‘ecoENERGY for renewable power – Canada Govt’, access 14 April 2024, <https://natural-resources.canada.ca/nrcan/ecoenergy-renewable-power/14145>

penelitian melalui institusi.

- **Lembaga Penelitian dan Akademik:** Melakukan penelitian dan pengembangan dasar dalam berbagai teknologi energi ramah lingkungan, menilai kelayakannya dan mengoptimalkan penerapannya.
- **Industri dan Korporasi:** Terlibat dalam pengembangan dan demonstrasi teknologi energi bersih yang inovatif, berupaya menuju komersialisasi dan integrasi ke pasar.
- **Kelompok Masyarakat:** Berpartisipasi dalam proyek yang mengeksplorasi potensi produksi energi lokal yang ramah lingkungan, yang dapat memberikan pertumbuhan industri yang berkelanjutan, menciptakan lapangan kerja, dan menawarkan peluang bisnis baru, khususnya di daerah terpencil atau kurang terlayani.

2. Memperkuat Pelatihan Tenaga Kerja Hijau

- **Tujuan:** Membangun tenaga kerja hijau yang kompeten untuk mendukung ekonomi hijau yang berkembang.
- **Tindakan:** Perluas program pelatihan untuk mengubah keterampilan dan meningkatkan keterampilan pekerja yang sudah ada agar sesuai dengan tuntutan ekonomi hijau.
- **Implementasi:**
 - Berkolaborasi dengan universitas dan sekolah kejuruan untuk mengintegrasikan keterampilan hijau ke dalam kurikulum dan meluncurkan standar sertifikasi nasional untuk pekerjaan hijau.
 - Mendirikan Dana Khusus untuk Pusat Pelatihan Hijau di Setiap Kepulauan di Indonesia: Ini akan memastikan adanya fasilitas pelatihan yang fokus pada keberlanjutan di seluruh wilayah Indonesia.
 - Mensubsidi Biaya Kuliah untuk Program Terkait Hijau dan Sertifikasi Profesional: Dukungan finansial ini akan mendorong lebih banyak individu untuk mengikuti pelatihan di bidang hijau.
 - Kolaborasi dengan Pemimpin Industri dan Sektor Swasta: Hal ini penting untuk memastikan program pelatihan sejalan dengan kebutuhan pasar.

- **Referensi:**
 - Inisiatif **SkillsFuture** di Singapura menawarkan pendanaan dan dukungan substansial bagi warga negara untuk memperoleh keterampilan baru yang relevan dengan kebutuhan masa depan, termasuk keterampilan hijau.¹⁶⁹
 - Inisiatif pelatihan **Energiewende** di Jerman yang dikelola oleh pemerintah dan menawarkan program pelatihan dan sertifikasi yang komprehensif untuk mengisi kesenjangan dalam tenaga kerja hijau.
- **Key stakeholders:**
 - **Individu Berbagi Tahap Kehidupan:** Memberdayakan warga dari semua lapisan usia untuk mengembangkan potensi mereka melalui pembelajaran seumur hidup dan penguasaan keterampilan
 - **Pengusaha dan Perusahaan:** Mendorong investasi dalam pengembangan keterampilan karyawan melalui skema seperti Kredit Usaha.
 - **Penyedia Pendidikan dan Pelatihan:** Mengembangkan jaringan institusi dan penyedia pelatihan yang mendukung pengembangan keterampilan melalui sumber daya dan berbagai *platform*.
 - **Pemerintah:** Mengkoordinasikan pelaksanaan inisiatif ini dan mempromosikan budaya pembelajaran seumur hidup, bekerja sama dengan dewan dan lembaga pemerintah lainnya untuk menyelaraskan pengembangan keterampilan dengan strategi ekonomi nasional

3. Pengembangan Pusat Penelitian Hijau

- **Tujuan:** Memimpin inovasi dan pengembangan dalam teknologi hijau dan praktik berkelanjutan.
- **Tindakan:** Mendirikan pusat penelitian khusus yang berfokus pada teknologi hijau dan praktik berkelanjutan.
- **Implementasi:**

¹⁶⁹ “Skills future – Singapore Govt”, accessed April 14, 2024, <https://www.skillsfuture.gov.sg/>

- Mengalokasikan pendanaan pemerintah yang signifikan untuk penelitian dalam teknologi hijau dan memfasilitasi kemitraan publik-swasta untuk mendanai dan mengelola pusat-pusat ini.
 - Peningkatan Pengeluaran R&D untuk Topik Hijau Tertentu dan Kampus Penelitian: Ini akan memperkuat penelitian di bidang keberlanjutan.
 - Mendorong Kolaborasi Penelitian Internasional dalam Teknologi Transisi Hijau: Kerjasama dengan lembaga internasional akan memperkaya pengetahuan dan teknologi hijau.
 - Mendorong Investasi Sektor Swasta dalam R&D Teknologi Hijau: Dukungan finansial dari sektor swasta akan mempercepat inovasi teknologi hijau.
- **Referensi:** Pusat Teknologi Hijau di Korea Selatan menyediakan platform untuk penelitian dan pengembangan dalam teknologi hijau, didukung oleh pendanaan dari pemerintah dan sektor swasta.¹⁷⁰
- **Key Stakeholders:**
- **Pemerintah:** Bertanggung jawab mengalokasikan pendanaan untuk penelitian teknologi hijau dan memfasilitasi pembentukan kemitraan publik-swasta untuk mendanai dan mengelola pusat penelitian ini, memastikan ketersediaan sumber daya untuk inovasi.
 - **Industri dan Perusahaan Swasta:** Berperan dalam menyediakan investasi finansial untuk R&D teknologi hijau, memanfaatkan insentif pemerintah untuk berpartisipasi dalam inovasi berkelanjutan dan mengembangkan solusi teknologi hijau baru.
 - **Institusi Penelitian dan Universitas:** Dengan meningkatkan pengeluaran R&D untuk topik hijau tertentu dan membangun kampus penelitian yang berfokus pada keberlanjutan, institusi ini memperkuat basis pengetahuan dan inovasi dalam teknologi hijau.

¹⁷⁰ “- Green Technology Center-Korea (GTCK) - NST 영문 홈페이지,” accessed April 13, 2024, <https://www.nst.re.kr/eng/contents.do?key=155>.

- **Lembaga Internasional dan Mitra Penelitian Luar Negeri:** Mendorong kolaborasi penelitian internasional dalam teknologi transisi hijau, berbagi wawasan, pengetahuan, dan teknologi terbaru untuk mempercepat kemajuan global dalam inovasi hijau.
- **Asosiasi Industri dan Kelompok Kepentingan:** Berperan sebagai jembatan antara pemerintah, industri, dan komunitas penelitian, memfasilitasi dialog dan kerjasama yang lebih baik antara berbagai pemangku kepentingan untuk mengarahkan fokus dan sumber daya ke arah yang paling berdampak.

4. Menerapkan Standar Pendidikan Hijau

- **Tujuan:** Mengintegrasikan keterampilan dan pengetahuan pekerjaan hijau ke dalam sistem pendidikan nasional.
- **Tindakan:** Merevisi program pendidikan untuk mencakup komponen yang penting bagi pekerjaan hijau masa depan.
- **Implementasi:**
 - Mengembangkan Mata Kuliah Khusus di Universitas yang fokus pada keterampilan yang dibutuhkan di ekosistem hijau Indonesia, seperti energi terbarukan, pertanian berkelanjutan, dan manufaktur ramah lingkungan.
 - Mengenalkan Konsep Keberlanjutan Sejak Usia Dini melalui pendidikan tentang keberlanjutan harus menjadi bagian inti dari kurikulum sekolah, mulai dari tingkat dasar.
 - Kerjasama dengan Lembaga Pendidikan Swasta dengan membentuk program magang dan kerja sama dengan sektor swasta dan badan usaha milik negara yang bergerak di bidang hijau.
- **Referensi:** Sistem pendidikan Finlandia mengintegrasikan keberlanjutan di semua tingkatan pendidikan, menciptakan pemahaman dasar tentang prinsip-prinsip hijau sejak usia dini.¹⁷¹

¹⁷¹ “Opetushallitus,” accessed April 13, 2024, <https://www.oph.fi/fi>.

- **Key Stakeholders:**
 - **Universitas dan Institusi Pendidikan Tinggi:** Mengembangkan dan menawarkan mata kuliah yang berfokus pada keterampilan untuk ekosistem hijau, seperti energi terbarukan, pertanian berkelanjutan, dan manufaktur ramah lingkungan, untuk mempersiapkan mahasiswa dengan keahlian yang dibutuhkan di masa depan.
 - **Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan:** Menyusun dan mengintegrasikan konsep keberlanjutan ke dalam kurikulum sekolah dari tingkat dasar hingga menengah, memastikan bahwa semua siswa mendapatkan pendidikan tentang pentingnya keberlanjutan sejak usia dini.
 - **Sekolah Dasar dan Menengah:** Mengimplementasikan kurikulum yang telah disusun oleh kementerian, menyelenggarakan program-program pendidikan yang mempromosikan keberlanjutan lingkungan, dan mengajarkan nilai-nilai tersebut kepada siswa.
 - **Lembaga Pendidikan Swasta dan Sektor Swasta:** Bekerjasama dalam membentuk program magang dan pelatihan yang menghubungkan siswa dengan industri hijau, baik itu perusahaan swasta maupun badan usaha milik negara yang bergerak di bidang energi terbarukan, pertanian berkelanjutan, dan lain-lain.
 - **Organisasi Lingkungan dan NGO:** Memberikan sumber daya, pelatihan, dan dukungan untuk sekolah dan universitas dalam mengembangkan dan mengimplementasikan program pendidikan hijau, serta berperan dalam meningkatkan kesadaran tentang pentingnya pendidikan keberlanjutan.
 - **Komunitas dan Orang Tua:** Mendukung inisiatif pendidikan hijau melalui partisipasi aktif dalam kegiatan sekolah dan komunitas yang berfokus pada keberlanjutan, serta memperkuat pendidikan lingkungan di rumah.

5. Mendorong Diaspora untuk Membangun Industri Hijau di Tanah Air

- **Tujuan:** Mempelajari dan memanfaatkan pengetahuan dari diaspora dan mahasiswa asing yang memiliki keahlian di industri hijau di luar negeri.
- **Tindakan:** Pemerintah perlu memberikan insentif yang jelas agar diaspora berkontribusi dalam mentransfer pengetahuan mereka ke Indonesia.
- **Implementasi:**
 - Program *Engagement* dengan Diaspora Indonesia melalui konferensi, webinar, dan lokakarya yang terintegrasi dalam kurikulum pendidikan nasional, kita dapat melibatkan diaspora dalam memajukan ekonomi hijau Indonesia. Penghargaan khusus dapat diberikan kepada anggota diaspora yang berkontribusi signifikan.
 - Insentif Fiskal dan Non-Fiskal dengan memberikan insentif berupa pembebasan pajak atau hibah administratif bagi diaspora atau mahasiswa asing yang berinvestasi, mengajar, atau membangun teknologi dan perusahaan hijau di Indonesia.
 - Dukungan untuk Proyek Penelitian Bersama dengan mendorong kolaborasi antara ilmuwan atau sarjana diaspora dengan lembaga penelitian Indonesia.
- **Referensi:** Indonesia dapat mengambil contoh dari Irlandia yang telah berhasil memanfaatkan pengetahuan diaspora untuk memajukan sektor hijau.¹⁷²
- **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Indonesia dan Kedutaan Besar:** Mengadakan program *engagement* yang menargetkan diaspora melalui konferensi, webinar, dan lokakarya yang berhubungan dengan pengembangan ekonomi hijau. Pemerintah juga bisa memberikan penghargaan khusus untuk menghargai kontribusi diaspora.
 - **Kementerian Keuangan dan Lembaga Terkait:**

¹⁷² “Global Irish - Department of Foreign Affairs,” accessed April 13, 2024, <https://www.dfa.ie/global-irish/>.

Menyusun dan menyediakan insentif fiskal seperti pembebasan pajak dan insentif non-fiskal seperti hibah administratif bagi diaspora atau mahasiswa asing yang ingin berinvestasi atau berkontribusi pada sektor hijau di Indonesia.

- **Institusi Pendidikan dan Lembaga Penelitian:** Berperan dalam melibatkan diaspora dalam proyek penelitian bersama atau sebagai pengajar dalam kurikulum yang terkait dengan industri hijau, memperkaya pengalaman belajar dengan perspektif global.
- **Asosiasi Diaspora:** Berfungsi sebagai penghubung antara diaspora dengan peluang di Indonesia, mendukung diaspora dalam mengakses informasi tentang cara berkontribusi atau berinvestasi dalam industri hijau.
- **Sektor Swasta dan Industri Hijau:** Membuka peluang kerjasama dan investasi bagi diaspora yang ingin membawa inovasi atau teknologi hijau ke Indonesia, serta mendukung implementasi proyek yang berkelanjutan.
- **Komunitas dan Organisasi Non-Pemerintah:** Memberikan dukungan dan advokasi untuk memastikan keberlanjutan proyek dan investasi yang dilakukan oleh diaspora, memastikan bahwa kegiatan tersebut memberikan manfaat yang luas bagi masyarakat dan lingkungan.

Dengan menggabungkan tindakan kebijakan ini dengan contoh-contoh dari negara-negara yang telah berhasil mengembangkan sektor pekerjaan hijau, Indonesia dapat efektif memajukan ekosistem pekerjaan hijau yang berkelanjutan dan ekonomis. Strategi ini tidak hanya mendukung tujuan lingkungan, tetapi juga merangsang pertumbuhan ekonomi dan penciptaan lapangan kerja di sektor-sektor yang sedang berkembang.

6.1.2 Action Plan Sektor Energi

1. Pengembangan Industri Alat Energi Domestik

- **Tujuan:** Mengurangi ketergantungan impor dan meningkatkan kapasitas produksi domestik dalam industri alat energi.
- **Tindakan:** Mendorong investasi di sektor manufaktur alat energi melalui insentif fiskal dan non-fiskal.
- **Implementasi**
 - Pemerintah dapat menawarkan sejumlah insentif pajak, seperti potongan pajak, kredit pajak, atau pengecualian pajak, yang ditujukan untuk mengurangi beban fiskal perusahaan yang berpartisipasi dalam aktivitas R&D dan produksi alat energi domestik.
 - Pendirian Kawasan Industri Energi melibatkan pembangunan kawasan industri yang khusus dirancang untuk memenuhi kebutuhan industri manufaktur energi, dilengkapi dengan infrastruktur pendukung dan fasilitas logistik yang memadai.
- **Referensi:** China¹⁷³ telah sukses mengurangi ketergantungan pada impor dengan membangun industri manufaktur panel surya yang kuat dan mandiri.
- **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Indonesia:** Dapat menetapkan dan mengimplementasikan kebijakan insentif untuk menarik investor.
 - **Investor Domestik dan Asing:** Dapat memanfaatkan insentif untuk membangun atau memperluas pabrik manufaktur di Indonesia.

2. Pengembangan dan Adopsi Standar Nasional untuk Peralatan Energi

- **Tujuan:** Meningkatkan kualitas dan standar peralatan energi yang diproduksi di dalam negeri untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik dan ekspor.
- **Tindakan:** Menetapkan dan menerapkan standar nasional yang ketat untuk peralatan energi yang diproduksi lokal.

¹⁷³ <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains/executive-summary>

- **Implementasi**
 - Program “Standar Energi Nasional” bertujuan untuk membentuk badan standar nasional yang bekerja secara aktif dengan perusahaan-perusahaan di industri energi untuk mengembangkan dan memperbarui standar yang sesuai dengan kebutuhan dan tantangan industri saat ini dan masa depan.
 - Program “Inspeksi Energi Berkualitas” dirancang untuk melakukan sertifikasi dan inspeksi rutin terhadap peralatan energi untuk memastikan bahwa semua produk memenuhi atau melampaui standar yang telah ditetapkan.
- **Referensi:** Amerika Serikat¹⁷⁴ telah berhasil mengimplementasikan standar ketat yang meningkatkan kualitas dan keamanan produk energi, termasuk penyimpanan energi dalam bioteknologi dan teknologi hidrogen.
- **Key Stakeholders:**
 - Pemerintah Indonesia: Dapat membentuk dan mengatur badan standar untuk menetapkan norma-norma tersebut.
 - Produsen Peralatan Energi: Harus mengikuti standar untuk memastikan produk mereka kompetitif secara global.

3. Program Transisi Karir untuk Pekerja Migas

- **Tujuan:** Memfasilitasi transisi pekerja sektor migas ke sektor energi baru terbarukan, dengan memanfaatkan keahlian yang mereka miliki.
- **Tindakan:** Menyediakan pelatihan ulang dan kursus sertifikasi yang memungkinkan pekerja migas untuk memenuhi persyaratan pekerjaan di sektor EBT.
- **Implementasi**
 - Mengadakan sesi informasi dan penyuluhan di

¹⁷⁴ <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2023/05/04/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-national-standards-strategy-for-critical-and-emerging-technology/>

komunitas dengan populasi pekerja migas yang tinggi, untuk meningkatkan kesadaran dan memahami peluang di sektor energi baru terbarukan (EBT).

- Membuka akademi pelatihan yang menawarkan kursus khusus untuk teknik konstruksi dan instalasi EBT, disesuaikan untuk memanfaatkan keahlian teknis pekerja migas.
- Mengadakan *Certification of Renewable Skills*, program sertifikasi untuk mengakui dan menstandarisasi keahlian baru yang didapat pekerja migas dalam konteks EBT.
- **Referensi:** Norwegia¹⁷⁵ telah mengimplementasikan program serupa untuk membantu pekerja migas beralih ke industri energi terbarukan.
- **Key Stakeholders:**
 - **Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia:** Dapat mendanai dan mengkoordinasikan pelatihan dan sertifikasi.
 - **Perusahaan Migas dan EBT:** Dapat berkolaborasi dalam menyediakan pelatihan dan peluang pekerjaan.

4. Program Pengembangan Inovasi IT di Sektor Energi

- **Tujuan:** Mendorong inovasi dan pengembangan teknologi baru di persimpangan AI, IoT, dan energi.
- **Tindakan:** Mendukung proyek riset dan pengembangan yang menargetkan solusi IT untuk tantangan industri energi.
- **Implementasi**
 - *Innovation Grants for Energy IT* akan menjadi program yang menyediakan dana hibah untuk startup dan peneliti yang fokus pada pengembangan solusi berbasis AI dan IoT untuk sektor energi.
 - Program *Tech Incubators and Accelerators* akan membangun inkubator dan akselerator yang fokus pada teknologi energi, menyediakan sumber daya, mentorship, dan akses ke jaringan industri.

¹⁷⁵ <https://www.ogv.energy/news-item/plans-to-allow-oil-and-gas-workers-to-transfer-to-renewable-energy-jobs>

- **Referensi:** Israel¹⁷⁶ dan Singapura¹⁷⁷ telah mendirikan ekosistem yang kuat untuk mendukung inovasi teknologi di sektor energi.
- **Key Stakeholders:**
 - **Badan Riset dan Inovasi Nasional Indonesia:** Dapat mengelola dan mendistribusikan dana hibah.
 - **Universitas dan Lembaga Penelitian:** Dapat berkolaborasi dalam penelitian dan pengembangan proyek teknologi energi.

6.1.3 Action Plan Sektor Pangan dan Agrikultur

1. Meningkatkan Pemanfaatan Teknologi dalam Setiap Proses Pertanian

- **Tujuan:** Meningkatkan produktivitas dan efisiensi pertanian agar tidak bergantung pada pekerjaan manual. Terlebih, memperbaiki kualitas hasil panen sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan petani dan menerapkan pertanian berkelanjutan serta lebih ramah lingkungan.
- **Tindakan:** Memberi pendidikan, insentif, dan infrastruktur pendukung pada petani untuk menggunakan teknologi pertanian.
- **Implementasi**
 - Pembentukan tim khusus untuk pelaksanaan program mekanisasi pertanian. Termasuk dalam sosialisasi cara penggunaan, infrastruktur yang digunakan, serta rencana *monitoring* dan perawatan.
 - Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga riset untuk pengembangan teknologi pertanian.
 - *Pilot project* di beberapa wilayah untuk menguji dan mengadaptasi teknologi pertanian baru sebelum diduplikasi secara luas.

¹⁷⁶ https://www2.deloitte.com/il/en/pages/innovation/article/the_israeli_technological_eco-system.html

¹⁷⁷ <https://www.enterprisesg.gov.sg/grow-your-business/innovate-with-us/market-access-and-networks/global-innovation-alliance/cip/singapore-israel-industrial-rd-programme>

- Penerapan regulasi dan standar kualitas untuk memastikan teknologi yang digunakan aman dan efektif.
 - **Referensi:** Program *Sub-mission On Agriculture Mechanization (SMAM)* di India yang dicanangkan oleh Kementerian Pertanian dan Kesejahteraan Petani¹⁷⁸. Melakukan *performance testing* untuk alat-alat pertanian dan subsidi finansial dari pemerintah sebesar 60% hingga 100% sesuai pembagian daerah.
 - **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Pusat:** Menyediakan anggaran, regulasi, dan kebijakan pendukung.
 - **Pemerintah Daerah:** Pelaksanaan program di tingkat lokal dan mendukung petani di daerah agar lebih tepat guna sesuai profil daerah.
 - **Industri Swasta:** Produsen peralatan dan mesin pertanian, penyedia teknologi, dan investor.
 - Lembaga Pendidikan dan Penelitian:** Menyediakan pengetahuan dan riset terbaru tentang teknologi pertanian agar terus terbaru.
- 2. Peningkatkan Infrastruktur dan Akses Pasar untuk Memaksimalkan Distribusi Dalam Negeri**
- **Tujuan:** Memastikan distribusi pangan dan produk pertanian mencapai seluruh wilayah Indonesia dengan cepat, efisien, dan merata serta meningkatkan akses pasar khususnya di daerah terpencil dan sulit dijangkau.
 - **Tindakan:** Membangun dan memperkuat infrastruktur transportasi dan logistik pertanian, perluasan jaringan pasar, serta adopsi teknologi informasi untuk manajemen rantai pasokan dan distribusi yang lebih baik.
 - **Implementasi**
 - Infrastruktur:
 - Membangun jalan raya, jembatan, dan sarana transportasi lainnya yang menghubungkan daerah produsen dengan pasar-pasar besar.

¹⁷⁸ Ministry Of Agriculture and Farmers Welfare

- Mengembangkan gudang penyimpanan dan fasilitas pendinginan untuk menjaga kualitas produk selama distribusi.
- Akses Pasar:
- Membentuk koperasi atau kelompok tani untuk memudahkan akses pasar dan negosiasi harga.
- Membangun pasar tradisional dan modern di daerah-daerah strategis.
- Memanfaatkan *platform* digital untuk menghubungkan petani dengan pembeli dan distributor.
- **Referensi:** Vietnam memiliki pusat penelitian pertanian di setiap radius 20 km yang dilengkapi dengan alat dan mesin pertanian sehingga meningkatkan efisiensi produksi dan distribusi produk pertanian.
- **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Pusat dan Daerah:** Bertanggung jawab atas pembangunan infrastruktur, regulasi, dan kebijakan yang mendukung.
 - **Industri Logistik dan Transportasi:** Menyediakan solusi transportasi dan distribusi yang efisien.
 - **Swasta dan Investor:** Berperan dalam pengembangan infrastruktur dan teknologi pendukung.
- 3. **Diversifikasi Tanaman dan Usaha untuk Meningkatkan Nilai Tambah Produksi**
 - **Tujuan:** Meningkatkan ketahanan pangan nasional dengan mengurangi ketergantungan pada satu jenis tanaman dan memberi nilai tambah produk pertanian melalui diversifikasi dan pengolahan berkelanjutan
 - **Tindakan:** Mengidentifikasi jenis tanaman yang potensial dan mengembangkan inovasi dalam pengolahan produk pertanian.
 - **Implementasi**
 - Melakukan penelitian untuk menentukan jenis tanaman yang cocok di berbagai daerah berdasarkan kondisi tanah dan iklim.
 - Mengembangkan varietas unggul atau tanaman hibrida

- yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan adaptasi baik terhadap kondisi lingkungan.
- Mengintegrasikan pelatihan dalam manajemen usaha pertanian dan pemasaran hasil produk diversifikasi.
 - **Referensi:** Program diversifikasi pertanian di Brazil yang berfokus pada produksi biofuel, jagung, kedelai, dan daging sapi berhasil mengurangi ketergantungan pada komoditas tertentu dan meningkatkan kesejahteraan petani.
 - **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Pusat dan Daerah:** Bertanggung jawab atas pembangunan infrastruktur, regulasi, dan kebijakan yang mendukung diversifikasi tanaman.
 - **Petani dan Kelompok Tani:** Sebagai pelaku utama dalam implementasi diversifikasi tanaman dan usaha.
 - **Industri Pengolahan:** Mengolah hasil diversifikasi menjadi produk dengan nilai tambah tinggi.
 - **Peneliti dan Akademisi:** Memberikan pengetahuan dan teknologi dalam diversifikasi tanaman pada petani.

6.1.4 Action Plan Sektor Industri

1. **Pengembangan dan Implementasi Standar Kompetensi Pekerjaan Hijau pada Sektor Industrial**
 - **Tujuan:** Meningkatkan kualifikasi dan keterampilan pekerja dalam sektor industrial untuk mendukung praktik manufaktur yang berbasis keberlanjutan dan mengikuti standar hijau yang telah ditetapkan.
 - **Tindakan:**
 - Membentuk regulasi dan kebijakan yang mendukung praktik industri yang lebih hijau dan berbasis keberlanjutan.
 - Menjaga konsistensi dan kesesuaian standar kompetensi dengan praktik industri hijau.
 - **Implementasi**
 - Penetapan standar kompetensi hijau sesuai dengan perkembangan industri hijau yang wajib untuk dipatuhi pelaku bisnis di sektor industrial.

- Menyediakan fasilitas pelatihan dan pengujian, serta memberikan insentif bagi pekerja untuk mendorong pengambilan sertifikasi yang berhubungan dengan praktik industrial yang lebih hijau.
- Pembentukan komite pengawas yang bertanggung jawab untuk mengawasi implementasi pelaku industri terhadap pemenuhan standar kompetensi hijau.
- **Referensi:**
 - Uni Eropa (UE) membentuk komite dan organisasi untuk mengawasi proses standardisasi di industri manufaktur demi kepatuhan terhadap standar lingkungan. Badan seperti Badan Standardisasi Eropa (CEN) dan CENELEC menangani standarisasi lanjutan melalui platform STAIR, yang mendukung inovasi dan riset. Layanan Komisi bekerja sama dengan organisasi standardisasi untuk mengatasi kesenjangan standardisasi dan memastikan industri manufaktur UE menuju praktik yang lebih berkelanjutan.¹⁷⁹
- **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Indonesia:** Membentuk regulasi dan kebijakan, serta menjaga konsistensi standar kompetensi hijau.
 - **Industri Manufaktur:** Mematuhi standar kompetensi hijau dan menyediakan pelatihan untuk karyawan.
 - **Tenaga Kerja:** Mengikuti pelatihan dan memperoleh sertifikasi untuk mendukung praktik industri hijau.
 - **Komite Pengawas:** Mengawasi implementasi standar dan berperan sebagai mediator antara pemerintah, industri, dan pekerja.

¹⁷⁹ CENELEC. (2023). Standards in support of the European Green Deal Commitments. Retrieved from <https://www.cenelec.eu/media/CEN-CENELEC/Areas%20of%20Work/CENELEC%20sectors/Accumulators,%20Primary%20cells%20and%20Primary%20Batteries/Documents/standardsinsupporteuropeangreendealcommitments.pdf>

2. Pembangunan kapasitas dan kapabilitas infrastruktur melalui pendatangan Investasi Asing (FDI) dalam sektor manufaktur dan penambangan Tujuan:

- **Tindakan:** Meningkatkan penanaman modal asing terutama dalam pembangunan infrastruktur dan teknologi di sektor industrial untuk mendukung pertumbuhan ekonomi, penciptaan lapangan kerja, dan peningkatan daya saing Indonesia di pasar global.
- **Implementasi**
 - Mendorong investasi asing langsung (FDI) dalam infrastruktur manufaktur dan penambangan melalui insentif pajak, kebijakan investasi yang menguntungkan, dan kemudahan dalam proses perizinan.
 - Menyusun rencana strategis untuk pengembangan infrastruktur yang memprioritaskan sektor manufaktur dan penambangan berdasarkan analisis kebutuhan, potensi pertumbuhan, dan kebijakan pemerintah.
 - Melakukan kerja sama dengan pemerintah daerah, badan investasi, dan lembaga keuangan untuk memfasilitasi penanaman modal, pembiayaan, dan pengelolaan proyek infrastruktur.
- **Referensi:**
 - Kebijakan India mendorong investasi untuk manufaktur kendaraan listrik (EV) dengan menawarkan insentif seperti keringanan pajak dan penurunan tarif impor pada EV tertentu yang hanya dapat didapatkan apabila produsen berkomitmen untuk melakukan proses manufaktur secara lokal dan menginvestasikan batas minimum yang telah ditetapkan oleh pemerintah.¹⁸⁰
 - Kebijakan Tiongkok untuk memberikan berbagai insentif seperti keringanan pajak dan subsidi harga ke berbagai pihak, termasuk produsen asing, konsumen

¹⁸⁰ Kongsbruck, A. (2024, March 19). India EV policy to encourage local production of premium electric cars: Audi official. The Economic Times. <https://economictimes.indiatimes.com/industry/renewables/india-ev-policy-to-encourage-local-production-of-premium-electric-cars-audi-official/articleshow/108625345.cms?from=mdr>

lokal, kendaraan umum, dan berbagai pihak lainnya.¹⁸¹

o **Key Stakeholders:**

- **Pemerintah Indonesia:** Menyusun kebijakan investasi, memberikan insentif, dan mengawasi implementasi rencana investasi asing (FDI).
- **Badan Investasi dan Lembaga Keuangan:** Bergerak dengan pemerintah pusat untuk mendorong masuknya investasi asing dan menyediakan pembiayaan, serta dukungan finansial bagi pengembangan kapasitas dan kapabilitas fasilitas industrial di Indonesia.
- **Pelaku industri Manufaktur dan Penambangan:** Menjadi perpanjangan tangan dari pemerintah untuk mejalin kerja sama dan melakukan transfer teknologi dan pembangunan infrastruktur industrial berteknologi tinggi.
- **Masyarakat dan Komunitas Lokal:** Memantau pengembangan investasi pembangunan dan menjadi bagian dari tenaga kerja yang akan diberdayakan melalui proses operasional di lingkungan tersebut.

3. **Meningkatkan Kualitas dan Kuantitas dari fasilitas Energi Hijau dan CCUS, terutama dari Segi Kemampuan Tenaga Kerja**

- o **Tujuan:** Meningkatkan kualitas dan kuantitas fasilitas energi hijau dan CCUS, terutama dalam hal kemampuan tenaga kerja.
- o **Tindakan:**
- o **Implementasi**
 - Peningkatan program pelatihan dan standar kualifikasi melalui sertifikasi tenaga kerja untuk mendorong peningkatan kemampuan dalam teknologi energi hijau dan CCUS.
 - Promosi penelitian dan pengembangan teknologi baru untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas fasilitas energi hijau dan CCUS.
 - Pemberian insentif terhadap pelaku industri yang

¹⁸¹ China Dialogue. (2024, March 29). Life after subsidies for China's EVs. Retrieved from <https://chinadialogue.net/en/business/life-after-subsidies-for-chinas-evs/>

mengemisikan karbon dalam jumlah rendah melalui mekanisme perdagangan bursa karbon sesuai dengan batas karbon untuk setiap sektor yang telah ditetapkan.

○ **Referensi:**

- Undang-undang *Net Zero Industry Act* dari Komisi Eropa bertujuan memperkuat ekosistem manufaktur teknologi net-zero di Eropa dengan produksi dalam negeri setidaknya 40% teknologi energi ramah lingkungan pada 2030. Kebijakan ini menetapkan CCUS sebagai teknologi strategis, mendorong peningkatan kapasitas produksi CCUS untuk mencapai tujuan iklim UE. Produsen minyak dan gas juga diminta berkontribusi pada target injeksi CO₂ tahunan 50 juta ton pada 2030.¹⁸²

○ **Key Stakeholders:**

- **Pemerintah:** Menyediakan dukungan kebijakan, regulasi, dan dana untuk memfasilitasi program pelatihan serta mempromosikan inovasi dalam sektor energi hijau dan CCUS.
- **Lembaga Pendidikan:** Bertanggung jawab untuk menyediakan kurikulum dan program pelatihan yang sesuai dengan kebutuhan industri serta melaksanakan penelitian terkait.
- **Pelaku Industri:** Berperan dalam adopsi praktik manufaktur yang dilengkapi dengan teknologi energi hijau dan CCUS untuk mendorong praktik industrial yang berkelanjutan.
- **Masyarakat:** Berperan dalam mendukung program pelatihan dan menjadi bagian dari tenaga kerja berkualitas yang akan diperlukan dalam industri industrial yang berbasis keberlanjutan.

6.1.5 Action Plan Sektor Pengolahan Limbah

1. Peningkatan Infrastruktur Pengelolaan Limbah

- **Tujuan:** Memastikan kapasitas serta efisiensi infrastruktur

¹⁸² International Energy Agency (IEA). (2023, March 29). Net Zero Industry Act: CCUS – Policies - IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/policies/17545-net-zero-industry-act-ccus>

pengelolaan limbah dalam mendukung perkembangan green jobs serta memastikan keberlanjutan dalam pengelolaan limbah.

- **Tindakan:** Membangun, mengembangkan, serta meningkatkan kualitas infrastruktur pengelolaan limbah dengan teknologi digital dan mekanikal untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan keberlanjutan pengelolaan limbah.
- **Implementasi**
 - Pembuatan rencana strategis mengenai pembangunan dan peningkatan kualitas fasilitas pengelolaan limbah baru maupun fasilitas yang sudah ada.
 - Pengembangan lingkungan digital yang terintegrasi untuk fasilitas-fasilitas pengelolaan limbah di daerah yang sama. Lingkungan digital berperan untuk mengatur lingkup daerah dan jenis limbah yang akan dikelola antar fasilitas di daerah yang sama, proses pengangkutan limbah dan jadwal pengantaran limbah ke fasilitas, serta mencatat data terkait pengelolaan limbah untuk masing-masing fasilitas.
 - Pelatihan intensif bagi tenaga kerja di sektor pengelolaan limbah mengenai praktik keberlanjutan. Pelatihan meliputi penerapan teknologi mekanikal dan digital, serta pemahaman sistem pengelolaan limbah secara keseluruhan.
- **Referensi:** Indonesia dapat berkaca kepada negara Jerman yang telah menerapkan teknologi-teknologi keberlanjutan terbaru dan membuat infrastruktur pengelolaan limbah yang efisien¹⁸³.
- **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Daerah dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan:** Bertanggung jawab dalam perencanaan, pembuatan kebijakan, dan pengawasan implementasi strategis dalam pengelolaan limbah serta memastikan kualitas dan keberlanjutan pada masing-masing fasilitas.

¹⁸³ Waste Management in Germany – Development to a Sustainable Circular Economy?

- **Badan Usaha Milik Negara (BUMN) atau Swasta pada bidang pengelolaan limbah:** Mengimplementasikan, mengembangkan, serta memelihara sistem infrastruktur terintegrasi yang telah dibangun untuk memastikan efisiensi operasional serta manajemen data limbah di seluruh fasilitas.
 - **Lembaga Pendidikan dan Pelatihan, Pemerintah Daerah, dan Asosiasi Industri Pengelolaan Limbah:** Menyediakan program pelatihan intensif dan komprehensif dalam proses *upskilling* dan *reskilling* tenaga kerja pada bidang pengelolaan limbah. Program meliputi penerapan teknologi mekanikal dan digital untuk meningkatkan keterampilan tenaga kerja dalam praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan.
2. **Subsidi Pemerintah untuk Inovasi Teknologi Limbah**
- **Tujuan:** Mendorong perkembangan dan adopsi teknologi inovatif terkait proses pengelolaan limbah untuk meningkatkan kualitas, efisiensi, serta keberlanjutan dalam praktiknya.
 - **Tindakan:** Menyediakan insentif fiskal dan pendanaan untuk perusahaan-perusahaan dan penelitian yang bergerak dalam inovasi teknologi pengelolaan limbah.
 - **Implementasi**
 - Penetapan regulasi yang mendukung dan mendorong inovasi teknologi pengelolaan limbah, termasuk standar keamanan serta keberlanjutan untuk teknologi yang akan dikembangkan
 - Kolaborasi dengan institusi pendidikan untuk mendukung murid atau mahasiswa dalam penelitian dan pengembangan teknologi limbah melalui bantuan pendanaan.
 - Seleksi dan penilaian yang jelas untuk proyek inovasi teknologi pengelolaan limbah yang layak mendapatkan bantuan subsidi.
 - Program pelatihan teknis yang dapat berbentuk konsultasi, *mentoring*, bantuan teknis, dan *monitoring*

kepada penerima subsidi untuk memastikan efektivitas, skalabilitas, dan keberlanjutan implementasi teknologi inovasinya.

- **Referensi:** Indonesia dapat mengambil contoh negara Swedia yang sudah berhasil mengembangkan inovasi teknologi pengelolaan limbah melalui program EIT RawMaterials¹⁸⁴ serta Chalmers University of Technology¹⁸⁵.
- **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Pusat dan Daerah:** Mengatur serta menetapkan regulasi yang mendorong inovasi teknologi dalam bidang pengelolaan limbah. Regulasi termasuk standar keamanan serta keberlanjutan untuk teknologi inovasi yang akan dikembangkan.
 - **Institusi Pendidikan dan Riset:** Sebagai mitra kolaborasi dengan pemerintah dan industri dalam mendorong penelitian dan pengembangan teknologi pengelolaan limbah melalui pendanaan serta sumber daya penelitian.
 - **Lembaga Keuangan dan Investasi:** Menyediakan dukungan finansial bagi proyek-proyek inovasi pengelolaan limbah yang terpilih melalui seleksi pemilihan proyek subsidi.
 - **Organisasi Non-Pemerintah (NGO):** Membantu proses evaluasi dan monitoring dari implementasi teknologi inovatif dalam aspek keberlanjutan dan efisiensi pengelolaan limbah. NGO juga dapat berperan dalam melakukan investasi berbentuk pendanaan pada proyek-proyek inovasi sebagai bentuk dorongan terhadap inovasi teknologi pengelolaan limbah.

3. Implementasi Sistem Pengolahan Limbah Berbasis Komunitas

- **Tujuan:** Menciptakan system pengolahan limbah yang inklusif dan berkelanjutan dengan melibatkan partisipasi aktif masyarakat dalam proses pengelolaan limbah.
- **Tindakan:** Membentuk dan mendukung komunitas lokal

¹⁸⁴ E-Waste and Raw Materials: From Environmental Issues to Business Models

¹⁸⁵ Shaping solutions for future material challenges

daerah dalam mengelola, memilah, serta mendaur ulang limbah dengan mendidik, mengadakan pelatihan, dan menyediakan infrastruktur yang sesuai.

○ **Implementasi**

- Identifikasi dan pemetaan komunitas yang berpotensi menjadi mitra dalam pengelolaan limbah tingkat lokal dengan melakukan kajian awal dan survei. Hasil identifikasi dimuat dalam *database* komunitas yang memiliki minat dan kapasitas yang sesuai untuk terlibat dalam pengelolaan limbah.
- Pelatihan dan edukasi komunitas yang dipilih dengan mengadakan *workshop* serta sesi pelatihan dalam mengenalkan praktik pemilahan, pengolahan, dan daur ulang limbah yang berkelanjutan.
- Pendirian pusat daur ulang komunitas di lokasi yang strategis berdasarkan kebutuhan dan aksesibilitas komunitas, serta memastikan peralatan yang dimiliki untuk setiap pusat daur ulang sesuai dan lengkap.

- **Referensi:** Indonesia dapat mencontoh Jerman yang sudah menerapkan sistem pengolahan berbasis komunitas melalui program Grüne Tonne (Tong Hijau), dimana masyarakat dapat berpartisipasi dalam pemilahan limbah rumah tangga sebelum dikirim ke fasilitas pengolahan sampah¹⁸⁶.

○ **Key Stakeholders:**

- **Organisasi Lingkungan dan Komunitas Lokal:** Mengidentifikasi dan memetakan komunitas yang berpotensi untuk terlibat dan menjadi mitra untuk proses pengelolaan sampah.
- **Pemerintah Daerah:** Bertanggung jawab dalam mengidentifikasi dan memetakan komunitas, serta menetapkan izin, regulasi, dan pendanaan untuk pendirian pusat daur ulang komunitas.
- **Industri dan Sektor Swasta:** Berperan dalam menyediakan sumber daya, peralatan, dan teknologi pengelolaan limbah berkelanjutan yang diperlukan di

¹⁸⁶ Who Cares About The Waste in the Garbage Can? All of Us!

dalam pusat daur ulang komunitas.

- **Organisasi Non-Pemerintah (NGO):** Menjadi fasilitator antara komunitas, pemerintah, serta sektor swasta dalam menyuarakan praktik pengelolaan limbah berkelanjutan kepada masyarakat umum serta dapat mendukung pendirian pusat daur ulang komunitas

4. Insentif Pajak untuk Perusahaan Ramah Lingkungan

- **Tujuan:** Mendorong perusahaan-perusahaan untuk mengadopsi praktik bisnis yang ramah lingkungan serta berkelanjutan dengan memberikan insentif pajak sebagai stimulus.
- **Tindakan:** Menyusun kebijakan pajak yang memberikan keringanan pajak bagi perusahaan yang menerapkan praktik ramah lingkungan seperti teknologi daur ulang, reduksi limbah, dan penerapan teknologi hijau.
- **Implementasi**
 - Penetapan kriteria dan standar pengelolaan limbah berkelanjutan untuk setiap perusahaan untuk memenuhi syarat mendapatkan insentif pajak.
 - Sosialisasi kepada perusahaan-perusahaan mengenai manfaat insentif pajak yang dapat diperoleh dengan menerapkan pengelolaan limbah berkelanjutan serta prosedurnya untuk mendapatkan insentif pajak.
 - Pelaksanaan sistem monitoring dan evaluasi untuk memastikan praktik berkelanjutan yang diterapkan oleh perusahaan dan kepatuhan terhadap regulasi yang telah dibentuk. Evaluasi dapat dilakukan secara rutin untuk melihat efektivitas dampak insentif pajak kepada praktik pengelolaan limbah perusahaan serta *output* limbah perusahaan.
- **Referensi:** Indonesia dapat berkaca pada Jerman yang berhasil mendorong praktik pengelolaan limbah berkelanjutan dengan menggunakan dorongan insentif pajak bagi perusahaan¹⁸⁷.

¹⁸⁷ INSENTIF DALAM PENGELOLAAN SAMPAH PLASTIK: PENGALAMAN NEGARA JERMAN SERTA KOTASURABAYA DAN KOTAPADANG, INDONESIA

- **Key Stakeholders:**
 - **Pemerintah Pusat dan Daerah:** Menetapkan kriteria dan standar pengelolaan limbah berkelanjutan serta pembuatan regulasi terkait insentif pajak untuk memastikan kepatuhan perusahaan dalam praktiknya.
 - **Asosiasi Perusahaan dan Industri:** Berperan dalam melakukan sosialisasi kepada perusahaan-perusahaan mengenai manfaat insentif pajak yang ditawarkan apabila mengikuti prosedur.
 - **Otoritas Fiskal dan Badan Pajak:** Melakukan sistem *monitoring* dan evaluasi untuk perusahaan penerima manfaat insentif pajak untuk memastikan kepatuhan perusahaan serta melihat efektivitas regulasi terhadap praktik pengelolaan limbah perusahaan.

6.2 Peran Generasi Muda

Generasi Muda akan menjadi faktor utama jika Indonesia ingin mencapai Indonesia Emas 2045. Diprediksikan 65% dari populasi Indonesia di 2045 akan berada dalam usia produktif¹⁸⁸, yang akan menjadi kunci dalam perkembangan Indonesia dalam dua dekade yang akan datang. Populasi yang akan menjadi pemegang keputusan di masa yang akan datang, merupakan generasi muda yang ada sekarang. Maka dari itu, partisipasi generasi muda mulai dari sekarang akan memiliki dampak yang baik untuk persiapan mereka sebagai pemimpin masa depan.

Dalam konteks keberlanjutan, generasi muda juga memiliki taruhan yang lebih tinggi untuk berpartisipasi aktif. Maka dari itu, terdapat beberapa tingkatan yang bisa dilakukan oleh generasi muda, yang dirangkum dalam Grafik 7.4.1.

¹⁸⁸ BPS, 2023



Grafik 6.1. Tingkatan Partisipasi Generasi Muda¹⁸⁹

Dalam Grafik 6.1, terlihat bahwa terdapat lima tingkatan partisipasi generasi muda dalam pengambilan keputusan, termasuk dalam konteks keberlanjutan dimulai dari paling tidak terlibat sampai paling terlibat. Secara realistis, memang tidak semua orang memiliki minat maupun kesempatan untuk berkontribusi aktif sampai ke tahap *empowerment*. Tetapi, masih ada beberapa langkah yang lebih mudah yang bisa dilakukan oleh generasi muda seperti yang tertulis pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Contoh aksi konkrit yang dapat dilakukan oleh generasi muda

Tahapan	Contoh Aksi yang dapat dilakukan
<i>Inform</i>	<ol style="list-style-type: none"> Mengikuti kanal berita maupun informasi mengenai keberlanjutan Mengikuti organisasi di bidang keberlanjutan untuk mendapatkan informasi lebih lanjut
<i>Consult</i>	<ol style="list-style-type: none"> Memberikan aspirasi non-formal lewat tulisan secara daring maupun luring Mengikuti survei yang dilakukan oleh organisasi nirlaba, pemerintah, maupun institusi lain mengenai keberlanjutan Memilih opsi barang yang memiliki nilai keberlanjutan dibandingkan barang konvensional

¹⁸⁹ IAP2 Spectrum of Public Participation

<i>Involve</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan edukasi secara horizontal kepada rekan sejawat mengenai pentingnya keberlanjutan 2. Bekerja maupun aktif dalam organisasi yang bergerak di bidang keberlanjutan
<i>Collaborate</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Secara formal hadir dalam proses pengambilan keputusan dengan menjadi rekan berpikir pemerintah lewat <i>Forum Group Discussion</i>, kontribusi lewat penulisan riset, dan sebagainya. 2. Kolaborasi dengan sesama generasi muda untuk menciptakan proyek jangka pendek untuk peningkatan kesadaran masyarakat
<i>Empower</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan pemberdayaan pada masyarakat lewat program-program pengembangan masyarakat 2. Menciptakan gerakan atau platform untuk meningkatkan pemberdayaan masyarakat dan pemahaman tentang keberlanjutan

Agar generasi muda dapat berkontribusi sebagai maksimal, terdapat dua faktor pendukung, yaitu:

1. Pemerintah memperluas akses dan membuka kesempatan untuk berkontribusi

Pemerintah, sebagai pengambil keputusan utama, maka pemerintah wajib menyadari tentang perlunya pengikutsertaan generasi muda dalam pengambilan keputusan. Diluar itu, pemerintah perlu memberikan platform agar generasi muda dapat berpartisipasi secara aktif dan konkrit.

2. Individu perlu meningkatkan kompetensi diri dan kesadaran tentang keberlanjutan

Individu, sebagai subjek yang perlu berkontribusi, perlu melakukan penerapan tentang ilmu dasar di bidang keberlanjutan. Lalu, perlu dilakukan identifikasi diri, seberapa ingin individu berkontribusi dalam proses pengambilan keputusan ini, dan akhirnya dapat memanfaatkan kesempatan yang disediakan untuk berkontribusi.

Pergerakan generasi muda secara kolektif dapat berdampak besar bagi perubahan bangsa ini. Dengan kompetensi yang mumpuni dan kesempatan yang cukup, maka Indonesia dapat mencapai visinya di 2045 secara berkelanjutan dan makmur.

Referensi

- Air Quality Life Index (AQLI). (2021). AQLI Indonesia Report 2021. Diambil dari https://aqli.epic.uchicago.edu/wp-content/uploads/2021/09/AQLI_IndonesiaReport-2021_IND-versiong.7.pdf
- American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- Antara News. (n.d.). Pupuk Indonesia bidik RI sebagai hub amonia dunia. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.antaraneews.com/berita/3468213/pupuk-indonesia-bidik-ri-sebagai-hub-amonia-dunia>
- Appalachian Regional Commission. (n.d.). Grants and opportunities. Diambil dari <https://www.arc.gov/grants-and-opportunities/power/>
- Asia CCUS Network. (n.d.). Indonesia tabled CCS and CCUS in net zero emission road map. Diambil dari <https://www.asiaccusnetwork-eria.org/articles/indonesia-tabled-ccs-and-ccus-in-net-zero-emission-road-map>
- Asian Insiders. (2023, 21 Maret). Semen adalah bisnis besar di Indonesia. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://asianinsiders.com/2023/03/21/cement-is-big-business-in-indonesia/>
- Ayilara, M., Olanrewaju, O., Babalola, O., & Odeyemi, O. (2020, May 30). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), 4456. <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Babaremu, K., Adediji, A., Olumba, N., Okoya, S., Akinlabi, E., & Oyintola, M. (2024, February 21). Technological Advances in Mechanical Recycling Innovations and Corresponding Impacts on the Circular Economy of Plastics. *Environments*, 11(3), 38. <https://doi.org/10.3390/environments11030038>
- Badan Ketahanan Pangan, Indonesia. (n.d.). Gerakan penganekeagaman konsumsi pangan beragam, bergizi, seimbang dan aman (B2SA). Diambil dari <https://badanpangan.go.id/wiki/gerakan-penganekeagaman-konsumsi-pangan-beragam-bergizi-seimbang-dan-aman-b2sa>
- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS). (2045). Draft RP-JPN Indonesia Emas 2045. <https://indonesia2045.go.id/aspirasi>
- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2023). Bonus Demografi dan Visi Indonesia Emas 2045. Diakses pada 24 April 2024, dari https://bigdata.bps.go.id/documents/datain/2023_01_2_Bonus_Demografi_dan_Visi_Indonesia%20Emas_2045.pdf
- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2023, Januari). Bonus demografi dan visi Indonesia Emas 2045. Diakses pada 24 April 2024, dari https://bigdata.bps.go.id/documents/datain/2023_01_2_Bonus_Demografi_dan_Visi_Indonesia%20Emas_2045.pdf

- Bisnis Indonesia. (2020, 14 Oktober). Enam smelter HPAL senilai US\$13 miliar beroperasi mulai 2021. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://ekonomi.bisnis.com/read/20201014/44/1304808/enam-smelter-hpal-senilai-us513-miliar-beroperasimulai-2021>
- Bisnis Indonesia. (2023, 10 Mei). Indocement (INTP) dorong penggunaan semen hijau di IKN. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://market.bisnis.com/read/20230510/192/1654343/indocement-intp-dorong-penggunaan-semen-hijau-di-ikn>
- Blanchard, O. (2023, December 19). Reconciling the tension between green spending and debt sustainability. PIIIE. <https://www.piie.com/blogs/realtime-economics/reconciling-tension-between-green-spending-and-debt-sustainability>
- Breakthrough Energy. (2024, April 14). The Data. Retrieved April 14, 2024, dari <https://breakthroughenergy.org/our-approach/the-data/>
- CENELEC. (2023). Standar dalam Mendukung Komitmen Kesepakatan Hijau Eropa. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.cenelec.eu/media/CEN-CENELEC/Areas%20of%20Work/CENELEC%20sectors/Accumulators,%20Primary%20cells%20and%20Primary%20Batteries/Documents/standardsinsupporteuropeangreendealcommitments.pdf>
- Chalmers University of Technology. (n.d.). Life-shaping solutions for future material challenges. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.chalmers.se/en/current/news/life-shaping-solutions-for-future-material-challenges/>
- Chalmers University of Technology. (n.d.). Solusi pembentuk masa depan untuk tantangan material. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.chalmers.se/en/current/news/life-shaping-solutions-for-future-material-challenges/>
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022, April). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
- China Dialogue. (2024, 29 Maret). Kehidupan setelah subsidi untuk EV China. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://chinadialogue.net/en/business/life-after-subsidies-for-chinas-evs/>
- CNBC Indonesia. (2023, 14 September). Ini kata Jokowi usai cek pabrik baterai raksasa di Karawang. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.cnbcindonesia.com/news/20230914174623-4-472545/ini-kata-jokowi-usai-cek-pabrik-baterai-raksasa-di-karawang>
- CNBC Indonesia. (2023, 18 September). Profil Xinyi, produsen kaca raksasa yang investasi di Rempang. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.cnbcindonesia.com/market/20230918151837-17-473439/profil-xinyi-produsen-kaca-raksasa-yang-investasi-di-rempang>

- CNBC Indonesia. (2023, 9 Agustus). Wow, harta karun RI ini geser pasar Pakistan & Australia. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.cnbcindonesia.com/news/2023080911934-4-461390/wow-harta-karun-ri-ini-geser-pasar-pakistan--australia>
- CNBC Indonesia. (2024, 23 Januari). Terkuak, ternyata dunia tak banyak pakai baterai dari nikel. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.cnbcindonesia.com/news/20240123094559-4-508200/terkuak-ternyata-dunia-tak-banyak-pakai-baterai-dari-nikel>
- CNN Indonesia. (2017, September 4). Alasan mekanisasi belum banyak diadopsi petani Indonesia. Diambil dari <https://www.cnnindonesia.com/inspirasi/20170904102217-454-239235/alasan-mekanisasi-belum-banyak-diadopsi-petani-indonesia>
- CNN Indonesia. (2024, 20 Maret). Luhut: Pabrik BYD di RI groundbreaking Juli 2024, mulai operasi 2026. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20240320141945-603-1076671/luhut-pabrik-byd-di-ri-groundbreaking-juli-2024-mulai-operasi-2026>
- Coherent Market Insights. (n.d.). Pasar kuarsa kemurnian tinggi. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/high-purity-quartz-market-3835>
- Czekata, W., Drozdowski, J., & Łabiak, P. (2023, July 31). Modern Technologies for Waste Management: A Review. *Applied Sciences*, 13(15), 8847. <https://doi.org/10.3390/app13158847>
- Databoks Katadata. (2023, 19 Juni). Daftar negara penghasil baja mentah terbesar, Indonesia peringkat berapa. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/06/19/daftar-negara-penghasil-baja-mentah-terbesar-indonesia-peringkat-berapa>
- Databoks Katadata. (2024, 5 April). 10 negara produsen semen terbesar global 2023, ada Indonesia. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2024/04/05/10-negara-produsen-semen-terbesar-global-2023-ada-indonesia>
- Databoks, Katadata. (2023, August 4). Indonesia menjadi produsen biofuel terbesar ketiga global pada 2022. Diambil dari <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/08/04/indonesia-jadi-produsen-biofuel-terbesar-ketiga-global-pada-2022>
- Deloitte Israel. (n.d.). Ekosistem Teknologi Israel. Diakses pada 24 April 2024, dari https://www2.deloitte.com/il/en/pages/innovation/articles/the_israeli_technological_eco-system.html
- Department of Foreign Affairs and Trade, Ireland. (2024, 13 April). Global Irish. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.dfa.ie/global-irish/>
- Der Grüne Punkt. (n.d.). Consumer information. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.gruener-punkt.de/en/politics-and-society/consumer-information>

- Der Grüne Punkt. (n.d.). Politik dan masyarakat: Informasi konsumen. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.gruener-punkt.de/en/politics-and-society/consumer-information>
- Ebtke ESDM. (2023, December 15). Strategi nasional hydrogen. Diambil dari <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/12/15/3680/strategi.hydrogen.nasional>
- Ebtke ESDM. (n.d.). E-library: Energy reports and publications. Diambil dari <https://ebtke.esdm.go.id/flippdf/elibrary.html#pdfflip-PDF-25>
- E-M@S IVL. (n.d.). Buku E-mining versi Inggris. Diakses pada 24 April 2024, dari https://ewaste.education/pdf/E-M@S_IVL_eminingbook_English.pdf
- Energy Directorate, European Commission. (2023). Wielkopolska 2023 strategy. Diambil dari https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-12/Wielkopolska_2023.pdf
- Enterprise Singapore. (n.d.). Aliansi Inovasi Global: Program R&D Industri Singapura-Israel. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.enterprisesg.gov.sg/grow-your-business/innovate-with-us/market-access-and-networks/global-innovation-alliance/cip/singapore-israel-industrial-rd-programme>
- Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). Informasi genetik material (Peta Fisik). Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.env.go.jp/content/900453393.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). Pendekatan komposting: Windrow composting. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/approaches-composting>
- Esmailian, B., Wang, B., Lewis, K., Duarte, F., Ratti, C., & Behdad, S. (2018, November). The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper. *Waste Management*, 81, 177–195. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.047>
- European Commission. (2024, April 14). Carbon border adjustment mechanism. Retrieved April 14, 2024, dari https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
- Fathollahi-Fard, A. M., Wu, P., Tian, G., Yu, D., Zhang, T., Yang, J., & Wong, K. Y. (2024, September). An efficient multi-objective adaptive large neighborhood search algorithm for solving a disassembly line balancing model considering idle rate, smoothness, labor cost, and energy consumption.
- Expert Systems With Khaddage-Soboh, N., Yunis, M., Imran, M., & Zeb, F. (2024, June). Sustainable practices in Malaysian manufacturing: The influence of CSR, transformational leadership, and green organizational culture on environmental performance. *Economic Analysis and Policy*, 82, 753–768. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2024.04.001>

- FGMI. (n.d.). Carbon capture, utilization & storage (CCUS) untuk menurunkan emisi CO₂: Bagaimana di Indonesia? Diambil dari <https://fgmi.iagi.or.id/berita/carbon-capture-utilization-storage-ccus-untuk-menurunkan-emisi-co2-bagaimana-di-indonesia/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations in India. (n.d.). FAO in India: At a glance. Diambil dari <https://www.fao.org/india/fao-in-india/india-at-a-glance/en/>
- Gaikindo. (2021, November 17). DJEBTKE Bahan Paparan GAIKINDO. Diambil dari <https://www.gaikindo.or.id/wp-content/uploads/2021/11/01.-DJEBTKE-Bahan-Paparan-GAIKINDO-17Nov21-R3.pdf>
- Gautam, A., Shankar, R., & Vrat, P. (2021, April). End-of-life solar photovoltaic e-waste assessment in India: a step towards a circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.011>
- Gina, G. A., Ana Mariya, Charita Natalia, Sirat Nispuana, M. Farhan Wijaya, & M. Yoga Phalepi. (2023, June 30). THE ROLE OF THE AGRICULTURAL SECTOR ON ECONOMIC GROWTH IN INDONESIA. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Sciences (IJoMS)*, 2(1), 167–179. <https://doi.org/10.59066/ijoms.v2i1.325>
- GlobeNewswire. (2024, January 30). Indonesia steel market outlook report 2023-2032 anticipates tightened import licenses and emerges as a key export contributor. Diambil dari <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2024/01/30/2819876/28124/en/Indonesia-Steel-Market-Outlook-Report-2023-2032-Anticipates-Tightened-Import-Licenses-and-Emerges-as-a-Key-Export-Contributor.html>
- Government of India. (n.d.). Skema SMAM. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.myscheme.gov.in/schemes/smam>
- Grand View Research. (n.d.). Global plastics market. Diambil dari <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-plastics-market>
- Hausmann, R. (2021, December 9). Green growth at the end of the flat world. Project Syndicate. <https://www.project-syndicate.org/commentary/green-growth-and-end-of-flat-energy-world-by-ricardo-hausmann-2021-12>
- Hernández-Chover, V., Castellet-Viciano, L., Bellver-Domingo, G., & Hernández-Sancho, F. (2022, November 17). The Potential of Digitalization to Promote a Circular Economy in the Water Sector. *Water*, 14(22), 3722. <https://doi.org/10.3390/w14223722>
- Humphreys, J., & Tao, S. (2023, January 1). Advancements in Green Ammonia Production and Utilisation Technologies. *Johnson Matthey Technology Review*. <https://doi.org/10.1595/205651324x16946999404542>
- IESR. (2024). Indonesia energy transition outlook (IETO) 2024. Diambil dari <https://iesr.or.id/en/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2024>

- IESR. (n.d.). Greening the chemical industry in Indonesia. Diambil dari <https://iesr.or.id/en/indonesias-effort-in-greening-the-chemical-industry>
- Ikatan Ahli Perencanaan Indonesia. (n.d.). Spektrum IAP2. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://iap2.or.id/spektrum-iap2/>
- Institute for Essential Services Reform (IESR). (2024). Indonesia energy transition outlook (IETO) 2024. Diambil dari <https://iesr.or.id/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2024>
- International Energy Agency (IEA). (2023, 29 Maret). Net Zero Industry Act: CCUS – Policies - IEA. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.iea.org/policies/17545-net-zero-industry-act-ccus>
- International Energy Agency. (2021). Global energy and climate model: Net zero emissions by 2050 scenario. Diambil dari <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model/net-zero-emissions-by-2050-scenario>
- International Energy Agency. (2022). An energy sector roadmap to net zero emissions in Indonesia. Diambil dari https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/eedgc-draft-rukni-cover.pdf
- International Energy Agency. (2022). World energy outlook 2022: Outlook for electricity. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- International Energy Agency. (2023). Laporan Agenda Terobosan 2023: Baja. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2023/steel>
- International Energy Agency. (2023). Laporan Agenda Terobosan 2023: Semen. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2023/cement>
- International Energy Agency. (2023). Rantai Pasokan PV Global: Ringkasan Eksekutif. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains/executive-summary>
- International Energy Agency. (2023). Sistem energi: Industri - Semen. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.iea.org/energy-system/industry/cement>
- International Labour Organization. (n.d.). Reports and publications. Diambil dari https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_628654.pdf
- International Renewable Energy Agency. (2022, November). IRENA maps pathway for ASEAN to lead net zero race. Diambil dari <https://www.irena.org/News/articles/2022/Nov/IRENA-Maps-Pathway-for-ASEAN-to-Lead-Net-Zero-Race>
- Jobstreet Indonesia. (n.d.). UMR tertinggi di Indonesia. Diambil dari <https://www.jobstreet.co.id/id/career-advice/article/umr-tertinggi-di-indonesia>

- Junianto, I., Sunardi, & Sumiarsa, D. (2023, March 31). The Possibility of Achieving Zero CO₂ Emission in the Indonesian Cement Industry by 2050: A Stakeholder System Dynamic Perspective. *Sustainability*, 15(7), 6085. <https://doi.org/10.3390/su15076085>
- Jurnal Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat. (n.d.). Menara Ilmu. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://jurnal.umsb.ac.id/index.php/menarailmu/article/viewFile/3992/pdf>
- Just Energy Transition Partnership Indonesia. (2023). Comprehensive investment and policy plan 2023. Diambil dari <https://jetp-id.org/cipp>
- Just Energy Transition Partnership Indonesia. (2023). Comprehensive investment and policy plan 2023. <https://jetp-id.org/cipp>
- Kamar Dagang dan Industri (KADIN) Indonesia. (n.d.). Hasilkan komitmen bantuan pembiayaan energi terbarukan, KADIN Indonesia gelar forum diskusi post-COP 28. Diambil dari <https://kadin.id/kabar/hasilkan-komitmen-bantuan-pembiayaan-energi-terbarukan-kadin-indonesia-gelar-forum-diskusi-post-cop-28/>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. (n.d.). Tiga industri strategis ini incar pemanfaatan mineral di masa depan. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/-tiga-industri-strategis-ini-incar-pemanfaatan-mineral-di-masa-depan>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (n.d.). Enhanced NDC: Komitmen Indonesia untuk makin berkontribusi dalam menjaga suhu global. Diambil dari <https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/6836/enhanced-ndc-komitmen-indonesia-untuk-makin-berkontribusi-dalam-menjaga-suhu-global>
- Kompas Otomotif. (2024, 20 Maret). Luhut sebut pabrik BYD di Indonesia beroperasi mulai 2026. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://otomotif.kompas.com/read/2024/03/20/134100615/luhut-sebut-pabrik-byd-di-indonesia-beroperasi-mulai-2026>
- Kompas. (2023, 5 April). Semen hijau diproduksi dari proses manufaktur karbon negatif. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://lestari.kompas.com/read/2023/04/05/070000486/semen-hijau-diproduksi-dari-proses-manufaktur-karbon-negatif>
- Konsbruck, A. (2024, 19 Maret). Kebijakan EV India mendorong produksi mobil listrik premium lokal: Pejabat Audi. *The Economic Times*. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://economictimes.indiatimes.com/industry/renewables/india-ev-policy-to-encourage-local-production-of-premium-electric-cars-audi-official/articleshow/108625345.cms?from=mdr>
- Kontan. (n.d.). Hilirisasi industri baja dorong pertumbuhan ekonomi nasional. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://pressrelease.kontan.co.id/news/hilirisasi-industri-baja-dorong-pertumbuhan-ekonomi-nasional>

- Kontan. (n.d.). Kelebihan pasokan jadi tantangan bagi industri semen Indonesia. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://industri.kontan.co.id/news/kelebihan-pasokan-jadi-tantangan-bagi-industri-semen-indonesia>
- Kontan. (n.d.). Kemenperin dukung pembangunan sistem manajemen energi di sektor industri. Diambil dari <https://pressrelease.kontan.co.id/news/kemenperin-dukung-pembangunan-sistem-manajemen-energi-di-sektor-industri>
- KPMG Indonesia. (2021, July). EV and battery development plan in Indonesia. Diambil dari <https://kpmg.com/id/en/home/insights/2021/07/id-ev-and-battery-development-plan-indonesia.html>
- Kumparan. (2024, April 13). Gibran: Kita harus mampu keluar dari middle income trap. Retrieved April 13, 2024, dari <https://kumparan.com/kumparanbisnis/gibran-kita-harus-mampu-keluar-dari-middle-income-trap-21ot3Q1ULG0>
- Kurniawan, T. A., Meidiana, C., Goh, H. H., Zhang, D., Othman, M. H. D., Aziz, F., Anouzla, A., Sarangi, P. K., Pasaribu, B., & Ali, I. (2024, May). Unlocking synergies between waste management and climate change mitigation to accelerate decarbonization through circular-economy digitalization in Indonesia. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 522–542. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.011>
- Lin, Y. P., Petway, J., Lien, W. Y., & Settele, J. (2018, February 28). Blockchain with Artificial Intelligence to Efficiently Manage Water Use under Climate Change. *Environments*, 5(3), 34. <https://doi.org/10.3390/environments5030034>
- Luthfiani, N. L., & Atmanti, H. D. (2021, December 20). WASTE MANAGEMENT SERVICE IN INDONESIA BASED ON STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS. Vol 20 No 2 (2021): December Edition, 20(2), 54–61. <https://doi.org/10.23969/trikonomika.v20i2.3952>
- Mager, A., & Blass, V. (2022, August 12). From Illegal Waste Dumps to Beneficial Resources Using Drone Technology and Advanced Data Analysis Tools: A Feasibility Study. *Remote Sensing*, 14(16), 3923. <https://doi.org/10.3390/rs14163923>
- Maritim Indonesia. (n.d.). Majalah Marves vol. 19. Diambil dari <https://jdih.maritim.go.id/cfind/source/files/majalah-marves-vol.-19.pdf>
- McKinsey & Company. (n.d.). dari green ammonia to lower-carbon foods. Diambil dari <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/dari-green-ammonia-to-lower-carbon-foods>
- Meijer, A., & Thaens, M. (2016, September 30). Urban Technological Innovation: Developing and Testing a Sociotechnical Framework for Studying Smart City Projects. *Urban Affairs Review*, 54(2), 363–387. <https://doi.org/10.1177/1078087416670274>

- Miller, K. E., Herman, T., Philipianto, D. A., & Davis, S. C. (2021, June 8). Anaerobic Digestion of Food Waste, Brewery Waste, and Agricultural Residues in an Off-Grid Continuous Reactor. *Sustainability*, 13(12), 6509. <https://doi.org/10.3390/su13126509>
- Ministry of Agriculture, Indonesia. (2021, August 26). RENSTRA KEMANTAN 2020-2024 REVISI 2. Diambil dari [https://rb.pertanian.go.id/upload/file/RENSTRA%20KEMANTAN%202020-2024%20REVISI%202%20\(26%20Agt%202021\).pdf](https://rb.pertanian.go.id/upload/file/RENSTRA%20KEMANTAN%202020-2024%20REVISI%202%20(26%20Agt%202021).pdf)
- Ministry of Agriculture, Indonesia. (2023). Capai 94.1: Skor PPH 2023. Diambil dari <https://badanpangan.go.id/blog/post/skor-pph-2023-capai-941-lampau-target-rpjm-nfa-optimis-pola-konsumsi-b2sa-masyarakat-semakin-berkualitas>
- Ministry of Agriculture, Indonesia. (n.d.). Revolusi Mekanisasi Pertanian. Diambil dari <https://ppid.pertanian.go.id/doc/1/Buku%20Seri/Revolusi%20Mekanisasi%20Pertanian.pdf>
- Ministry of Economy, Indonesia. (n.d.). Akselerasi transisi energi bersih dan meraih net zero emission melalui kebijakan biodiesel. Diambil dari <https://ekon.go.id/publikasi/detail/3952/akselerasi-transisi-energi-bersih-dan-meraih-net-zero-emission-melalui-kebijakan-biodiesel>
- Ministry of Energy and Mineral Resources, Indonesia. (n.d.). Potensi EBT Indonesia diproyeksi 3,687 gigawatt. Diambil dari <https://www.antaranews.com/berita/3724749/kementerian-esdm-potensi-ebt-indonesiadiproyeksi-3687gigawatt#:~:text=Total%20ada%203,687%20GW%20potensi,sebesar%2023%20persen%20pada%202025.>
- Ministry of Environment and Forestry. (2022). Perdagangan karbon untuk pencapaian target NDC: Kontribusi Indonesia bagi agenda perubahan iklim global. Diambil dari <https://www.menlhk.go.id/news/perdagangan-karbon-untuk-pencapaian-target-ndc-kontribusi-indonesia-bagi-agenda-perubahan-iklim-global/>
- Mordor Intelligence. (2023). Indonesia plastics market. Diambil dari <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/indonesia-plastics-market/market-trends, 2023>
- Mordor Intelligence. (2023). Pasar Semen Indonesia. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/indonesia-cement-market>
- Nelles, M., Grünes, J., & Morscheck, G. (2016). Waste Management in Germany – Development to a Sustainable Circular Economy? *Procedia Environmental Sciences*, 35, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.001>
- NST. (n.d.). Konten. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.nst.re.kr/eng/contents.do?key=155>

- OGV Energy. (2023). Rencana untuk memungkinkan pekerja minyak dan gas beralih ke pekerjaan energi terbarukan. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.ogv.energy/news-item/plans-to-allow-oil-and-gas-workers-to-transfer-to-renewable-energy-jobs>
- Open Knowledge Repository, World Bank. (n.d.). Urbanization and Benefit of Integration Circular Economy into Waste Management in Indonesia: A Review. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/1a464650-9d7a-58bb-b0ea-33ac-4cd1f73c>
- Opetushallitus. (2024, 13 April). Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.opf.fi/fi>
- Oxford Economics. (2023, December 12). The global green economy. Retrieved December 12, 2023, dari <https://www.oxfordeconomics.com/resource/the-global-green-economy-understanding-and-capturing-the-opportunity/>
- Pertamina. (2023, September 4). Energia weekly report. Diambil dari <https://pertamina.com/Media/File/Energia-Weekly-04-september-2023.pdf>
- Peta Okupasi Nasional Green Jobs dalam Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) – Peta Okupasi. (n.d.). <https://petaokupasi.bappenas.go.id/download/peta-okupasi-nasional-green-jobs-dalam-kerangka-kualifikasi-nasional-indonesia-kkni/>
- PT Indo Premier Securities. (2023, June 15). Keluar dari Jebakan Middle Income, Jokowi Luncurkan RPJPN 2025-2045. IPOTNEWS. Diambil dari https://www.indopremier.com/ipotnews/newsDetail.php?jdl=Keluar_dari_Jebakan_Middle_Income__Jokowi_Luncurkan_RPJPN_2025_2045&news_id=166284&group_news=IPOT-NEWS&news_date=2023-06-15&taging_subtype=PG002&name=&search=y_general&q=&halaman=1
- PT Pupuk Indonesia. (n.d.). Media info on green ammonia. Diambil dari <https://www.pupuk-indonesia.com/media-info/384/detail>
- PT SMI and UNOPS ETP. (n.d.). PT SMI dan UNOPS ETP berkolaborasi mendorong transisi energi di Indonesia. Diambil dari <https://ptsmi.co.id/pt-smi-dan-unops-etp-berkolaborasi-mendorong-transisi-energi-di-indonesia>
- PubMed. (2019). Inovasi dalam Manajemen Air Menggunakan Teknologi Blockchain. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6466021/>
- Raharjo. (2023, January 1). INSENTIF DALAM PENGELOLAAN SAMPAH PLASTIK: PENGALAMAN NEGARA JERMAN SERTA KOTASURABAYA DAN KOTAPADANG, INDONESIA. Jurnal Penelitian Dan Kajian Ilmiah Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat. <https://doi.org/10.31869/miv.1711.3992>

- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., & Väisänen, J. M. (2021, January). Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105155. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105155>
- Recessary News. (2024, March 1). Indonesia urge to optimize renewables, total potential up to 3,689 GW. Retrieved March 1, 2024, dari <https://www.recessary.com/en/news/id-announcement/indonesia-urge-to-optimize-renewables-total-potential-3689gw>
- Republika Online. (2023, September 9). Indonesia syaratkan TKDN 60 persen untuk ekspor listrik ke Singapura. Diambil dari <https://republika.co.id/share/sopnqp490>
- Republika. (n.d.). Permintaan amonia dunia meningkat, Indonesia berpotensi jadi pemain global. Diakses pada 24 April 2024, dari https://ekonomi.republika.co.id/berita/rsci80490/permintaan-amonia-dunia-meningkat-indonesia-berpotensi-jadi-pemain-global#google_vignette
- Roy, H., Roy, B. N., Hasanuzzaman, M., Islam, M. S., Abdel-Khalik, A. S., Hamad, M. S., & Ahmed, S. (2022, December 13). Global Advancements and Current Challenges of Electric Vehicle Batteries and Their Prospects: A Comprehensive Review. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su142416684>
- S&P Global Commodity Insights. (2023). Global crude steel production statistics. Diambil dari <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/metals/012524-global-crude-steel-production-remains-flat-in-2023>
- Salam, A. (2020). Internet of Things for Sustainable Community Development. *Internet of Things*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35291-2>
- ScienceDaily. (2023, October 12). Latest on global plastic pollution. Diambil dari <https://www.sciencedaily.com/releases/2023/10/231012161451.htm>
- Setkab RI. (n.d.). Cara kurangi impor bahan baku baja, Menperin tingkatkan utilisasi dan gunakan produk dalam negeri. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://setkab.go.id/cara-kurangi-impor-bahan-baku-baja-menperin-tingkatkan-utilisasi-dan-gunakan-produk-dalam-negeri/>
- Sharma, M., Joshi, S., Kannan, D., Govindan, K., Singh, R., & Purohit, H. (2020, October). Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122047. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122047>
- Sinar Mas. (n.d.). Blog Sinar Mas. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.sinarmas.com/blog/?p=3941>
- SIPSN, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (n.d.). Data timbulan. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>

- Smol, M., Duda, J., Czaplicka-Kotas, A., & Szotdrowska, D. (2020, June 3). Transformation towards Circular Economy (CE) in Municipal Waste Management System: Model Solutions for Poland. *Sustainability*, 12(11), 4561. <https://doi.org/10.3390/su12114561>
- South East Asia Iron and Steel Institute. (2023). Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.seaisi.org/details/23823?type=news-rooms>
- Statista. (2023). Distribusi konsumsi tembaga murni global berdasarkan wilayah. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.statista.com/statistics/693466/distribution-of-global-refined-copper-consumption-by-region/>
- Statista. (2023). Produksi amonia global. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.statista.com/statistics/1266378/global-ammonia-production/>
- Statista. (2023). Volume produksi semen global. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.statista.com/statistics/1087115/global-cement-production-volume/>
- Statista. (2023, December 11). Indonesia: Electricity mix by source 2022. Retrieved December 11, 2023, dari <https://www.statista.com/statistics/993362/indonesia-energy-mix-for-power-generation-by-source/>
- Statista. (2024, March 1). Indonesia wants to stop exporting minerals, make value-added products. Retrieved March 1, 2024, dari <https://www.cnbc.com/2022/04/14/indonesia-wants-to-stop-exporting-minerals-make-value-added-products.html>
- Statista. (n.d.). Global ammonia production statistics. Diambil dari <https://www.statista.com/statistics/1266378/global-ammonia-production/>
- The Design Society. (n.d.). Masa Depan Material: Pengenalan Prinsip Desain Regeneratif kepada Mahasiswa Desain Produk. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.designsociety.org/publication/46802/MATERIAL+FUTURES%3A+AN+INTRODUCTION+OF+REGENERATIVE+DESIGN+PRINCIPLES+TO+PRODUCT+DESIGN+STUDENTS>
- The Observatory of Economic Complexity. (2022). Green ammonia market volume in Indonesia. Diambil dari <https://www.statista.com/statistics/1348850/indonesia-green-ammonia-market-volume/>
- The Packman. (n.d.). Indonesia's packaging sector: Demand for plastics. Diambil dari <https://thepackman.in/indonesias-packaging-sector-spur-demand-for-plastics/>
- The White House. (2023, 4 Mei). Lembar Fakta: Administrasi Biden-Harris mengumumkan strategi standar nasional untuk teknologi kritis dan muncul. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2023/05/04/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-national-standards-strategy-for-critical-and-emerging-technology/>

- U.S. Commercial Service. (n.d.). Indonesia energy. Diambil dari <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/indonesia-energy>
- U.S. Department of Agriculture. (2023). Biofuels annual Jakarta Indonesia ID2023-0018. Diambil dari https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Jakarta_Indonesia_ID2023-0018.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). Draft national strategy to prevent plastic pollution. Diambil dari <https://www.epa.gov/circular-economy/draft-national-strategy-prevent-plastic-pollution>
- United Nations in Indonesia. (n.d.). Memajukan transformasi sistem pangan Indonesia. Diambil dari <https://indonesia.un.org/id/240200-memajukan-transformasi-sistem-pangan-indonesia>
- Wikurendra, E. A., Csonka, A., Nagy, I., & Nurika, G. (2024, February 3). Urbanization and Benefit of Integration Circular Economy into Waste Management in Indonesia: A Review. *Circular Economy and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00346-w>
- Williams, B., Bishop, D. G., Gallardo, P., & Chase, J. G. (2023, July 4). Demand Side Management in Industrial, Commercial, and Residential Sectors: A Review of Constraints and Considerations. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en16135155>
- World Bank Group. (2023, May 3). World Bank Group report proposes policies, investments to enable Indonesia to achieve its development and climate goals. Diambil dari <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/05/03/world-bank-group-report-proposes-policies-investments-to-enable-indonesia-to-achieve-its-development-and-climate-goals>
- World Bank. (n.d.). Vietnam Sustainable Agriculture Transformation Project. Diambil dari <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/783441467998463415/Vietnam-Sustainable-Agriculture-Transformation-Project>
- World Economic Forum. (2021, July). The potential of green hydrogen in clean energy transitions. Diambil dari <https://www.weforum.org/agenda/2021/07/clean-energy-green-hydrogen/>
- World Economic Forum. (2023). Pelacak Industri Net Zero 2023: Pelacak net zero industri baja. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.weforum.org/publications/net-zero-industry-tracker-2023/in-full/steel-industry-net-zero-tracker/>
- World Economic Forum. (2023). Pelacak Industri Net Zero 2023: Pelacak net zero industri semen. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.weforum.org/publications/net-zero-industry-tracker-2023/in-full/cement-industry-net-zero-tracker/>

- World Economic Forum. (2023, November). Green ammonia and climate change. Diambil dari <https://www.weforum.org/agenda/2023/11/green-ammonia-climate-change-energy-transition/>, 2023
- World Resources Institute. (2023). Perusahaan Indonesia mempercepat dekarbonisasi industri. Diakses pada 24 April 2024, dari <https://www.wri.org/outcomes/indonesian-companies-accelerate-industrial-decarbonization>
- World Steel Association. (2022). World steel in figures 2022. Diambil dari <https://www.worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2022/>
- World Steel Association. (2023, December). December 2023 crude steel production and 2023 global totals. Diambil dari <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2024/december-2023-crude-steel-production-and-2023-global-totals/>
- Yale School of the Environment. (2022). Climate change on the Indonesian mind. Diambil dari <https://environment.yale.edu/news/article/climate-change-indonesian-mind>
- Zhang, W., Ma, F., Ren, M., & Yang, F. (2021, February 22). Application with Internet of things technology in the municipal industrial wastewater treatment based on membrane bioreactor process. *Applied Water Science*, 11(3). <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01375-8>

Green Jobs Outlook Menuju Indonesia Emas 2045

Peluang dan Kompetensi Masa Depan di Sektor Energi,
Pangan, Industri, dan Pengolahan Limbah

Melalui analisis *best practice*, *benchmarking* negara lain, dan analisis internal SRE, buku ini mendetilkan kompetensi kunci dan jumlah *green jobs* yang dibutuhkan Indonesia untuk mencapai Indonesia Emas 2045.



SRE



Gedung Graha Pena Lt. 8
Kebayoran Lama No.12 Jakarta Selatan