UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Cambridge Industrial Innovation Policy

OPEN SOCIETY FOUNDATIONS

PERSPEKTIF KEBIJAKAN INDUSTRI

Pengantar kebijakan industri hijau: konsep, kebutuhan industri, dan kebijakan

Tentang laporan ini

Risalah kebijakan ini bertujuan untuk memperkenalkan konsep, kebutuhan industri, dan pilihan kebijakan yang terkait dengan kebijakan industri hijau dan transisi industri hijau. Tantangan khusus dari dekarbonisasi industri dan industrialisasi hijau akan dikaji, serta bagaimana pemerintah dapat mendukungnya melalui kebijakan yang terkoordinasi. Publikasi ini merupakan bagian dari serangkaian risalah kebijakan yang diproduksi di bawah proyek yang didanai oleh Open Society Foundations, yang mana Cambridge Industrial Innovation Policy berkolaborasi dengan pemerintah di Meksiko dan Indonesia untuk memperkuat desain dan implementasi strategi industri hijau. Tujuan dari seri ini adalah untuk menjembatani kesenjangan antara ambisi strategis jangka panjang dan implementasi kebijakan praktis, dengan menyediakan analisis berbasis bukti dan wawasan kebijakan yang dapat ditindaklanjuti.

Penulis

Mateus Labrunie, Francisco Pereira, Jennifer Castañeda-Navarrete, dan Zongshuai Fan

Cambridge Industrial Innovation Policy, IfM Engage, Institute for Manufacturing, University of Cambridge

Terjemahan: Rama Husodo dengan bantuan akal imitasi

Cambridge, Britania Raya | 2026

Daftar isi

Ringkasan Eksekutif **4**

1. Pendahuluan **6**

2. Konsep-konsep utama **7**

2.1 Apa itu kebijakan industri hijau? 7

2.2 Definisi kerja yang digunakan dalam risalah kebijakan ini 8

3. Kebutuhan transisi hijau dari berbagai industri **10**

3.1 Pilar-pilar umum dekarbonisasi industri 10

3.2 Sektor industri memerlukan jalur dekarbonisasi yang berbeda 11

3.3 Banyak teknologi penting yang masih perlu dikembangkan dan ditingkatkan skalanya. 12

4. Hambatan transisi industri hijau **15**

5. Instrumen kebijakan industri hijau: apa perbedaannya dengan kebijakan industri tradisional? **16**

5.1 Peran yang lebih kuat dalam menciptakan dan membentuk pasar 20

5.2 Penekanan yang lebih besar pada inovasi, demonstrasi, dan peningkatan skala 24

5.3 Koordinasi yang lebih intensif antara investasi infrastruktur dan industri 27

5.4 Keseimbangan yang lebih sulit antara dekarbonisasi dan pembangunan ekonomi lokal ... 28

5.5 Definisi dan perlindungan lingkungan yang lebih jelas 28

5.6 Pemantauan yang lebih ketat dan evaluasi multidimensi terhadap keberhasilan kebijakan29

5.7 Bagaimana cara menyatukan semuanya? Kebutuhan yang lebih besar akan paket kebijakan yang terkoordinasi. 31

6. Kesimpulan dan implikasi bagi negara berkembang **33**

Ringkasan Eksekutif

Apa itu kebijakan industri hijau?

Kebijakan industri hijau mencakup intervensi publik yang membentuk produksi, investasi, perubahan teknologi, dan kemampuan produktif dalam mengejar tujuan ekonomi dan lingkungan. Risalah kebijakan ini akan membedakan antara **dekarbonisasi industri** – yaitu mengurangi ketergantungan kegiatan industri yang ada pada sumber daya berbasis bahan bakar fosil – dan **industrialisasi hijau**, yaitu melibatkan pengembangan kemampuan dan infrastruktur untuk menyediakan barang, teknologi, dan jasa yang dibutuhkan untuk dekarbonisasi di seluruh perekonomian. Secara bersamaan, keduanya membentuk **transisi industri hijau**.

Dekarbonisasi industri melibatkan **enam pilar**: efisiensi material dan sirkularitas; efisiensi energi dan optimasi proses; elektrifikasi industri; bahan bakar dan bahan baku rendah karbon; penangkapan, pemanfaatan, dan penyimpanan karbon; dan pendorong lintas sektor seperti infrastruktur, institusi, keuangan, dan keterampilan. Pentingnya pilar-pilar ini bervariasi menurut sektor. Misalnya, pengolahan makanan menawarkan peluang signifikan untuk elektrifikasi suhu rendah, sementara industri semen juga membutuhkan solusi untuk emisi yang timbul dari kimia produksi.

Teknologi yang dibutuhkan untuk dekarbonisasi mendalam **belum tersedia secara komersial**. Hampir 60% dari teknologi energi bersih yang dipantau oleh Badan Energi Internasional[1] belum mencapai tahap adopsi pasar. Oleh karena itu, transisi ini tidak hanya membutuhkan penerapan solusi yang sudah matang, tetapi juga pengembangan, demonstrasi, dan peningkatan skala teknologi baru.

Hambatan terhadap transisi industri hijau

Transisi industri hijau tidak terjadi secara otomatis. Perusahaan dan sistem industri menghadapi beberapa hambatan yang saling berinteraksi:

- **Hambatan teknis.** Teknologi baru memerlukan modifikasi pada pabrik dan proses yang sudah ada, sementara perusahaan memiliki kekurangan keahlian untuk mengevaluasi, mengintegrasikan, dan mengoperasikannya.
- **Hambatan ekonomi.** Biaya investasi dan operasional yang tinggi, periode pengembalian modal yang panjang, permintaan yang tidak pasti, dan aset yang ada dalam jangka waktu lama dapat melemahkan kelayakan investasi transisi.
- **Hambatan organisasi.** Dekarbonisasi membutuhkan koordinasi lintas fungsi di dalam perusahaan dan di antara produsen, perusahaan utilitas, penyedia infrastruktur, lembaga keuangan, serta pemerintah.
- **Hambatan sistem inovasi.** Hubungan yang lemah antara penelitian dan industri, fasilitas yang terbatas, serta tantangan pembiayaan proyek komersial pertama dapat mencegah teknologi baru mencapai skala besar.
- **Kendala lintas sektor.** Kurangnya infrastruktur listrik, hidrogen, atau karbon, regulasi yang tidak pasti, perizinan yang panjang, dan kekurangan keterampilan khusus dapat menghambat investasi yang layak.

Perbedaan kebijakan industri hijau dengan kebijakan industri tradisional

- **Instrumen serupa, penekanan berbeda.** Kebijakan industri hijau menggunakan banyak alat yang sama dengan kebijakan industri tradisional. Namun yang berbeda adalah kepentingan, desain, dan urutannya di bawah tantangan teknologi, lingkungan, dan koordinasi yang lebih besar.

---

[1] IEA (2025). *ETP Clean Energy Technology Guide*

- **Peran penciptaan pasar yang lebih kuat.** Produk ramah lingkungan sering menghadapi ketidakpastian lebih besar terhadap permintaan, karena manfaat lingkungannya tidak sepenuhnya dihargai oleh pasar, serta permintaan yang dapat bergantung pada kebijakan. Oleh karena itu, pengadaan, standar, insentif, dan komitmen pembelian memainkan peran yang lebih besar.
- **Dukungan yang lebih besar untuk inovasi dan peningkatan skala.** Ketidakpastian teknologi lebih tinggi karena banyak teknologi hijau masih dalam tahap demonstrasi atau komersial awal, yang berarti kebijakan harus mendukung penelitian dan pengembangan (R&D), penampilan, dan penerapan komersial pertama.
- **Koordinasi infrastruktur yang lebih intensif.** Proyek industri hijau sering kali bergantung pada infrastruktur rendah karbon baru, seperti listrik terbarukan, jaringan hidrogen, serta transportasi dan penyimpanan CO2. Oleh karena itu, investasi industri dan infrastruktur perlu dikoordinasikan lebih erat.
- **Diperlukan keseimbangan yang lebih ketat dengan pembangunan dalam negeri.** Persyaratan TKDN lebih sulit diterapkan ketika proyek ramah lingkungan sudah mahal atau secara komersial rapuh. Kondisi yang lebih bertahap seputar pelatihan, penelitian, dan pengembangan pemasok dapat lebih mendukung kemampuan dalam negeri.
- **Definisi dan perlindungan lingkungan yang lebih kuat.** Kebijakan industri hijau harus mendefinisikan kegiatan mana yang layak didukung serta pemenuhan syarat sebagai kegiatan yang benar-benar hijau atau kegiatan transisi yang kredibel. Hal tersebut berarti taksonomi, peta jalan, dan perlindungan merupakan persyaratan kebijakan yang penting.
- **Pemantauan dan evaluasi yang lebih ketat.** Selain hasil ekonomi, kebijakan industri hijau harus mengukur kinerja lingkungan yang seringkali lebih sulit untuk diverifikasi, termasuk pengurangan emisi dan kemajuan transisi.
- **Pentingnya skala kebijakan yang lebih besar.** Dikarenakan teknologi, permintaan, keuangan, infrastruktur, dan keterampilan sangat saling bergantung pada satu sama lain, kebijakan industri hijau lebih menekankan kebijakan yang terkoordinasi daripada instrumen yang terpisah-pisah.

Contoh internasional

- **Kebijakan kendaraan listrik (EV) Tiongkok** menggabungkan pengembangan teknologi, dukungan produksi, demonstrasi armada publik, insentif konsumen, dan infrastruktur pengisian daya, serta menyesuaikan bauran kebijakan seiring dengan kematangan industri.
- **Australia dan Norwegia** menunjukkan bagaimana strategi nasional dapat mengatur kebijakan keuangan, inovasi, infrastruktur, dan keterampilan di sekitar tujuan industri jangka panjang yang sama.

Implikasi bagi negara berkembang

- **Jalur transisi tergantung dengan konteks tertentu.** Kebutuhan sektoral, aset yang ada, dan kemampuan domestik membentuk jalur yang layak, dan dekarbonisasi tidak secara otomatis menghasilkan pembangunan industri domestik.
- **Pendanaan hanyalah sebagian dari solusi.** Persiapan proyek, bantuan teknis, koordinasi infrastruktur, dan kemampuan kelembagaan juga sangat penting.
- **Kelanjutan dan kredibilitas kebijakan sangat penting.** Arah kebijakan yang kokoh dapat memperkuat kepercayaan investasi, sementara taksonomi hijau dan transisi yang jelas, pelaporan yang transparan, dan verifikasi independen mengurangi praktik *greenwashing* atau *transition-washing*.

1. Pendahuluan

Transisi menuju ekonomi rendah karbon melibatkan lebih dari sekedar merubah cara energi yang dihasilkan dan dikonsumsi. Hal ini juga membutuhkan perubahan dalam produksi oleh perekonomian, bagaimana produksi diorganisasikan, serta teknologi, infrastruktur, dan kemampuan yang menjadi tumpuan aktivitas industri. Industri memiliki peran ganda dalam transformasi ini: yaitu harus mengurangi emisi dari aktivitasnya sendiri sekaligus menyediakan bahan, peralatan, teknologi, dan layanan yang dibutuhkan untuk melakukan dekarbonisasi dari bagian lain dalam perekonomian. Kebijakan industri hijau membawa pertanyaan-pertanyaan mengenai produksi dan pembangunan kemampuan ini ke dalam kebijakan iklim, sekaligus membawa tujuan lingkungan ke dalam pembangunan industri.

Risalah kebijakan yang singkat ini akan membedakan antara dua proses yang saling terkait: **dekarbonisasi industri** berkaitan dengan pengurangan emisi dari aktivitas industri saat ini melalui perubahan penggunaan energi, material, proses produksi, dan sistem pendukung; dan **industrialisasi hijau** melibatkan pengembangan kemampuan produktif dan teknologi yang dibutuhkan untuk memasok barang dan jasa yang diperlukan untuk dekarbonisasi di seluruh perekonomian. Dengan bersamaan, proses-proses ini membentuk transisi industri hijau. Keduanya dapat saling memperkuat, namun hubungannya tidak otomatis: pengurangan emisi tidak selalu dapat membangun kemampuan produktif domestik, sementara pengembangan industri hijau baru tidak selalu mendekarbonisasi produksi yang ada. Perbedaan ini sangat penting bagi negara-negara berkembang yang berupaya menghubungkan peningkatan lingkungan dengan pembelajaran teknologi, lapangan kerja terampil, dan diversifikasi industri.

Memahami transisi ini membutuhkan fokus pada karakteristik berbagai industri. Fasilitas pengolahan makanan, pabrik baja, dan pabrik semen memiliki kebutuhan energi, sumber emisi, teknologi produksi, dan siklus investasi yang berbeda. Beberapa peningkatan dapat dicapai menggunakan teknologi yang sudah mapan, sementara yang lain bergantung pada solusi yang membutuhkan pengembangan, penampilan, dan peningkatan skala komersial. Dalam kedua kasus tersebut, kemajuan bergantung pada lebih dari sekedar ketersediaan peralatan. Perusahaan juga membutuhkan pembiayaan yang memadai, infrastruktur yang andal, pekerja terampil, dukungan teknis, dan permintaan yang cukup untuk produk mereka. Persyaratan ini saling terkait, sehingga menjadikan transisi ini sebagai tantangan untuk transformasi sistem secara industri.

Dengan demikian, risalah kebijakan ini memperkenalkan konsep, kebutuhan industri, dan pilihan kebijakan yang terkait dengan transisi industri hijau. Tiga pertanyaan akan dibahas: apa yang ingin diubah oleh kebijakan industri hijau; mengapa transisi yang secara teknis layak tidak selalu terjadi; dan bagaimana persyaratan kebijakan yang dihasilkan berbeda dari kebijakan industri tradisional? Analisis ini juga akan berfokus pada mitigasi perubahan iklim di industri, mengingat bahwa ketahanan infrastruktur dan dampak lingkungan di luar emisi karbon juga memengaruhi rancangan transisi industri.

Argumen utamanya adalah bahwa kebijakan industri hijau memanfaatkan instrumen-instrumen yang sudah dikenal, termasuk pengadaan publik, hibah, insentif pajak, pinjaman, jaminan, investasi infrastruktur, dukungan penelitian, pelatihan, standar, dan regulasi. Ciri khasnya terletak pada bagaimana instrumen-instrumen ini dirancang, dikombinasikan, diurutkan, dan dievaluasi. Penekanan yang lebih besar diberikan pada penciptaan pasar, pengelolaan ketidakpastian teknologi, koordinasi investasi yang saling bergantung, penetapan perbaikan lingkungan yang kredibel, dan penilaian hasil ekonomi dan lingkungan secara bersamaan.

Risalah kebijakan ini disusun sebagai berikut. Bagian 2 akan memperkenalkan konsep-konsep utama dan definisi-definisi penting. Bagian 3 akan mengkaji kebutuhan transisi berbagai industri, termasuk pilar dekarbonisasi umum, jalur spesifik pada sektor, dan perbedaan kematangan teknologi. Bagian 4 akan menjelaskan hambatan yang mencegah transisi ini terjadi. Bagian 5 akan membahas instrumen kebijakan yang tersedia dan penerapannya yang khas dalam

kebijakan industri hijau. Dan Bagian 6 akan merangkum kesimpulan dan mempertimbangkan implikasinya bagi negara-negara berkembang.

2. Konsep-konsep utama

2.1 Apa itu kebijakan industri hijau?

Kebijakan industri hijau semakin menonjol dalam perdebatan tentang aksi iklim, daya saing, dan pembangunan ekonomi, namun definisi yang disepakati pada umumnya masih belum matang. Cakupannya sebagian bergantung pada bagaimana kebijakan industri dan tujuan lingkungan dipahami. Kebijakan industri dapat merujuk pada dukungan untuk sektor dan teknologi tertentu, atau secara lebih luas pada tindakan publik yang membentuk struktur produktif, kemampuan, dan perubahan teknologi. Tujuan lingkungan dapat berpusat pada mitigasi perubahan iklim, atau meluas ke adaptasi perubahan iklim, kerugian akibat perubahan iklim, dan pengendalian kerusakan, atau dampak lingkungan lainnya seperti polusi dan hilangnya keanekaragaman hayati. Beberapa pendekatan juga menekankan pengurangan atau penghapusan bertahap bentuk produksi yang dampak lingkungannya belum dapat dimitigasi secara memadai.[2] Oleh karena itu, kebijakan industri hijau mencakup berbagai pendekatan yang mencerminkan kombinasi-kombinasi berbeda dari tujuan dan bentuk intervensi tersebut.[3]

Yang membedakan kebijakan industri hijau adalah fokusnya pada perubahan ekonomi produktif dalam mengejar tujuan ekonomi dan lingkungan. Kebijakan ini menggunakan intervensi publik untuk membentuk produksi, investasi, perubahan teknologi, dan kemampuan produktif, termasuk apa yang diproduksi perusahaan, bagaimana mereka memproduksinya, teknologi dan input yang mereka gunakan, serta kemampuan dan posisi dalam rantai nilai yang dikembangkan oleh suatu ekonomi. Fokus ini membedakan kebijakan industri hijau dari kebijakan lingkungan atau iklim secara lebih luas, yang mungkin mengurangi emisi atau kerusakan lingkungan lainnya tanpa berupaya membentuk kembali produksi atau kemampuan industri.[4]

Fokus pada ekonomi produktif ini mencakup dua transformasi terkait: **dekarbonisasi industri** dan **industrialisasi hijau**. Dekarbonisasi industri berkaitan dengan pengurangan emisi dari aktivitas industri yang ada dengan mengubah penggunaan energi, bahan baku, proses produksi, dan aspek lain dari produksi industri. Hal tersebut dapat melibatkan peningkatan efisiensi dan perbaikan, tetapi pengurangan yang lebih seringkali membutuhkan teknologi produksi baru, bahan dan sumber energi yang berbeda, rantai pasokan yang diatur ulang, atau penggantian dan penghapusan aset yang tidak kompatibel. Industrialisasi hijau melibatkan pembangunan kemampuan produktif dan teknologi yang dibutuhkan untuk memasok barang, teknologi, dan jasa yang diperlukan untuk dekarbonisasi semua bidang ekonomi kita, termasuk industri itu sendiri, sistem energi dan transportasi, lingkungan binaan, dan pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya (AFOLU). Kemampuan yang dibutuhkan untuk industrialisasi hijau meliputi kemampuan manufaktur dan ekosistem pendukung yang lebih luas, seperti kegiatan R&D, layanan teknik, sistem pengujian dan sertifikasi, dan sistem pengembangan keterampilan tenaga kerja.[5] Bersama-sama, kedua proses ini membentuk apa yang disebut dalam risalah kebijakan ini sebagai **transisi industri hijau**. Keduanya dapat saling memperkuat, akan tetapi harus dinilai

---

[2] Hauge dan Hickel (2025). *A progressive framework for green industrial policy.*

[3] OECD (2024). *Green Industrial Policies for the Net-Zero Transition*; Juhász, Lane dan Rodrik (2024). *The New Economics of Industrial Policy*; OECD (2011). *Towards Green Growth*; Peres dkk. (2026). *Green Industrial Policy: Where From, Where To?*

[4] Juhász, Lane dan Rodrik (2024). *The New Economics of Industrial Policy*; Hallegatte, Fay dan Vogt-Schilb (2013). *Green Industrial Policies: When and How*; Meckling (2021). *Making Industrial Policy Work for Decarbonization.*

[5] UNIDO (2011). *UNIDO Green Industry: Policies for Supporting Green Industry*; Anzolin dan Lebdioui (2023). *Policy Action for Greening Industrial Development: Coordinating Low Carbon Consumption, Production & Innovation.*

secara terpisah: mengurangi emisi industri tidak selalu membangun kemampuan produktif domestik; dan mengembangkan industri hijau tidak serta merta mengurangi emisi karbon dari produksi yang sudah ada.

Kedua proses tersebut dapat mengubah struktur produktif, tetapi dengan cara yang berbeda. Dekarbonisasi industri mengubah **cara** industri yang ada berproduksi, sementara industrialisasi hijau dapat mengubah **apa** yang diproduksi oleh suatu ekonomi, teknologi dan rantai nilai yang diikutinya, serta kemampuan yang dikembangkannya. Oleh karena itu, transformasi struktural dapat terjadi melalui perubahan di **sektor yang ada** dan melalui munculnya **sektor-sektor baru**. Mengganti teknologi inti, input, dan sistem produksi di industri yang sudah mapan dapat menghasilkan transformasi produktif yang substansial.[6]

Jalur dekarbonisasi berbeda di berbagai sektor dalam hal teknologi, sumber energi, bahan baku, infrastruktur, dan kemampuan yang dibutuhkan, serta hambatan yang membatasi penerapannya. Memahami perbedaan ini akan membutuhkan analisis spesifik sektor dan teknologi. Oleh karena itu, bagian selanjutnya dari risalah kebijakan ini akan membahas persyaratan transisi dari berbagai industri, hambatan yang mencegah perusahaan dan sistem produksi untuk memenuhinya, serta kebijakan dan kelembagaan yang dibutuhkan untuk mengatasi hambatan tersebut.

2.2 Definisi-definisi penting yang digunakan dalam risalah kebijakan ini

Kebijakan industri hijau. Intervensi publik yang membentuk produksi, investasi, perubahan teknologi, dan pengembangan kemampuan produktif dalam mengejar tujuan ekonomi dan lingkungan.

Transisi industri hijau. Transformasi struktur dan aktivitas industri suatu ekonomi menuju keadaan yang lebih ramah lingkungan, dengan menggabungkan proses dekarbonisasi industri beserta industrialisasi hijau.

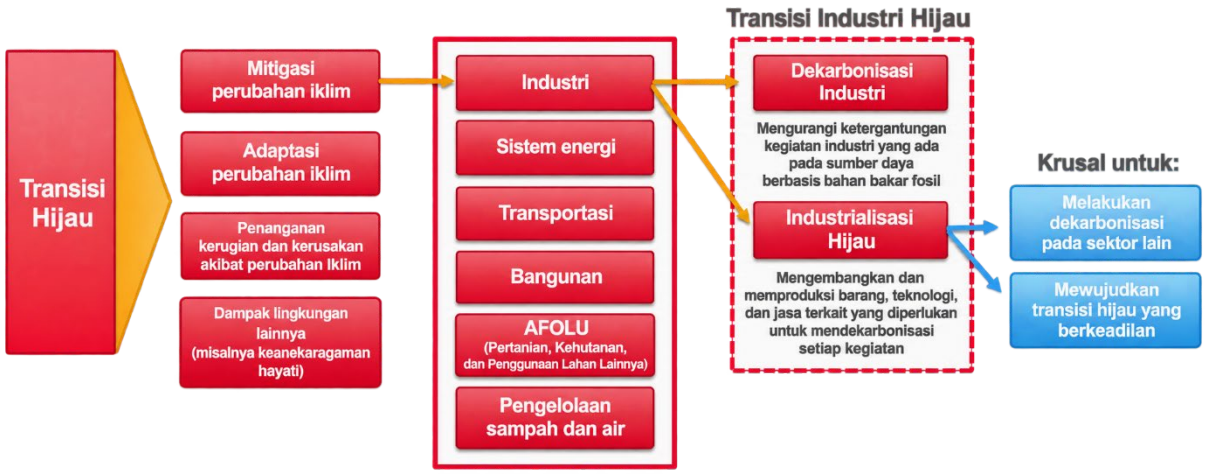
Dekarbonisasi industri. Perubahan pada aktivitas industri yang ada agar tidak bergantung pada sumber daya tak terbarukan.

Industrialisasi hijau. Mengembangkan kemampuan produktif dan teknologi serta infrastruktur untuk menyediakan barang, teknologi, dan jasa industri yang dibutuhkan untuk melakukan dekarbonisasi pada seluruh perekonomian.

Meskipun transisi industri hijau secara konseptual juga dapat mencakup pertimbangan adaptasi perubahan iklim, dalam risalah kebijakan ini fokus kami adalah pada mitigasi perubahan iklim di industri. Gambar 1 memberikan ringkasan skematis dari cakupan analisis dalam risalah kebijakan ini.

[6] Peres dkk. (2026). *Green Industrial Policy: Where From, Where To?*; IEA (2022). *Achieving Net Zero Heavy Industry Sectors in G7 Members.*

Gambar 1 Cakupan analisis: transisi industri **hijau**



Sumber: Cambridge Industrial Innovation Policy.

3. Kebutuhan transisi hijau dari berbagai industri

Merancang kebijakan industri hijau yang efektif membutuhkan pemahaman yang jelas tentang bagaimana kebutuhan transisi berbeda di berbagai industri. Secara umum, dekarbonisasi industri melibatkan adaptasi, pengaturan ulang, atau dalam beberapa kasus, penggantian proses produksi, model bisnis, dan rantai pasokan. Hal ini melibatkan penerapan praktik dan teknologi yang sudah mapan, yang lebih efisien dalam penggunaan sumber daya, kurang intensif emisi, dan kurang berbahaya bagi lingkungan dibandingkan alternatif yang ada, serta pengembangan dan peningkatan skala solusi baru yang dibutuhkan untuk pengurangan emisi secara lebih dalam.

Pentingnya penerapan teknis dari solusi-solusi ini sangat bervariasi menurut industri, yang berarti tidak ada satu jalur khusus untuk dekarbonisasi industri. Meskipun industri-industri memiliki beberapa pilar transisi yang luas, teknologi, infrastruktur, dan strategi implementasi yang terkait dengan setiap pilar harus disesuaikan dengan proses produksi dan sumber emisi spesifik sektor tersebut.

3.1 Pilar-pilar umum dekarbonisasi industri

Strategi dekarbonisasi industri umumnya berpusat pada enam pilar yang berulang[7]:

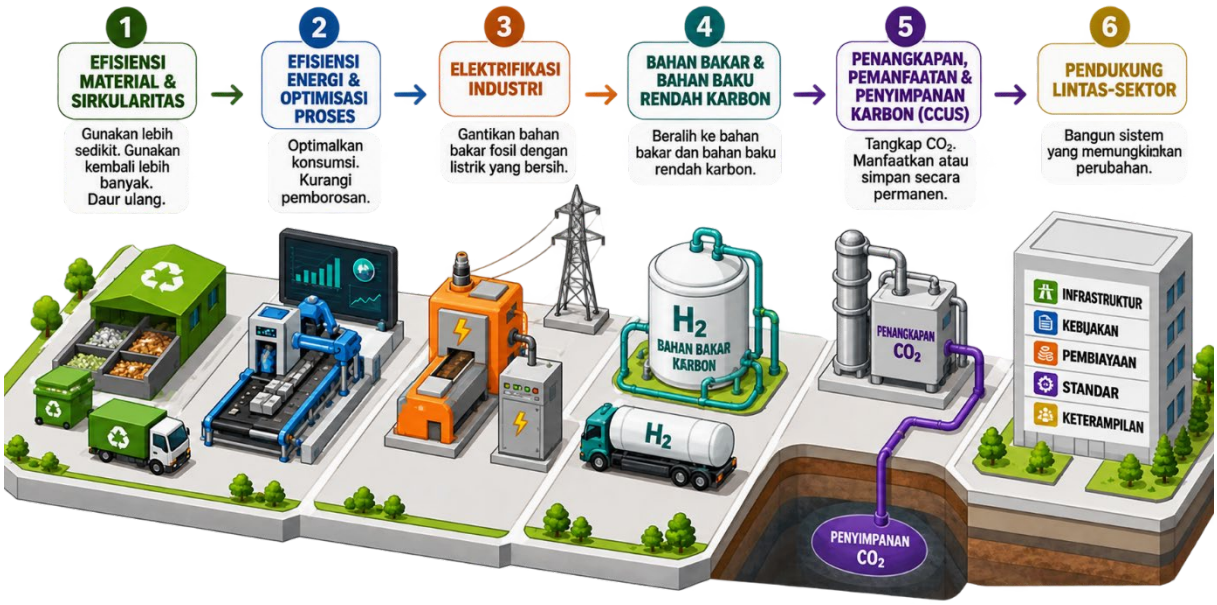
- **Efisiensi material dan sirkularitas.** Pilar ini berupaya mengurangi permintaan akan bahan baku primer yang menghasilkan emisi tinggi dengan meningkatkan desain produk, memperpanjang umur produk, mengurangi limbah, dan meningkatkan penggunaan kembali, perbaikan, dan daur ulang.
- **Efisiensi energi dan optimasi proses.** Perusahaan dapat menurunkan konsumsi energi dan emisi dengan memperbaharui peralatan, daur ulang panas limbah, meningkatkan kontrol proses, dan menggunakan teknologi digital untuk mengoptimalkan produksi.
- **Elektrifikasi industri.** Elektrifikasi menggantikan penggunaan langsung bahan bakar fosil dengan listrik pada peralatan industri dan proses pembangkitan panas, dengan syarat tersedianya daya rendah karbon dan kapasitas jaringan yang memadai.
- **Bahan bakar dan bahan baku rendah karbon.** Di daerah di mana elektrifikasi langsung secara teknis sulit dilakukan, bahan bakar fosil dan stok dapat diganti dengan alternatif seperti hidrogen hijau, biomassa berkelanjutan, biogas, atau bahan bakar sintetis.
- **Penangkapan, pemanfaatan, dan penyimpanan karbon (CCUS).** CCUS dapat menangkap emisi sisa dari proses industri, khususnya di sektor-sektor yang mana karbon dioksida dihasilkan secara kimiawi dan tidak dapat dihilangkan hanya melalui penggantian bahan bakar.
- **Faktor pendukung lintas sektor.** Penerapan solusi ini bergantung pada infrastruktur pendukung, lembaga dan regulasi yang efektif, akses ke pendanaan, standar teknis, dan tenaga kerja dengan keterampilan yang dibutuhkan untuk memasang dan mengoperasikan teknologi baru.

Pilar-pilar ini saling melengkapi, bukan saling eksklusif. Sebuah fasilitas industri perlu menggabungkan efisiensi material, optimasi energi, elektrifikasi, bahan bakar alternatif, dan penangkapan karbon untuk mencapai pengurangan emisi yang signifikan. Kombinasi yang tepat

[7] IEA (2022). *Cross-Cutting Technologies & Infrastructure.*
US Department of Energy (2022). *Industrial Decarbonization Roadmap.*
Energy Transitions Commission (2020). *Making Mission Possible: Delivering a Net-Zero Economy.*
Rissman dkk. (2020). *Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070.*
Kim dkk. (2024). *Energy, material, and resource efficiency for industrial decarbonization: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options.*

akan bergantung pada sektornya, usia dan konfigurasi aset yang ada, kondisi energi dan infrastruktur lokal, serta kematangan dan biaya teknologi yang tersedia.

Gambar 2Enam pilar dekarbonisasi industri



Sumber: Cambridge Industrial Innovation Policy.

Beberapa langkah dapat diimplementasikan melalui perubahan bertahap pada fasilitas yang ada, khususnya peningkatan efisiensi energi dan optimasi proses. Akan tetapi, dekarbonisasi secara dalam seringkali membutuhkan lebih dari sekedar perbaikan aset yang sudah ada. Di sektor-sektor yang sulit dikurangi emisinya seperti baja, semen, atau bahan kimia, mengubah kimia atau fisika dasar produksi mungkin memerlukan konfigurasi pabrik baru, sambungan utilitas, rantai pasokan bahan baku, dan sistem logistik. Dalam beberapa kasus, penghentian penggunaan aset yang bergantung pada bahan bakar fosil dapat dilakukan sebelum akhir masa pakai yang diharapkan, menggantikannya dengan berinvestasi dalam jalur produksi baru.

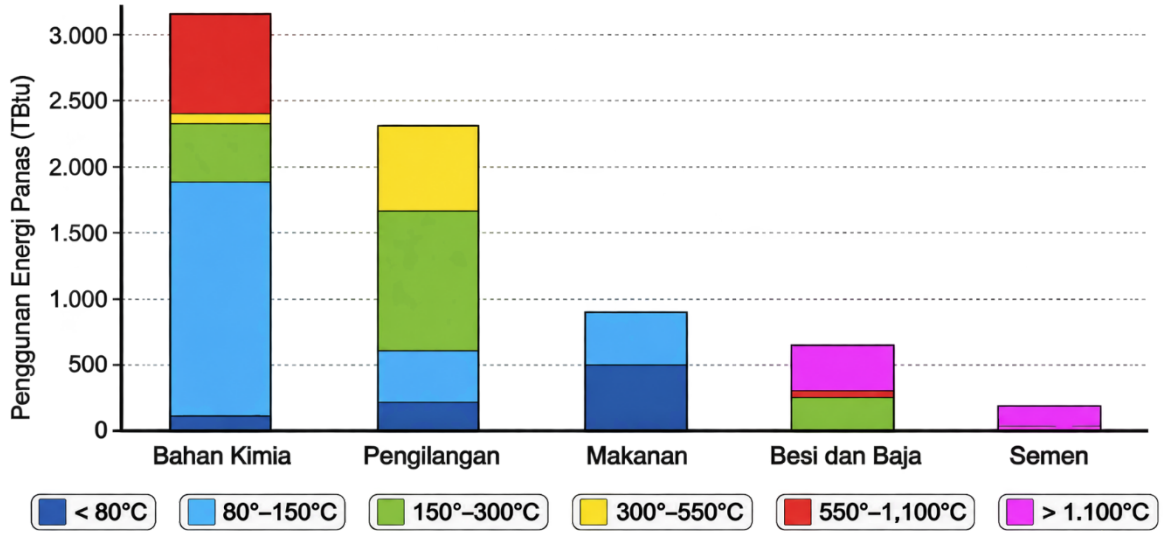
3.2 Sektor industri memerlukan jalur dekarbonisasi yang berbeda

Perbedaan dalam panas proses industri menggambarkan mengapa strategi khusus sektor diperlukan. Departemen Energi AS memperkirakan bahwa kebutuhan panas industri berkisar dari sekitar 80°C untuk aktivitas seperti pasteurisasi susu dan krim, hingga jauh di atas 1.000°C dalam produksi semen. Pemanasan proses juga merupakan sumber penggunaan energi industri terbesar. Variasi ini penting karena panas suhu rendah dan menengah seringkali dapat dialiri listrik menggunakan teknologi yang sudah ada, termasuk pompa panas dan boiler listrik. Sedangkan itu proses suhu sangat tinggi memerlukan teknologi listrik khusus, bahan bakar berbasis hidrogen, biomassa berkelanjutan, atau kombinasi dari pilihan-pilihan ini (yang mana banyak di antaranya belum tersedia secara komersial).[8]

---

[8] IEA (2022). *Cross-Cutting Technologies & Infrastructure.*
US Department of Energy (2022). *Industrial Decarbonization Roadmap.*
Energy Transitions Commission (2020). *Making Mission Possible: Delivering a Net-Zero Economy.*
Rissman dkk. (2020). *Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070.*
Kim dkk. (2024). *Energy, material, and resource efficiency for industrial decarbonization: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options.*
[8] US Department of Energy (2022). *Industrial Decarbonization Roadmap.*

Gambar 3 Distribusi rentang suhu panas proses menurut subsektor industri AS, 2014



Sumber: Departemen Energi AS (2022).

Prinsip yang sama berlaku untuk bahan baku industri. Di sektor kimia, sumber daya fosil seperti gas alam digunakan sebagai sumber energi dan bahan baku. Dalam pembuatan baja konvensional, batu bara menyediakan panas, bertindak sebagai reduktan kimia, dan memasok karbon ke paduan akhir. Oleh karena itu, penggantian bahan bakar fosil di sektor-sektor ini melibatkan lebih dari sekedar perubahan sumber energi: perubahan memerlukan molekul alternatif, peralatan baru, dan jalur produksi yang berbeda.

Akibatnya, prioritas transisi bersifat sangat berbeda di berbagai sektor. Produsen semen harus mengatasi emisi terkait bahan bakar dan emisi proses dari kalsinasi batu kapur. Produsen besi dan baja harus mengganti atau memodifikasi proses reduksi yang intensif karbon secara lebar. Dan produsen kimia perlu mengurangi emisi yang terkait dengan penggunaan energi dan karbon yang terkandung dalam bahan baku dan produk. Sebaliknya, sektor makanan dan minuman umumnya lebih bergantung pada panas suhu rendah dan memiliki peluang lebih besar untuk elektrifikasi, peningkatan efisiensi, pemulihan panas, optimasi pendinginan, dan perubahan dalam pengemasan dan logistik. Perbandingan sektoral pada Gambar 5 juga menunjukkan bahwa pilar dekarbonisasi yang sama secara luas menghasilkan teknologi yang sangat berbeda di sektor baja, semen, kimia, makanan dan minuman, serta transportasi berat.

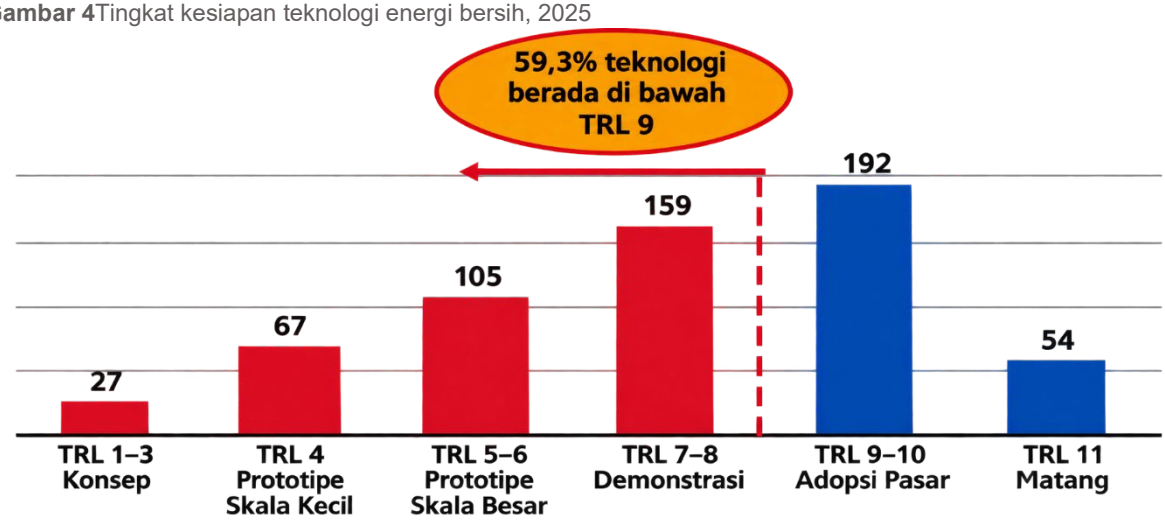
Perbedaan-perbedaan ini memiliki implikasi kebijakan yang penting. Pemerintah tidak dapat mengandalkan langkah-langkah horizontal yang memperlakukan semua perusahaan industri secara sama. Mereka membutuhkan pengetahuan sektoral yang memadai untuk mengidentifikasi teknologi, infrastruktur, siklus investasi, dan kebutuhan koordinasi yang terkait dengan setiap industri. Urutan kebijakan juga harus mencerminkan perbedaan dalam masa guna aset dan kematangan teknologi: langkah-langkah yang dapat menghasilkan pengurangan emisi yang cepat di satu sektor belum tentu tepat atau secara ekonomi tidak layak di sektor lain.

3.3 Banyak teknologi penting yang masih perlu dikembangkan dan ditingkatkan skalanya.

Ciri khas kedua dari transisi industri hijau adalah bahwa banyak teknologi yang dibutuhkan untuk dekarbonisasi lebih dalam belum mencapai penerapan komersial yang luas. *Panduan Teknologi Energi Bersih ETP dari Badan Energi Internasional* melacak ratusan desain dan komponen teknologi, bersama dengan kematangan, rencana pengembangan, dan status penerapannya. Analisis yang direproduksi pada Gambar 4 menunjukkan bahwa sekitar 60% dari teknologi ini

masih berada di bawah tingkat kesiapan teknologi (TRL) 9.[9], dan oleh karena itu belum mencapai tahap penerimaan pasar.

Gambar 4 Tingkat kesiapan teknologi energi bersih, 2025



Sumber: Cambridge Industrial Innovation Policy, berdasarkan IEA (2025) .

Karenanya, transisi industri hijau bergantung pada dua proses paralel. Pertama, solusi yang matang dan tersedia secara komersial perlu penyebaran cepat, termasuk langkah efisiensi energi, praktik efisiensi material, dan teknologi elektrifikasi yang sudah mapan. Hal ini dapat menghasilkan pengurangan emisi jangka pendek sekaligus menghasilkan pengalaman dan pembelajaran melalui praktik. Kedua, pengembangan, demonstrasi, dan peningkatan skala teknologi baru yang akan diperlukan untuk dekarbonisasi yang lebih mendalam, termasuk proses industri berbasis hidrogen, elektrifikasi suhu tinggi, bahan bakar sintetis, dan sistem CCUS yang canggih.

Mencapai TRL (Technology Readiness Level) yang tinggi hanyalah satu tahap dalam proses ini. Setelah suatu teknologi terbukti secara teknis, kapasitas produksi harus diperluas, rantai pasokan harus dibangun, pekerja harus dilatih, standar dan peraturan harus diperkenalkan, infrastruktur harus dibangun, dan biaya produksi harus dikurangi. Perusahaan juga harus mengamankan pelanggan dan pembiayaan untuk pabrik komersial pertama, yang seringkali jauh lebih mahal dan berisiko daripada alternatif yang sudah mapan.

Karakteristik ini berarti bahwa kebijakan industri hijau harus mengatasi serangkaian kebutuhan yang heterogen. Kebijakan ini harus mendukung penyebaran solusi yang telah terbukti sekaligus mendanai penelitian, demonstrasi, dan penerapan komersial tahap awal. Kebijakan ini juga harus mengkoordinasikan investasi dalam fasilitas produksi dengan investasi dalam jaringan listrik, pasokan hidrogen, transportasi dan penyimpanan karbon, logistik, standar, keterampilan, dan kemampuan bersama lainnya. Dekarbonisasi industri bukan hanya soal mendorong perusahaan untuk mengadopsi peralatan yang lebih bersih, melainkan merupakan transformasi sistemik yang membutuhkan strategi khusus sektor dan tindakan terkoordinasi di seluruh teknologi, infrastruktur, institusi, dan pasar.

[9]TRL (Technology Readiness Level) menggambarkan kematangan suatu teknologi dari penelitian ilmiah awal hingga penerapan komersial yang luas. Kerangka kerja yang digunakan di sini adalah sebagai berikut: TRL 1 – prinsip dasar diamati; TRL 2 – konsep teknologi dirumuskan; TRL 3 – bukti konsep eksperimental; TRL 4 – teknologi divalidasi di laboratorium; TRL 5 – teknologi divalidasi di lingkungan yang relevan; TRL 6 – teknologi didemonstrasikan di lingkungan yang relevan; TRL 7 – prototipe sistem didemonstrasikan di lingkungan operasional; TRL 8 – sistem lengkap memenuhi syarat dan terbukti berfungsi; TRL 9 – teknologi terbukti melalui pengoperasian yang sukses di lingkungan yang dituju; TRL 10 – teknologi memasuki pasar dan penerapan komersial yang lebih luas; dan TRL 11 – teknologi matang, mapan secara komersial dan diterapkan dalam skala besar.

Gambar 5 Kebutuhan teknologi dan faktor pendukung lintas sektor untuk transisi industri hijau di lima sektor yang sulit dikurangi emisinya .

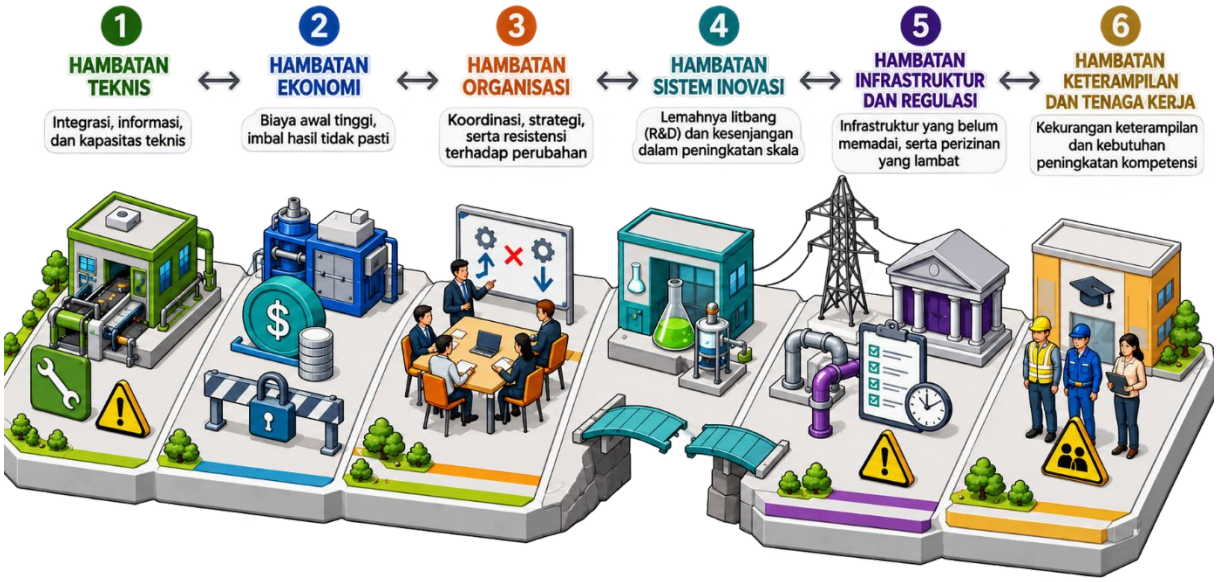
Contoh non-komprehensif di sektor yang sulit dikurangi emisinya	Baja		Semen		Bahan Kimia		Makanan & Minuman		Transportasi Berat	
	Penerapan praktik & teknologi yang telah matang	Pengembangan dan penskalaan teknologi tahap awal	Penerapan praktik & teknologi yang telah matang	Pengembangan dan penskalaan teknologi tahap awal	Penerapan praktik & teknologi yang telah matang	Pengembangan dan penskalaan teknologi tahap awal	Penerapan praktik & teknologi yang telah matang	Pengembangan dan penskalaan teknologi tahap awal	Penerapan praktik & teknologi yang telah matang	Pengembangan dan penskalaan teknologi tahap awal
1. Efisiensi material & sirkularitas	• Baja daur ulang melalui tungku busur listrik (EAF) • Peningkatan rendemen & efisiensi material	• Material ringan di sektor penggunaan akhir • Baja ringan berkekuatan tinggi	• Substitusi klinker dengan SCM • Desain campuran beton yang dioptimalkan	• Bahan pengikat baru (LC, geopolimer) • Material konstruksi berbasis hayati	• Desain produk yang lebih baik & penurunan intensitas material • Daur ulang plastik secara mekanis	• Daur ulang kimia tingkat lanjut • Model bisnis sirkular	• Pengurangan kehilangan & limbah pangan • Optimalisasi pengemasan	• Pengemasan sirkular & sistem guna ulang • Daur ulang sampingan pangan menjadi produk lain	• Pengurangan bobot kendaraan • Peningkatan logistik & faktor muatan	• Pengurangan permintaan angkutan jarak jauh & modal • Sirkularitas baterai & material
2. Efisiensi energi & optimalisasi proses	• Peningkatan tungku BF–BOF melalui BAT • Pemanfaatan kembali panas buang	• Pengendalian proses berbasis AI • Pengecoran bentuk mendekati akhir (near-net-shape)	• Tungku prapemanas/ pratalsiner modern • Pemulihan panas buang	• Optimasi tungku berbasis AI • Pengendalian digital tingkat lanjut	• Perengkahan & distilasi efisiensi tinggi • Peningkatan katalis	• Pemisahan membran & hibrida • Kembaran digital berbasis AI	• Optimalisasi boiler/ uap • Pendinginan motor & refrigerasi yang efisien	• Kaskade panas terintegrasi • Optimalisasi proses batch berbasis AI	• Peningkatan efisiensi mesin • Aerodinamika/ penurunan hambatan gulir	• Peningkatan berkelompok (platooning) truk & berkoneksi • Optimalisasi logistik berbasis AI
3. Elektrifikasi	• Tungku busur listrik	• Reduksi langsung berbasis hidrogen (H_2-DRI) • Pembuatan besi dengan elektrolisis	• Sistem pendukung yang dielektrifikasi	• Tungku listrik • Pompa kalor suhu tinggi	• Penggerak listrik & pompa	• Perengkahan uap listrik • Jalur produksi petrokimia berbasis listrik	• Proses suhu rendah yang dielektrifikasi • Boiler listrik	• Pompa panas industri • Pengeringan/ pemanggangan berbasis listrik	• Truk berbasis baterai (perkotaan/ regional) • Pengisian daya di depo	• Pengisian daya berkapasitas megawatt untuk jarak jauh • Truk berbahan bakar sel hidrogen
4. Bahan bakar rendah karbon & bahan baku	• DRI berbasis gas alam • Kokarbonisasi biomassa	• DRI berbasis H_2 dengan porsi tinggi • DRI berbasis H_2 hijau	• Bahan bakar biomassa/limbah untuk tungku	• Bahan bakar tungku berbasis hidrogen • Bahan bakar sintetis untuk tungku	• Hidrogen berbasis NG (SMR) • Pemrosesan bersama minyak nabati/nafta/biomassa	• Amonia hijau • Plastik berbasis bio & CO_2	• Pergeseran ke biogas/NG • Pemanfaatan panas dari limbah biomassa	• Biomethana dengan porsi tinggi • Hidrogen/ bahan bakar elektronik (e-fuels)	• HVO/biodiesel • Truk LNG/ biometana	• Hidrogen hijau untuk HDV • Bahan bakar sintetis (e-fuels)
5. CCUS (Penangkapan, Pemanfaatan, dan Penyimpanan Karbon)	• Penangkapan CO_2 pada BF–BOF	• Penaurangan emisi peleburan + CCUS • DRI + CCUS	• Penangkapan amina pada tungku	• Tungku oxyfuel + penangkapan • Siklus kalsium (calcium looping)	• Penangkapan dari aliran dengan kemurnian tinggi	• CCS pada unit perengkahan untuk bahan kimia berbasis CO_2	• Penangkapan pada sistem CHP terpusat (implementasi terbatas)	• BECCS (CCS berbasis bioenergi)	• CCUS pada produksi bahan bakar	• Penangkapan CO_2 on-board • BECCS dalam produksi biofuel
Faktor pendukung lintas sektor	**Infrastruktur** • Sistem energi bersih • Jaringan hidrogen • Transportasi & penyimpanan CO_2 • Klaster industri		**Kerangka kelembagaan** • Regulasi terkait teknologi hijau • Standar & sertifikasi untuk teknologi hijau • Standar pelaporan emisi		**Keterampilan tenaga kerja** • Teknisi terampil di bidang teknologi hijau • Tenaga kerja STEM yang terspesialisasi dalam teknologi hijau					

Sumber: CIIP (mendatang). *Green industrial transition needs and barriers.*

4. Hambatan transisi industri hijau

Jalur teknologi yang dijelaskan di Bagian 3.3 tidak secara otomatis diterjemahkan menjadi dekarbonisasi industri. Perusahaan menghadapi kombinasi **hambatan teknis, ekonomi, organisasi, dan sistem inovasi**, yang diperparah oleh kelemahan dalam faktor pendukung lintas sektor seperti infrastruktur, institusi, keuangan, dan keterampilan tenaga kerja (Gambar 6). Hambatan-hambatan ini memengaruhi penerapan teknologi baik yang sudah mapan maupun pengembangan, demonstrasi, dan peningkatan skala solusi yang baru muncul.

Gambar 6Hambatan transisi industri hijau



Sumber: Cambridge Industrial Innovation Policy.

Hambatan teknis muncul karena teknologi yang bahkan telah tersedia secara komersial pun harus diintegrasikan ke dalam peralatan, proses produksi, dan kondisi operasional yang ada. Adopsi memerlukan modifikasi pabrik, gangguan produksi, dan perubahan pada proses hulu atau hilir. Perusahaan juga dapat mengalami kekurangan **kapasitas penyerapan** yang dibutuhkan untuk mengevaluasi, mengadaptasi, dan mengoperasikan teknologi yang tidak dikenal, terutama usaha kecil dan menengah (UKM) dengan sumber daya teknik yang terbatas dan akses ke keahlian khusus. Akibatnya, teknologi yang secara teknis sudah matang mungkin masih dianggap berisiko secara operasional.

Hambatan ekonomi sangat signifikan. Proyek industri hijau seringkali melibatkan biaya modal awal yang tinggi, periode pengembalian modal yang panjang, dan pendapatan masa depan yang tidak pasti. Terdapat juga kemungkinan bahwa jalur produksi rendah karbon tetap lebih mahal daripada alternatif konvensional karena biaya listrik, hidrogen, bahan baku berkelanjutan, atau peralatan khusus yang lebih tinggi, sementara pelanggan mungkin tidak mau membayar harga premium untuk produk yang lebih ramah lingkungan. Hal ini menciptakan **ketidakpastian permintaan yang substansial**, terutama untuk produk yang relatif homogen seperti baja, semen, bahan kimia, dan pupuk. Aset yang ada dengan umur panjang semakin memperumit keputusan investasi: perusahaan mungkin menunda penggantian peralatan yang intensif karbon sebelum akhir masa gunanya, sementara investasi terlalu dini pada teknologi baru menciptakan risiko keusangan teknologi.

Hambatan organisasi dapat semakin memperlambat transisi. Dekarbonisasi membutuhkan perubahan dalam strategi, rutinitas, dan tanggung jawab perusahaan, dan seringkali menuntut koordinasi antara fungsi keberlanjutan, produksi, pengadaan, teknik, dan keuangan dengan prioritas dan jangka waktu yang berbeda. Di perusahaan multinasional, keputusan investasi besar juga dapat dibuat di kantor pusat, sehingga membatasi otonomi anak perusahaan lokal. Di

luar perusahaan individual, banyak proyek transisi membutuhkan tindakan serentak dari produsen, perusahaan utilitas, operator infrastruktur, penyedia teknologi, lembaga keuangan, dan pemerintah, yang dapat menciptakan tantangan koordinasi.

Untuk teknologi yang kurang matang, tantangan ini meluas ke **sistem inovasi**. Kurangnya investasi dalam R&D, lemahnya hubungan antara organisasi penelitian dan industri, serta terbatasnya infrastruktur dapat memperlambat pengembangan teknologi. Hambatan yang sangat penting adalah **"lembah kematian"** antara penampilan dan penerapan komersial, di mana proyek-proyek *first-of-a-kind* (FOAK) terlalu padat modal bagi pemodal ventura tetapi terlalu berisiko bagi pemberi pinjaman konvensional. Komersialisasi juga membutuhkan kemampuan pelengkap – termasuk pemasok, kapasitas manufaktur, standar, sertifikasi, fasilitas pengujian, dan layanan pemeliharaan – yang mungkin tidak ada.

Terakhir, transisi industri hijau bergantung pada **pendorong lintas sektor** yang tidak dapat disediakan oleh perusahaan individual saja. Elektrifikasi skala besar membutuhkan kapasitas jaringan yang memadai dan listrik rendah karbon; produksi berbasis hidrogen bergantung pada produksi, transportasi, dan penyimpanan hidrogen; dan CCUS membutuhkan infrastruktur transportasi dan penyimpanan. Hal ini menciptakan masalah koordinasi yang berulang: perusahaan menunggu infrastruktur sebelum berinvestasi, sementara penyedia infrastruktur menunggu permintaan yang cukup. Perizinan yang panjang, regulasi yang tidak pasti, standar yang tidak konsisten, dan sistem pemantauan, pelaporan, dan verifikasi yang lemah juga dapat meningkatkan risiko dan menunda investasi. Kekurangan insinyur, teknisi, teknisi listrik, pekerja konstruksi, dan pekerja lainnya dapat menjadi kendala tambahan di semua jalur transisi.

Hambatan-hambatan ini saling memperkuat. Sebuah proyek yang secara teknis layak mungkin tetap tidak menarik secara komersial karena biaya yang tinggi atau permintaan yang tidak pasti; investasi yang menjanjikan secara ekonomi mungkin terhalang oleh kurangnya infrastruktur atau keterampilan; dan teknologi baru mungkin gagal untuk berkembang karena kurangnya pendanaan, regulasi, dan kemampuan pelengkap. Oleh karena itu, transisi industri hijau merupakan **tantangan koordinasi tingkat sistem,** bukan sekedar masalah penerapan teknologi yang tersedia. Kebijakan industri hijau yang efektif harus mengatasi beberapa kendala ini secara bersamaan – mengurangi risiko proyek sambil menciptakan pasar, mengkoordinasikan infrastruktur, dan memperkuat kemampuan teknologi, kelembagaan, dan tenaga kerja. Bagian 5 mengkaji instrumen kebijakan yang tersedia untuk menjalankan fungsi-fungsi ini.

5. Instrumen kebijakan industri hijau: apa perbedaannya dengan kebijakan industri tradisional?

Hambatan yang dijelaskan di Bagian 4 tidak dapat diatasi melalui satu instrumen kebijakan saja. Ketidakpastian teknis, permintaan yang lemah, biaya tinggi, kendala organisasi, dan kurangnya infrastruktur saling berinteraksi, yang berarti dukungan finansial saja jarang akan mencukupi. Kebijakan industri hijau yang efektif adalah dengan menggabungkan langkah-langkah yang mendukung perusahaan dan teknologi dengan langkah-langkah yang menciptakan pasar, mengkoordinasikan infrastruktur, membangun kemampuan, dan menetapkan standar lingkungan yang kredibel.

Rangkaian kebijakan tersebut pada dasarnya bukanlah hal baru. Kebijakan industri hijau memanfaatkan banyak instrumen yang sama yang digunakan dalam kebijakan industri tradisional: hibah dan insentif pajak, kredit bersubsidi, pengadaan publik, langkah-langkah perdagangan dan investasi, infrastruktur publik, dukungan untuk penelitian dan pengembangan, pelatihan tenaga kerja, bantuan teknis, standar, regulasi, dan investasi publik langsung, di antara lainnya. Perangkat pembiayaan juga serupa dan mencakup pinjaman, ekuitas, jaminan, jalur kredit, dan pengaturan pembagian risiko.

Perbedaan utamanya terletak bukan pada instrumen individualnya, melainkan pada **penekanan, kombinasi, urutan, dan kriteria kinerjanya**. Kebijakan industri hijau menerapkan alat-alat yang sudah dikenal dalam kondisi teknologi, lingkungan, dan koordinasi yang luar biasa menantang. Kebijakan ini seringkali harus mendukung pasar sebelum permintaan benar-benar terbentuk, membiayai teknologi sebelum risikonya sepenuhnya dipahami, mengkoordinasikan investasi di berbagai sistem yang saling bergantung, dan memverifikasi hasil yang tidak dapat diukur hanya melalui indikator ekonomi konvensional.

Oleh karena itu, kebijakan industri hijau bukanlah bidang kebijakan terpisah dengan seperangkat instrumen baru. Kebijakan ini lebih tepat dipahami sebagai kebijakan industri tradisional yang beroperasi di bawah kondisi lingkungan, teknologi, dan infrastruktur yang lebih menuntut. Ciri-ciri khasnya, instrumen kebijakan industri yang terkait dengannya, dan beberapa contoh nyata dirangkum dalam Tabel 1. Instrumen-instrumen tersebut umumnya tidak unik untuk kebijakan industri hijau, tetapi yang membedakannya adalah kepentingan relatif, desain, persyaratan, dan kombinasinya dalam menanggapi tantangan lingkungan dan transisi.

Tabel 1. Ciri-ciri khas kebijakan industri hijau, instrumen terkait, dan contohnya.

Fitur khas	Instrumen kebijakan industri terkait	Contoh
Menciptakan permintaan untuk produk-produk yang nilai lingkungannya belum sepenuhnya dihargai oleh pasar.	Pengadaan publik hijau; subsidi pembelian atau konsumsi; standar produk dan emisi; mandat dan kuota; kontrak perbedaan harga; jaminan pembelian; penetapan harga karbon dan mekanisme lain yang mempersempit premi hijau.	**Program Obligasi Transisi Iklim GX Jepang** membiayai langkah-langkah dari sisi permintaan, termasuk subsidi untuk kendaraan energi bersih dan elektrifikasi kendaraan komersial. Langkah-langkah ini bertujuan untuk mempercepat adopsi dan membangun pasar untuk teknologi rendah karbon, bersamaan dengan dukungan untuk produksi dan pengembangan teknologi.[10]
Mendukung teknologi yang belum pasti melalui demonstrasi dan penerapan komersial pertama.	Hibah penelitian dan pengembangan serta demonstrasi; pembiayaan proyek FOAK; pinjaman lunak; ekuitas publik; jaminan dan modal kerugian pertama; pembiayaan campuran; dana inovasi; insentif produksi untuk teknologi baru.	Dana **Ekonomi Bersih Green Artha** menargetkan teknologi iklim FOAK (First-of-a Kind) pada tahap komersialisasi yang sulit, yaitu antara pemodal ventura dan pembiayaan proyek konvensional, dengan menggabungkan investasi dengan pembagian risiko konsesional dan bantuan teknis.[11] Dana **Inovasi Uni Eropa** juga berfokus pada proyek-proyek inovatif dan FOAK serta secara eksplisit menggunakan pendanaan publik untuk berbagi teknologi dan risiko implementasi.[12]

[10] CIIP (mendatang). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*
[11] CIIP (mendatang). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*
[12] European Commission (2026). *Innovation Fund.*

Fitur khas	Instrumen kebijakan industri terkait	Contoh
Menggabungkan pembiayaan dengan bantuan teknis dan persiapan proyek.	Fasilitas persiapan proyek; studi kelayakan dan rekayasa; bantuan teknis; layanan konsultasi; program akselerator; pengembangan kapasitas; platform pembiayaan campuran yang menggabungkan modal dengan dukungan non-keuangan.	**Mekanisme Transisi Energi** Bank **Pembangunan Asia** menggabungkan pembiayaan konsesional dan komersial dengan bantuan teknis untuk pekerjaan studi kelayakan, pengamanan, analisis jaringan, perencanaan pembangkit listrik pengganti, dan pemantauan. **Laboratorium Pembiayaan dan Investasi Iklim Bank Pembangunan Malaysia** menggunakan penyaringan proyek, program akselerator, dukungan teknis, dan penataan modal untuk mengubah konsep iklim menjadi proyek yang siap investasi.[13]
Mengkoordinasikan investasi produksi dengan infrastruktur bersama.	Perencanaan infrastruktur dan industri yang terkoordinasi; investasi utilitas publik atau yang diatur; pusat dan klaster industri; dana infrastruktur; kendaraan aset bersama dan kemitraan publik-swasta (PPP); jaminan pendapatan; perencanaan tata ruang dan percepatan perizinan.	**Strategi dekarbonisasi industri Inggris** mendukung jaringan transportasi dan penyimpanan CO2 bersama yang dapat melayani banyak lokasi industri, dengan mengakui bahwa infrastruktur tersebut melibatkan biaya awal yang besar dan koordinasi antar perusahaan. Dukungan pemerintah mencakup Dana Infrastruktur Penangkapan dan Penyimpanan Karbon serta model bisnis khusus untuk transportasi, penyimpanan, dan penangkapan karbon industri.[14]
Menyeimbangkan dekarbonisasi yang cepat dengan pengembangan kemampuan domestik.	Hibah bersyarat dan insentif pajak; dukungan rantai pasokan dan manufaktur domestik; program penelitian dan pengembangan serta inovasi; kebijakan tenaga kerja dan keterampilan; program pengembangan pemasok; syarat-syarat manfaat masyarakat atau peningkatan kapasitas yang melekat pada dukungan publik.	**Program Australia's Future Made in Australia** menggabungkan tujuan transformasi nol emisi bersih dengan tujuan ketahanan dan keamanan ekonomi. Paket kebijakannya mencakup insentif produksi untuk hidrogen terbarukan dan pengolahan mineral penting, inovasi, dan dukungan manufaktur, sementara Prinsip Manfaat Komunitas berupaya memperkuat komunitas lokal, rantai pasokan, dan keterampilan.[15] Program GX Jepang juga menggabungkan dukungan dekarbonisasi dengan investasi dalam rantai pasokan baterai dan semikonduktor domestik.[16]

[13] CIIP (mendatang). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*
[14] DESNZ and BEIS (2021). *Industrial decarbonisation strategy.*
[15] Australian Treasury (2024). *Future Made in Australia - National Interest Framework supporting paper.*
[16] CIIP (mendatang). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*

Fitur khas	Instrumen kebijakan industri terkait	Contoh
Menentukan kegiatan hijau dan transisi yang kredibel.	Taksonomi hijau dan transisi; kriteria penyaringan teknis; peta jalan dekarbonisasi sektoral; daftar kegiatan yang memenuhi syarat dan yang dikecualikan; persyaratan rencana transisi; prinsip "tidak menimbulkan dampak buruk yang signifikan" dan perlindungan sosial/lingkungan.	**Taksonomi Uni Eropa** mensyaratkan kegiatan yang memenuhi syarat untuk memberikan kontribusi substansial terhadap tujuan lingkungan, tidak menimbulkan kerugian signifikan bagi pihak lain, memenuhi perlindungan minimum, dan mematuhi kriteria penyaringan teknis.[17] Di **Zhejiang/Huzhou, Tiongkok**, taksonomi transisi khusus tekstil mengidentifikasi sekitar tujuh puluh jalur teknis dan digunakan untuk menentukan kelayakan pinjaman transisi bagi perusahaan tekstil.[18]
Mengukur kinerja lingkungan di samping hasil ekonomi konvensional.	Sistem pemantauan, pelaporan, dan verifikasi; akuntansi emisi dan siklus hidup; indikator kinerja utama lingkungan; verifikasi independen; evaluasi dampak; pinjaman dan hibah yang terkait dengan keberlanjutan; subsidi dan kontrak berbasis kinerja.	**Pinjaman Transisi Tekstil Bank Komersial Pedesaan Changxing** menggabungkan taksonomi sektor dengan data kinerja karbon digital dan verifikasi berkelanjutan, dengan penetapan harga pinjaman disesuaikan berdasarkan kemajuan transisi yang terverifikasi. “Kode Efisiensi Karbon Industri” digital Huzhou menyediakan infrastruktur data bersama untuk mengukur kinerja karbon perusahaan. Obligasi Transisi Iklim Jepang juga menggunakan pelaporan alokasi dan dampak, dengan metodologi yang berbeda untuk R&D, investasi modal, dan proyek sisi permintaan, yang menggambarkan perlunya membedakan antara dampak masa depan yang dimodelkan dan hasil yang diamati.[19]

Sumber: Cambridge Industrial Innovation Policy.

[17] European Commission (2023). *A user guide to navigate the EU taxonomy for sustainable activities.*
[18] CIIP (akan segera terbit). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*
[19] CIIP (akan segera terbit). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*

Seperti yang diilustrasikan pada Tabel 1, sebagian besar instrumen ini bukanlah hal yang unik bagi kebijakan industri hijau. Hibah, insentif pajak, pengadaan publik, pembiayaan konsesional, investasi infrastruktur, regulasi, kebijakan keterampilan, dan dukungan inovasi semuanya merupakan elemen yang sudah dikenal dalam kebijakan industri tradisional. Yang membedakannya adalah penekanan yang lebih besar pada penciptaan permintaan, pembagian risiko teknologi dan keuangan, koordinasi infrastruktur, kelayakan dan pemantauan lingkungan, serta kebutuhan untuk mengejar dekarbonisasi bersamaan dengan tujuan pembangunan industri.

5.1 Peran yang lebih kuat dalam menciptakan dan membentuk pasar

Kebijakan industri tradisional sering mendukung kegiatan yang diharapkan pemerintah akan menjadi kompetitif secara komersial seiring meningkatnya produktivitas, perusahaan belajar, dan pasar berkembang. Kebijakan industri hijau memiliki tujuan yang sama, namun permintaan akan produk hijau seringkali lebih bergantung pada kebijakan publik.

Terdapat kemungkinan bahwa pelanggan enggan membayar lebih untuk baja, semen, bahan kimia, atau barang setengah jadi lainnya yang rendah emisi ketika produk-produk tersebut menjalankan fungsi yang sama dengan alternatif yang lebih murah dan intensif emisi. Manfaat sosial yang lebih luas dari emisi yang lebih rendah tidak sepenuhnya tercermin dalam keputusan pembelian. Oleh karena itu, permintaan dapat tetap lemah bahkan di mana produksi rendah karbon secara teknologi memungkinkan.

Oleh karena itu, kebijakan industri hijau seringkali harus melakukan lebih dari sekedar membantu produsen mengurangi biaya mereka. Kebijakan tersebut juga harus menciptakan permintaan yang signifikan. Tabel 2 merangkum beberapa instrumen utama dari sisi permintaan dan contoh bagaimana instrumen tersebut telah digunakan dalam praktik.

Tabel 2. Instrumen sisi permintaan untuk menciptakan dan membentuk pasar industri hijau

Instrumen	Contoh
Penetapan harga karbon dan regulasi emisi	**Sistem Perdagangan Emisi Uni Eropa (EU ETS).** Beroperasi sejak tahun 2005, EU ETS menetapkan harga untuk emisi gas rumah kaca dari pembangkit listrik dan panas serta manufaktur industri, serta penerbangan dan transportasi maritim. Batas emisi yang menurun dan persyaratan bagi perusahaan yang tercakup untuk menyerahkan izin emisi meningkatkan biaya relatif produksi yang intensif karbon, memperkuat insentif untuk berinvestasi dan membeli alternatif dengan emisi yang lebih rendah.
Komitmen pengadaan publik untuk material rendah emisi	**Inisiatif Beli Bersih Federal AS.** Selama implementasinya pada tahun 2023–2024, Administrasi Layanan Umum AS (GSA) memperkenalkan persyaratan dan pendanaan khusus untuk pembelian aspal, beton, kaca, dan baja dengan emisi karbon lebih rendah dalam proyek konstruksi federal. GSA mengidentifikasi lebih dari 150 proyek yang menggunakan material ini, menggunakan daya beli federal untuk merangsang permintaan manufaktur rendah karbon.
Standar produk dan persyaratan kinerja emisi minimum.	**Standar Bahan Bakar Rendah Karbon California (LCFS).** LCFS menetapkan tolok ukur intensitas karbon siklus hidup yang semakin ketat untuk bahan bakar transportasi. Bahan bakar dengan intensitas karbon di bawah tolok ukur menghasilkan kredit yang dapat diperdagangkan, sementara pemasok bahan bakar dengan karbon lebih tinggi mengalami defisit yang harus diimbangi. Oleh karena itu, standar ini menciptakan permintaan berkelanjutan untuk bahan bakar rendah karbon tanpa menetapkan satu teknologi tunggal.

Instrumen	Contoh
Kuota atau mandat untuk konten daur ulang dan rendah karbon.	**Regulasi Baterai Uni Eropa.** Regulasi ini menetapkan persyaratan minimum wajib kandungan daur ulang untuk baterai kendaraan listrik (EV) dan baterai industri tertentu. Mulai tahun 2031, baterai yang tercakup diwajibkan mengandung minimal bagian kobalt daur ulang (16%), timbal (85%), litium (6%), dan nikel (6%), dengan persyaratan yang lebih tinggi untuk beberapa material mulai tahun 2036. Mandat tersebut menciptakan pasar yang dapat diprediksi untuk material daur ulang dan mendorong investasi dalam daur ulang dan rantai pasokan material sekunder.
Komitmen pasar di muka dan pengaturan pembelian jangka panjang	**Program H2Global Jerman.** H2Global menggunakan perantara yang didukung publik, Hintco, untuk membuat perjanjian pembelian jangka panjang untuk turunan hidrogen terbarukan dan menjualnya kembali melalui lelang kompetitif. Pendanaan publik menutupi selisih yang diharapkan antara harga pembelian yang lebih tinggi dan harga yang lebih rendah yang awalnya bersedia dibayar oleh pembeli. Kontrak jangka panjang memberikan kepastian pendapatan kepada produsen sekaligus membantu membangun sinyal permintaan dan harga di pasar hidrogen hijau yang belum matang. Lelang pertama menghasilkan kontrak untuk setidaknya 259.000 ton amonia hijau yang akan dipasok ke Jerman antara tahun 2027 dan 2033.
Sistem sertifikasi, pelabelan, dan ketertelusuran.	**Skema Jaminan Asal (Guarantee of Origin/GO) Australia.** Diluncurkan pada tahun 2025, skema GO menyediakan sertifikat produk yang mencatat tempat produk dibuat dan emisi yang terkait dengan produksi, transportasi, dan penyimpanannya. Awalnya mencakup hidrogen elektrolitik, tujuannya adalah untuk memperluas cakupan ke produk-produk termasuk turunan hidrogen, bahan bakar rendah karbon, dan logam ramah lingkungan. Dengan memungkinkan pembeli untuk memverifikasi atribut emisi, sistem ini membantu pengembangan pasar rendah emisi yang terdiferensiasi.
Insentif konsumen	**Kebijakan Kendaraan Listrik (KV) Tiongkok.** Tiongkok menggunakan insentif konsumen sebagai bagian dari paket kebijakan yang lebih luas untuk membangun pasar awal bagi kendaraan energi baru (KV). Langkah-langkah awal termasuk subsidi pembelian nasional dan lokal, program demonstrasi publik, dan perlakuan istimewa seperti akses yang lebih mudah ke lisensi kendaraan dan hak istimewa lalu lintas di beberapa kota. Seiring matangnya pasar, subsidi pembelian nasional langsung berakhir pada tahun 2022, sementara insentif pajak dan penggantian terus berlanjut. KV yang dibeli pada tahun 2026–2027 saat ini menerima pengurangan pajak pembelian kendaraan sebesar 50%, dengan batasan maksimal RMB15.000 per kendaraan penumpang, sementara program tukar tambah kendaraan tahun 2026 memberikan subsidi yang lebih besar untuk mengganti kendaraan lama yang memenuhi syarat dengan KV dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar. Kotak 1 menjelaskan kebijakan ini dengan lebih rinci.

Sumber: Cambridge Industrial Innovation Policy.

Dalam kasus-kasus tersebut, kebijakan tidak hanya merespons pasar yang sudah ada tetapi juga membantu membentuk pasar itu sendiri. Contoh-contoh dalam Tabel 2 juga menggambarkan bahwa penciptaan permintaan dapat beroperasi melalui berbagai saluran. Harga karbon dan standar kinerja mengubah ekonomi relatif produk karbon tinggi dan rendah; pengaturan pengadaan dan pengambilan menyediakan pembeli secara langsung; mandat menciptakan pasar minimum yang terjamin; sertifikasi membuat atribut lingkungan terlihat dan dapat diverifikasi; dan insentif konsumen mengurangi biaya atau ketidaknyamanan dalam mengadopsi teknologi baru. Oleh karena itu, banyak pasar industri hijau lebih tepat digambarkan sebagai **pasar yang diciptakan atau dibentuk oleh kebijakan** .

Meskipun demikian, langkah-langkah dari sisi permintaan harus dirancang dengan cermat. Jika dukungan publik bersifat sementara atau sering direvisi, perusahaan mungkin tetap enggan untuk berinvestasi dalam aset jangka panjang. Oleh karena itu, jalur transisi yang kredibel

memerlukan kerangka kebijakan yang dapat diprediksi, jadwal implementasi yang jelas, dan kepastian yang cukup tentang arah perjalanan, bahkan ketika instrumen individual disesuaikan dari waktu ke waktu.

Pengalaman China dalam kendaraan listrik (Kotak 1) menggambarkan bagaimana peran pembentuk pasar ini dapat berkembang seiring dengan kematangan suatu industri. Alih-alih mengandalkan intervensi tunggal dari sisi permintaan, China menggabungkan dukungan untuk pengembangan teknologi dan produksi dengan langkah-langkah untuk menciptakan pengguna awal, mengurangi biaya adopsi, dan membangun infrastruktur yang dibutuhkan untuk penggunaan yang meluas. Seiring dengan perkembangan kemampuan teknologi, skala produksi, dan permintaan konsumen, bauran kebijakan juga berubah – dari dukungan R&D dan demonstrasi armada publik, melalui insentif pembelian dan persyaratan produksi, menuju ketergantungan yang lebih besar pada regulasi, persaingan, insentif pajak, dan infrastruktur pengisian daya. Kasus ini menggambarkan fitur yang lebih luas dari kebijakan industri hijau: instrumen sisi penawaran dan permintaan mungkin perlu berkembang bersama seiring dengan perubahan hambatan utama terhadap pengembangan pasar.

Kotak 1Kebijakan industri hijau Tiongkok untuk kendaraan listrik: pengurutan dukungan sisi penawaran dan permintaan.

Kebijakan kendaraan listrik (EV) Tiongkok menggambarkan bagaimana kebijakan industri hijau dapat menggabungkan langkah-langkah dari sisi penawaran dan permintaan, serta menyesuaikannya seiring dengan kematangan teknologi dan pasar.

Tahap 1 – Pengembangan dan demonstrasi teknologi

Sisi penawaran: membangun kemampuan teknologi. Pada tahap awal, kebijakan difokuskan pada pengurangan ketidakpastian teknologi dan pengembangan kemampuan domestik dalam kendaraan dan komponen utama, khususnya baterai, motor, dan sistem kendali. Program penelitian dan pengembangan (R&D) publik berkembang pesat selama tahun 2000-an; penelitian memperkirakan bahwa pendanaan untuk pengembangan kendaraan energi baru (NEV) mencapai sekitar USD 1,5 miliar selama Rencana Lima Tahun 2006–2010, bersamaan dengan serangkaian program dan eksperimen pengembangan teknologi yang lebih luas.[20]

Sisi permintaan: menciptakan pasar utama melalui demonstrasi publik. Dengan permintaan swasta yang masih terbatas, program pengadaan dan demonstrasi pemerintah menciptakan pasar awal di mana teknologi dapat diuji dalam kondisi operasi nyata. Program yang dikenal luas sebagai **"Sepuluh Kota, Seribu Kendaraan"**, yang diluncurkan pada tahun 2009, awalnya memusatkan penerapan pada armada layanan publik seperti bus, taksi, kendaraan pemerintah, kendaraan sanitasi, dan layanan pos. Subsidi pemerintah pusat mendukung pembelian kendaraan, sementara pemerintah daerah juga mendukung infrastruktur pelengkap. Program tersebut kemudian diperluas ke kota-kota tambahan.

[20] Helveston dkk. (2019). *Institutional complementarities: The origins of experimentation in China's plug-in electric vehicle industry.*

Kotak 1Kebijakan industri hijau Tiongkok untuk kendaraan listrik: pengurutan dukungan sisi penawaran dan permintaan.

Tahap 2 – Pembentukan pasar awal dan peningkatan skala

Sisi penawaran: mendorong produksi dan peningkatan teknologi. Seiring dengan semakin layaknya teknologi kendaraan listrik (EV), kebijakan semakin berupaya untuk memperluas produksi dan meningkatkan kinerja kendaraan. Instrumen penting adalah **kebijakan kredit ganda**, yang diadopsi pada tahun 2017 dan berlaku efektif sejak 2018, yang menetapkan persyaratan paralel bagi produsen terkait konsumsi bahan bakar rata-rata dan kendaraan energi baru (NEV). Perusahaan dapat memperdagangkan kredit dan harus mengkompensasi defisit, menciptakan insentif regulasi berkelanjutan untuk meningkatkan produksi NEV dan meningkatkan kinerja teknologi.

Sisi permintaan: mengurangi biaya dan ketidaknyamanan adopsi awal. Kebijakan juga berupaya mempersempit kesenjangan antara kendaraan listrik (EV) dan kendaraan konvensional untuk konsumen pribadi. Subsidi pembelian nasional dan lokal serta insentif pajak mengurangi biaya awal, sementara beberapa kota besar menawarkan keuntungan tambahan seperti akses khusus untuk plat nomor, pengecualian dari pembatasan lalu lintas, insentif pengisian daya, atau parkir khusus. Langkah-langkah ini sangat penting di mana hambatan non-harga membuat kepemilikan kendaraan konvensional lebih sulit atau kepemilikan EV lebih nyaman.

Tahap 3 – Peningkatan skala pasar massal

Sisi penawaran: pergeseran dari subsidi menuju regulasi dan persaingan. Seiring dengan ekspansi industri, kebijakan semakin kurang bergantung pada dukungan langsung dan semakin banyak menggunakan persyaratan regulasi, standar teknis, dan persaingan untuk membentuk pasar. Subsidi pembelian secara bertahap dikurangi sejak 2017, dan program subsidi pembelian nasional berakhir pada tahun 2022, sementara instrumen seperti sistem kredit ganda tetap berlanjut. China juga menghapus pembatasan ekuitas asing untuk manufaktur kendaraan listrik pada tahun 2018, meningkatkan ruang lingkup investasi asing dan persaingan di sektor ini.

Sisi permintaan: memungkinkan adopsi massal yang mudah. Seiring dengan semakin meluasnya penggunaan kendaraan listrik (EV) di pasar massal, tantangan yang muncul semakin berkaitan dengan infrastruktur dan kondisi yang dibutuhkan untuk penggunaan sehari-hari. Oleh karena itu, kebijakan lebih menekankan pada jaringan pengisian daya dan infrastruktur terkait, sambil tetap mempertahankan insentif konsumen yang lebih terarah. Tiongkok telah menjadi pasar terbesar di dunia untuk infrastruktur pengisian daya EV publik; pada akhir tahun 2025, Tiongkok menyumbang lebih dari 65% titik pengisian daya publik secara global. [21]Subsidi pembelian langsung nasional telah berakhir, dan mulai tahun 2026, pembebasan pajak pembelian kendaraan secara penuh sebelumnya digantikan dengan pengurangan pajak sebesar 50%, yang menggambarkan pergeseran dari subsidi pembelian yang luas menuju bauran kebijakan yang lebih matang.[22]

[21] IEA (2026). *Global EV Outlook 2026: Electric vehicle charging.*
[22] IEA (2026). *Global EV Outlook 2026: Trends in electric cars.*

Kotak 1Kebijakan industri hijau Tiongkok untuk kendaraan listrik: pengurutan dukungan sisi penawaran dan permintaan.

Pelajaran secara keseluruhan

Pengalaman Tiongkok menunjukkan bahwa penciptaan pasar hijau tidak selalu merupakan intervensi sekali saja. Kendala yang berbeda menjadi mengikat seiring perkembangan suatu industri. Kebijakan awal dapat mengurangi ketidakpastian teknologi dan menciptakan pengguna utama; langkah-langkah selanjutnya dapat mengurangi biaya dan merangsang produksi serta permintaan swasta; dan, seiring matangnya pasar, kebijakan dapat bergeser ke arah standar, regulasi, persaingan, dan infrastruktur pendukung.

Sumber: Kohpaiboon (2026) ; Yong dkk. (2023) ; IEA (2021) ; IEA (2023) ; IEA (2026) ; Helveston dkk. (2019).

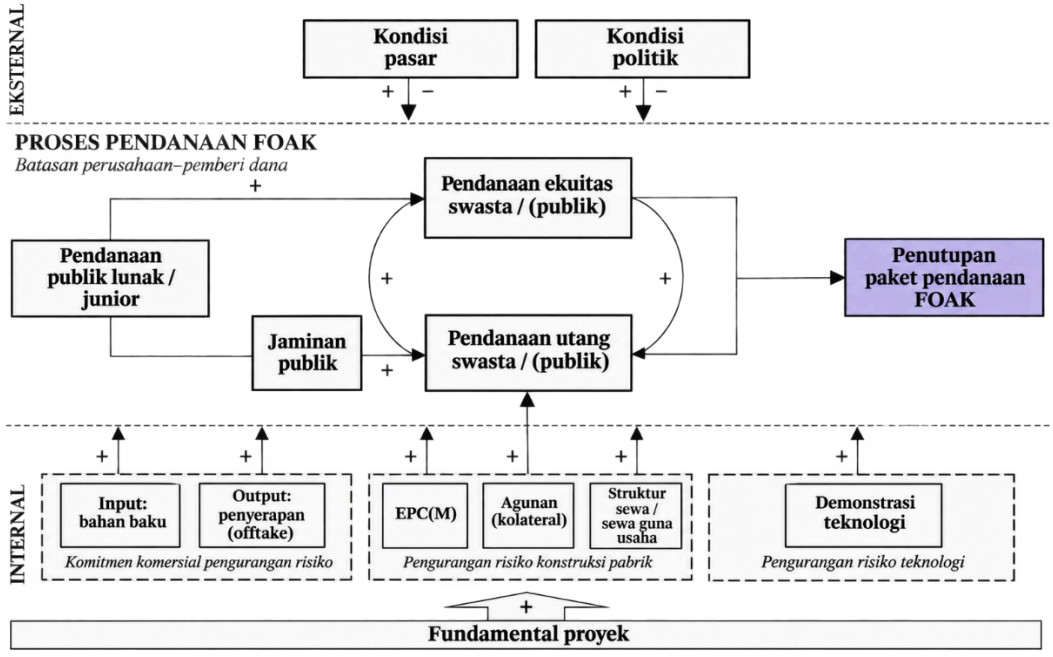
5.2 Penekanan yang lebih besar pada inovasi, demonstrasi, dan peningkatan skala

Perbedaan kedua adalah peran ketidakpastian teknologi yang luar biasa besar. Kebijakan industri tradisional sering mendukung inovasi dan industri baru, namun banyak transisi industri hijau membutuhkan pengembangan teknologi, kapasitas produksi, infrastruktur, pemasok, dan pasar secara bersamaan.

Hal ini sangat penting terutama untuk fasilitas industri pertama sejenis (first-of-a-kind/FOAK). Teknologi seperti proses produksi berbasis hidrogen, sistem elektrifikasi suhu tinggi, dan penangkapan karbon canggih telah didemonstrasikan secara teknis tanpa memiliki rekam jejak komersial yang luas. Oleh karena itu, biaya konstruksi, kinerja operasional, persyaratan pemeliharaan, dan nilai pasarnya mungkin tetap tidak pasti. Pemberi pinjaman konvensional umumnya enggan membiayai proyek-proyek tersebut karena risikonya sulit diperkirakan dan mungkin hanya ada sedikit transaksi yang sebanding.

Gambar 7 mengilustrasikan kompleksitas dalam menyelesaikan paket pembiayaan untuk pabrik FOAK dengan sukses.

Gambar 7 Jalur menuju keberhasilan penutupan paket pembiayaan untuk pabrik pertama sejenisnya



Sumber: Heikkinen (2025).

Kebijakan industri hijau memerlukan dukungan di seluruh siklus inovasi:

- **Penelitian dan pengembangan tahap awal** memerlukan pendanaan penelitian publik, hibah inovasi, kemitraan universitas-industri, dan laboratorium bersama.
- **Proyek percontohan dan demonstrasi** memerlukan hibah, investasi bersama publik, fasilitas pengujian khusus, dan dukungan untuk studi kelayakan dan rekayasa.
- **Fasilitas komersial pertama** memerlukan pinjaman konsesi, jaminan, ekuitas jangka panjang, modal kerugian pertama, dan struktur pembiayaan campuran lainnya yang mengalokasikan risiko tertentu kepada pihak-pihak yang mampu menanggungnya.
- **Difusi komersial** memerlukan jalur kredit, insentif pajak, bantuan teknis, pengembangan pemasok, dan langkah-langkah penciptaan permintaan.

Instrumen pembiayaan mungkin tidak mencukupi. Green Artha, sebuah dana swasta India yang mengkhususkan diri dalam pengembangan teknologi dekarbonisasi industri FOAK, menyoroti pentingnya menggabungkan modal dengan persiapan proyek, bantuan teknis, dan dukungan komersialisasi. Dana tersebut juga menyarankan bahwa pembiayaan konsesional paling efektif bila diarahkan pada risiko yang teridentifikasi dengan jelas – seperti risiko teknologi FOAK atau biaya pengembangan proyek awal – daripada digunakan sebagai subsidi umum.[23]

Pembiayaan campuran dapat sangat berharga dalam konteks ini (lihat Kotak 2). Modal publik atau konsesi dapat menyerap risiko tertentu, memperbaiki persyaratan pembiayaan, atau memberikan jangka waktu jatuh tempo yang lebih panjang. Hal tersebut dapat memungkinkan modal swasta untuk berpartisipasi dalam proyek yang seharusnya dihindari. Namun, pembiayaan campuran tidak dapat mengkompensasi secara terus-menerus atas ketiadaan jalur transisi yang layak, sehingga harus digunakan untuk mengatasi risiko sementara dan kesenjangan pengembangan pasar, bersamaan dengan kebijakan yang meningkatkan ekonomi mendasar proyek tersebut.

Kotak 2Instrumen pembiayaan: pentingnya pembiayaan campuran dan pembiayaan transisi untuk kebijakan industri hijau.

Proyek transisi industri hijau seringkali kurang terlayani oleh pembiayaan komersial konvensional. Proyek-proyek ini memerlukan investasi awal yang tinggi, melibatkan teknologi yang belum terbukti dalam skala besar, bergantung pada permintaan masa depan yang tidak pasti untuk produk rendah emisi, dan hanya menghasilkan keuntungan dalam jangka waktu yang panjang. Karakteristik ini dapat membuat proyek-proyek yang pada dasarnya bermanfaat secara sosial tampak terlalu berisiko atau kurang menguntungkan bagi pemberi pinjaman dan investor komersial. Pembiayaan campuran (*blended finance*) dan pembiayaan transisi (*transition finance*) mengatasi aspek yang berbeda dari masalah ini: pembiayaan campuran berkaitan dengan bagaimana modal dan risiko distrukturkan, sementara pembiayaan transisi berkaitan dengan kegiatan dekarbonisasi mana yang dapat dibiayai.

Pembiayaan campuran. Pembiayaan campuran adalah kombinasi strategis dari sumber daya publik atau filantropi yang bersifat konsesional – seperti hibah, jaminan, modal kerugian pertama, pembiayaan subordinasi, atau pinjaman di bawah harga pasar – dengan modal komersial. Tujuannya adalah untuk meningkatkan profil risiko-imbal hasil investasi yang tidak akan berjalan dengan persyaratan komersial murni dan dengan demikian memobilisasi pembiayaan swasta tambahan.

[23] CIIP (akan segera terbit). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*

Kotak 2Instrumen pembiayaan: pentingnya pembiayaan campuran dan pembiayaan transisi untuk kebijakan industri hijau.

Struktur pembiayaan campuran dapat terwujud dalam banyak bentuk, yang tergantung pada hambatan proyek dan selera risiko investor yang berpartisipasi. Hibah atau fasilitas persiapan proyek dapat mencakup studi kelayakan dan biaya tahap awal lainnya; jaminan dapat melindungi pemberi pinjaman dari risiko yang telah ditentukan; modal kerugian pertama atau subordinasi dapat menyerap kerugian awal; dan pinjaman konsesi dapat mengurangi biaya pembiayaan atau memperpanjang jatuh tempo. Prinsip utamanya adalah bahwa sumber daya konsesi harus digunakan secara selektif untuk mengatasi risiko spesifik atau kesenjangan kelayakan daripada menggantikan pembiayaan yang seharusnya disediakan oleh sektor swasta.

Pendekatan ini sangat penting khususnya untuk fasilitas industri FOAK atau teknologi baru, dan infrastruktur pendukung, di mana risiko teknologi, konstruksi, pasar, dan kebijakan mungkin terlalu tinggi bagi investor konvensional. Dengan mengalokasikan risiko-risiko ini kepada lembaga-lembaga yang paling mampu menanggungnya, pembiayaan campuran dapat membantu mengubah konsep proyek yang menjanjikan menjadi investasi yang layak dibiayai dan mendukung perkembangannya dari demonstrasi hingga skala komersial.

Pembiayaan transisi. Pembiayaan transisi mendukung pengurangan emisi yang kredibel di sektor dan aktivitas yang tidak dapat langsung memenuhi kriteria kelayakan yang biasanya terkait dengan pembiayaan hijau. Pembiayaan hijau umumnya berfokus pada aktivitas yang sudah rendah karbon atau jelas selaras dengan klasifikasi lingkungan yang sudah mapan, seperti listrik terbarukan atau teknologi efisiensi energi yang sudah matang. Pendekatan ini penting, namun bisa tidak mencakup seluruh kebutuhan investasi industri yang padat emisi.

Di sektor-sektor yang sulit dikurangi emisinya, seperti industri besi dan baja, semen, dan kimia, terdapat kemungkinan bahwa mengganti proses yang ada belum layak secara teknis atau komersial. Dekarbonisasi memerlukan serangkaian investasi, termasuk peningkatan efisiensi, elektrifikasi, peralihan bahan bakar dan bahan baku, perancangan ulang proses, penangkapan karbon, infrastruktur pendukung, dan penggantian aset yang ada secara bertahap. Pembiayaan transisi memungkinkan untuk mendukung langkah-langkah perantara ini jika langkah-langkah tersebut merupakan bagian dari jalur yang kredibel dan terikat waktu menuju dekarbonisasi yang mendalam.

Fleksibilitas tersebut harus disertai dengan pengamanan. Pembiayaan perbaikan secara tipis tanpa strategi transisi jangka panjang yang jelas dapat memperpanjang umur aset yang intensif karbon dan menciptakan keterikatan teknologi atau emisi. Oleh karena itu, pembiayaan transisi yang kredibel membutuhkan jalur spesifik sektor, target pengurangan emisi yang terukur, kriteria kelayakan yang transparan, pemantauan dan verifikasi, serta konsistensi dengan tujuan iklim jangka panjang. Kasus-kasus internasional menunjukkan bahwa pembiayaan transisi menjadi kredibel ketika pembiayaan tersebut tertanam dalam taksonomi yang jelas, kerangka kebijakan, dan sistem pelaporan yang kuat.

Kotak 2Instrumen pembiayaan: pentingnya pembiayaan campuran dan pembiayaan transisi untuk kebijakan industri hijau.

Untuk kebijakan industri hijau, kedua pendekatan tersebut saling melengkapi. Pembiayaan transisi memperluas jangkauan investasi industri yang secara sah dapat menerima dukungan yang selaras dengan iklim, sementara pembiayaan campuran menyediakan struktur keuangan yang dibutuhkan untuk membuat investasi tersebut layak dan menarik modal swasta. Bersama-sama, keduanya memungkinkan pemerintah dan lembaga pembiayaan pembangunan untuk mendukung perusahaan melalui berbagai tahapan transformasi industri – dari pengembangan dan demonstrasi teknologi hingga penerapan komersial pertama dan difusi skala besar. Namun, efektivitasnya bergantung pada keselarasan yang erat dengan strategi industri, jalur transisi yang kredibel, dan langkah-langkah pelengkap untuk menciptakan permintaan, mengembangkan infrastruktur, dan memperkuat kemampuan teknologi.

Sumber: CIIP (mendatang). *DFI instruments and mechanisms for supporting green industrial transitions*; CIIP (mendatang). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions*.

5.3 Koordinasi yang lebih intensif antara investasi infrastruktur dan industri

Infrastruktur selalu menjadi bagian dari kebijakan industri, tetapi yang membedakan kebijakan industri hijau adalah sejauh mana kelayakan suatu proyek industri bergantung pada infrastruktur baru yang belum ada. Sebagai contoh, elektrifikasi industri memerlukan penguatan jaringan listrik, gardu induk baru, dan pembangkit listrik rendah karbon tambahan. Produksi berbasis hidrogen membutuhkan pasokan, transportasi, dan penyimpanan hidrogen yang andal. Proyek CCUS (*Carbon Capture, Utilization, and Storage*) membutuhkan pengumpulan karbon dioksida, pipa, jaringan transportasi bersama, lokasi penyimpanan, dan penetapan tanggung jawab. Model produksi sirkular bergantung pada sistem pengumpulan, pemilahan, dan daur ulang. Investasi ini seringkali melibatkan pemilik, regulator, teknologi, dan jadwal konstruksi yang berbeda.

Akibatnya, dapat tertimbul masalah koordinasi. Perusahaan industri kemungkinan akan enggan berinvestasi sebelum infrastruktur yang diperlukan terjamin, sementara penyedia infrastruktur juga kemungkinan akan enggan berinvestasi sebelum permintaan industri yang memadai terjamin. Penilaian proyek individual tidak dapat menyelesaikan masalah ini karena kelayakan setiap investasi bergantung pada investasi lainnya.

Selain itu, infrastruktur yang mendukung transisi industri hijau harus tahan terhadap perubahan iklim. Infrastruktur energi, transportasi, air, dan komunikasi semakin rentan terhadap risiko terkait iklim seperti gelombang panas, banjir, dan kekeringan, yang dapat merusak aset dan mengganggu layanan yang menjadi tumpuan produksi industri. Karena sistem infrastruktur sangat saling bergantung, kegagalan dalam satu jaringan dapat menimbulkan gangguan berantai di jaringan lainnya. Oleh karena itu, kebijakan industri hijau perlu mengkoordinasikan tidak hanya perluasan dan dekarbonisasi infrastruktur pendukung, tetapi juga adaptasinya terhadap kondisi iklim di masa depan. Risiko iklim harus dimasukkan sejak awal ke dalam perencanaan, konstruksi, operasi, dan pemeliharaan infrastruktur, untuk membantu menghindari terkuncinya kerentanan pada aset yang berumur panjang dan untuk melindungi keandalan dan keberlanjutan sistem industri.

Oleh karena itu, kebijakan industri hijau harus beroperasi pada tingkat sistem dan klaster industri, serta perusahaan individual. Instrumen yang dapat digunakan meliputi perencanaan infrastruktur yang terkoordinasi, pusat dekarbonisasi industri, investasi utilitas publik atau yang diatur, aset dan fasilitas bersama, perencanaan tata ruang, percepatan perizinan, dan mekanisme untuk menggabungkan permintaan di antara beberapa pengguna industri.

Hal ini membuat penyusunan kebijakan menjadi sangat penting. Fasilitas produksi, sistem energi, infrastruktur transportasi, standar, dan program tenaga kerja perlu dikembangkan dalam jangka waktu yang sama. Subsidi untuk peralatan industri akan memiliki efek terbatas jika pabrik harus menunggu bertahun-tahun untuk terhubung ke jaringan listrik atau mengakses bahan baku rendah karbon.

5.4 Keseimbangan yang lebih sulit antara dekarbonisasi dan pembangunan ekonomi lokal

Kebijakan industri tradisional seringkali menyertakan syarat-syarat pada dukungan publik, seperti persyaratan kandungan domestik, komitmen lapangan kerja, target ekspor, transfer teknologi, atau penelitian dan pengembangan lokal. Syarat-syarat tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa sumber daya publik menghasilkan manfaat pembangunan yang lebih luas, bukan hanya meningkatkan keuntungan di tingkat perusahaan.

Tujuan-tujuan ini tetap penting dalam kebijakan industri hijau, khususnya untuk negara-negara berkembang. Dekarbonisasi industri secara ideal harus memperkuat kemampuan teknologi domestik, menciptakan lapangan kerja terampil, dan memperluas rantai pasokan lokal. Tanpa hubungan tersebut, negara-negara berisiko bergantung pada peralatan dan keahlian impor sementara hanya memperoleh sebagian kecil dari nilai ekonomi yang diciptakan oleh transisi tersebut. Namun, persyaratan dapat lebih sulit diterapkan ketika proyek-proyek hijau sudah hampir tidak layak secara komersial. Persyaratan ketat untuk menggunakan teknologi lokal yang lebih mahal atau kurang teruji dapat meningkatkan biaya dan risiko. Seperti yang dikatakan oleh seorang pejabat dari Asian Development Bank:

> Jika proyek dekarbonisasi industri hampir tidak layak secara finansial dengan teknologi impor terbaru, sudah pasti proyek tersebut tidak layak secara finansial jika menggunakan teknologi lokal yang kurang berkembang.[24]

Hal ini menciptakan ketegangan kebijakan yang nyata. Kondisi yang lemah dapat memungkinkan dukungan publik untuk membiayai solusi siap pakai impor dengan pembelajaran lokal yang terbatas. Dan kondisi yang terlalu menuntut dapat mencegah investasi terjadi sama sekali. Pendekatan yang lebih realistis adalah menggunakan **persyaratan bertahap dan berorientasi pada kemampuan**. Alih-alih mensyaratkan kandungan lokal yang tinggi sejak awal, pemerintah dapat menetapkan persyaratan bertahap yang terkait dengan kematangan pemasok domestik. Dukungan juga dapat dikondisikan pada pelatihan tenaga kerja, kemitraan dengan organisasi penelitian lokal, program pengembangan pemasok, kemampuan pemeliharaan domestik, berbagi data, atau lokalisasi bertahap dari komponen dan layanan tertentu.

Oleh karena itu, persyaratan harus diselaraskan dengan kemampuan yang ada dan disertai dengan langkah-langkah yang membantu perusahaan domestik untuk memenuhinya. Persyaratan konten lokal tanpa pengembangan pemasok, pembiayaan, standar, dan bantuan teknis kemungkinan besar tidak akan menghasilkan industri lokal yang kompetitif.

5.5 Definisi dan perlindungan lingkungan yang lebih jelas

Kebijakan industri tradisional harus menentukan perusahaan, sektor, dan aktivitas mana yang memenuhi syarat untuk mendapatkan dukungan. Namun, kebijakan industri hijau menghadapi pertanyaan tambahan: **Apa yang dianggap hijau, atau sebagai aktivitas transisi yang kredibel?** Hal tersebut tidak selalu merupakan pertanyaan yang mudah. Pembiayaan pembangkit energi terbarukan relatif mudah diklasifikasikan, tetapi menilai investasi yang

[24] CIIP (akan segera terbit). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*

sebagian mengurangi emisi dari pabrik baja, kilang minyak, atau pabrik kimia lebih sulit. Proyek tersebut mungkin memberikan pengurangan yang signifikan dalam jangka pendek sambil tetap menggunakan input fosil. Atau, proyek tersebut mungkin mengklaim bahwa konversi ke hidrogen atau penangkapan karbon di masa depan pada akhirnya akan menghasilkan pengurangan yang lebih besar, meskipun kondisi masa depan tersebut tidak pasti.

Oleh karena itu, taksonomi hijau, peta jalan sektoral, dan kriteria kelayakan merupakan instrumen kebijakan yang penting. Taksonomi dapat mendefinisikan kegiatan mana yang memenuhi ambang batas lingkungan tertentu, dan peta jalan transisi dapat menilai apakah investasi tambahan konsisten dengan jalur sektoral jangka panjang yang kredibel. Kedua pendekatan ini akan membantu mengarahkan pendanaan dan dukungan publik, meskipun keduanya tidak menghilangkan kebutuhan akan penilaian khusus kasus.

Taksonomi yang ada menggambarkan berbagai cara untuk mengatasi masalah ini. **Taksonomi Uni Eropa untuk Aktivitas Berkelanjutan,**[25] misalnya, menetapkan kriteria penyaringan teknis untuk kegiatan ekonomi di berbagai sektor, termasuk industri padat emisi seperti baja, semen, aluminium, dan bahan kimia. Suatu aktivitas harus memberikan kontribusi substansial terhadap tujuan lingkungan sambil memenuhi persyaratan "tidak menimbulkan kerusakan signifikan" dan perlindungan minimum, yang memberikan dasar yang relatif ketat untuk menentukan investasi mana yang dapat diklasifikasikan sebagai berkelanjutan secara lingkungan.

Pendekatan berbeda muncul melalui **taksonomi transisi spesifik sektor**. Di Provinsi Zhejiang, Tiongkok, taksonomi untuk pembiayaan transisi di industri tekstil[26] mengidentifikasi sekitar 70 jalur teknis untuk mengurangi intensitas lingkungan dan karbon dari aktivitas di seluruh bahan baku, pemintalan, penenunan, pewarnaan, dan manufaktur tekstil. Taksonomi ini digunakan bersamaan dengan sistem pemantauan dan verifikasi untuk menentukan kelayakan pinjaman transisi, memungkinkan pembiayaan untuk mendukung perusahaan yang belum "ramah lingkungan" tetapi melakukan peningkatan terukur di sepanjang jalur transisi yang telah diidentifikasi.[27]

Sebaliknya, kriteria yang dirancang dengan buruk menciptakan dua risiko yang saling bertentangan: kriteria yang terlalu permisif dapat mendukung aktivitas yang memperpanjang produksi intensif karbon atau menghasilkan peningkatan marginal; dan kriteria yang terlalu ketat dapat mengecualikan industri yang sulit dikurangi emisinya dari pendanaan, meskipun mereka perlu melakukan investasi bertahap sebelum teknologi rendah karbon sepenuhnya tersedia.

Kebijakan industri hijau juga harus mempertimbangkan dampak lingkungan di luar emisi karbon. Beberapa teknologi rendah karbon dapat menimbulkan tekanan terkait penggunaan air, lahan, keanekaragaman hayati, limbah, atau penambangan mineral penting. Oleh karena itu, kerangka kelayakan harus mencakup perlindungan terhadap perpindahan kerusakan lingkungan dari satu area ke area lain.

5.6 Pemantauan yang lebih ketat dan evaluasi multidimensi terhadap keberhasilan kebijakan

Pemantauan merupakan aspek yang sangat penting dalam semua kebijakan industri. Program tradisional umumnya menilai hasil melalui investasi, output, produktivitas, ekspor, lapangan kerja, atau peningkatan teknologi. Kebijakan industri hijau harus mempertahankan indikator-indikator ini sambil menambahkan kinerja lingkungan sebagai dimensi sentral evaluasi kebijakan.

---

[25] Komisi Eropa (2026). *EU taxonomy for sustainable activities.*

[26] National Standards Information Public Service Platform (SPC) (2024). *Taxonomy of Economic Activities for Transition Finance in Textile Industry.*

[27] Untuk pembahasan yang lebih rinci, lihat CIIP (mendatang). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*

Indikator lingkungan yang relevan dapat mencakup pengurangan emisi absolut, intensitas emisi per unit output, emisi siklus hidup, efisiensi energi dan material, pangsa input daur ulang atau rendah karbon, kemajuan terhadap tonggak transisi sektoral, dan dampak lingkungan lainnya seperti penggunaan air, polusi, dan limbah.

Hasil-hasil ini seringkali lebih sulit diukur dan diverifikasi daripada indikator ekonomi konvensional. Pengurangan emisi bergantung pada garis dasar yang digunakan, batasan pengukuran, dan asumsi tentang apa yang akan terjadi tanpa kebijakan tersebut. Proyek yang melibatkan penelitian, demonstrasi, atau infrastruktur pendukung mungkin tidak menghasilkan pengurangan emisi yang terukur selama bertahun-tahun, sehingga dampak masa depan yang diperkirakan harus dibedakan secara jelas dari hasil yang diamati.

Sistem pemantauan, pelaporan, dan verifikasi yang kuat sangat diperlukan untuk akuntabilitas dan pembelajaran kebijakan. Sistem ini dapat menunjukkan apakah teknologi yang didukung berjalan sesuai harapan, apakah keuangan publik menghasilkan investasi tambahan, dan apakah kebijakan perlu diperluas, dirancang ulang, atau dihentikan. Verifikasi independen, metodologi transparan, dan data yang mudah diakses juga dapat mengurangi risiko *greenwashing* dan *transition-washing*.

Pemantauan juga dapat dikaitkan dengan insentif. Penetapan harga pinjaman, hibah, atau manfaat pajak dapat disesuaikan ketika tonggak lingkungan yang terverifikasi terpenuhi atau tidak terpenuhi. Pinjaman Transisi Tekstil dari Changxing Rural Commercial Bank di Huzhou, Tiongkok, misalnya, mengaitkan kondisi pembiayaan dengan kriteria kelayakan khusus sektor dan kinerja transisi yang terverifikasi, yang menggambarkan bagaimana instrumen keuangan yang sudah dikenal dapat diadaptasi untuk tujuan lingkungan.[28]

Lebih mendasar lagi, persyaratan pengukuran tambahan ini mencerminkan perbedaan yang lebih luas dalam hal apa yang dianggap sebagai **keberhasilan kebijakan**. Kebijakan industri tradisional umumnya berfokus pada transformasi ekonomi: produktivitas, pembelajaran teknologi, ekspor, lapangan kerja, investasi, dan perubahan struktural. Kebijakan industri hijau mempertahankan tujuan-tujuan ini tetapi menambahkan pengurangan emisi dan integritas lingkungan sebagai tujuan utama. Suatu program tidak dapat dinilai berhasil hanya karena menarik investasi atau menciptakan lapangan kerja jika gagal menghasilkan peningkatan lingkungan yang kredibel. Sebaliknya, kebijakan yang mengurangi emisi, terutama melalui impor teknologi dapat berkontribusi pada tujuan iklim sambil menghasilkan kemampuan domestik atau diversifikasi ekonomi yang terbatas.

Oleh karena itu, evaluasi harus mempertimbangkan tiga dimensi yang saling terkait:

1. **Kinerja lingkungan:** apakah emisi dan dampak lingkungan lainnya telah menurun secara kredibel dan berkelanjutan.
2. **Kinerja ekonomi:** apakah kebijakan tersebut telah meningkatkan produktivitas, daya saing, investasi, dan pengembangan pasar.
3. **Kemampuan dan kinerja distribusi:** apakah telah memperkuat kemampuan teknologi dalam negeri, rantai pasokan, dan keterampilan, dan apakah biaya dan manfaatnya didistribusikan secara adil.

Tujuan-tujuan ini dapat saling memperkuat, tetapi juga dapat saling bertentangan. Kebijakan industri hijau membutuhkan sistem evaluasi yang mampu melacak berbagai hasil secara bersamaan dan menjelaskan pertimbangan timbal balik secara eksplisit, daripada berasumsi bahwa setiap investasi hijau akan secara otomatis menghasilkan hasil pembangunan industri yang kuat.

[28] CIIP (akan segera terbit). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*

5.7 Bagaimana cara menyatukan semuanya? Kebutuhan yang lebih besar akan paket kebijakan yang terkoordinasi.

Karena banyaknya tantangan yang terlibat dalam keberhasilan implementasi kebijakan industri hijau, terdapat kebutuhan yang lebih besar untuk mengimplementasikannya melalui paket kebijakan terkoordinasi daripada instrumen kebijakan yang terisolasi. Pemerintah semakin bergantung pada strategi dan peta jalan industri tingkat tinggi untuk mengatur paket kebijakan di sekitar tujuan bersama. Strategi-strategi ini mengartikulasikan ambisi jangka panjang, mengidentifikasi sektor dan teknologi prioritas, menetapkan target produksi atau penyebaran, mengkoordinasikan investasi infrastruktur dan keterampilan, menetapkan tanggung jawab kelembagaan, dan menyediakan kerangka kerja untuk menyusun langkah-langkah kebijakan yang saling melengkapi. Dengan demikian, strategi-strategi ini mengurangi ketidakpastian kebijakan dan menandakan komitmen jangka panjang pemerintah, serta mendorong investasi swasta.

Strategi industri hijau terkini menggambarkan pergeseran ini. *The Green Industrial Initiative 2.0* dari Norwegia, misalnya, menetapkan tujuan utama untuk menciptakan penciptaan nilai yang berkelanjutan secara sosial, lingkungan, dan ekonomi, sekaligus mengidentifikasi sembilan area industri prioritas. Inisiatif ini melengkapi prioritas tersebut dengan tindakan lintas sektoral di bidang energi, infrastruktur, modal, keterampilan, penelitian, tata kelola, dan kerja sama regional. Peta jalan tersebut membingkai elemen-elemen ini sebagai saling terkait, dengan alasan bahwa transformasi industri yang sukses membutuhkan tindakan terkoordinasi di berbagai domain kebijakan, bukan intervensi yang terisolasi (Kotak 3).[29]

Demikian pula, *Future Made in Australia* dari pemerintah Australia menetapkan kerangka kerja nasional untuk mengidentifikasi industri prioritas di bawah tujuan transformasi nol emisi dan ketahanan ekonomi, sambil menghubungkan prioritas sektor dengan insentif investasi, pembiayaan berkelanjutan, dukungan inovasi, pengembangan tenaga kerja, perencanaan infrastruktur, dan reformasi regulasi. Alih-alih memperkenalkan instrumen kebijakan baru, strategi ini menyediakan kerangka kerja pengorganisasian yang menyelaraskan instrumen yang ada di sekitar tujuan industri yang didefinisikan dengan jelas dan memfasilitasi implementasi terkoordinasi.[30]

Sebagaimana ditunjukkan oleh contoh-contoh ini, kebijakan industri hijau semakin dicirikan bukan oleh instrumen-instrumen baru, melainkan oleh koordinasi strategis yang lebih kuat. Strategi tingkat tinggi menyediakan arsitektur kelembagaan di mana subsidi, pembiayaan publik, pengadaan, regulasi, kebijakan keterampilan, dan investasi infrastruktur dapat digabungkan menjadi campuran kebijakan yang koheren, disesuaikan dengan kebutuhan sektor dan wilayah tertentu, dan berkelanjutan dalam jangka panjang yang dibutuhkan untuk transformasi industri.

Kotak 3Strategi tingkat tinggi sebagai kerangka kerja untuk kebijakan industri hijau: studi kasus Australia dan Norwegia

Strategi industri hijau terkini menunjukkan bagaimana pemerintah beralih dari kebijakan-kebijakan terisolasi menuju kerangka kerja terintegrasi yang mengkoordinasikan investasi, inovasi, infrastruktur, dan pengembangan tenaga kerja di sekitar tujuan transformasi industri jangka panjang.

[29] Kementerian Perdagangan, Industri, dan Perikanan Norwegia (2024). *Casebook of international practices for financing green industrial transitions.*
[30]Pemerintah Australia (2024). *Future Made in Australia.*

Kotak 3Strategi tingkat tinggi sebagai kerangka kerja untuk kebijakan industri hijau: studi kasus Australia dan Norwegia

Strategi "Made in Australia" di Australia dirancang untuk memposisikan negara agar dapat memanfaatkan peluang ekonomi yang muncul dari transisi global menuju nol emisi karbon, sekaligus memperkuat ketahanan ekonomi dan keamanan nasional. Alih-alih berfokus pada program-program individual, strategi ini menetapkan Kerangka Kepentingan Nasional yang mengidentifikasi sektor-sektor prioritas dan mengkoordinasikan instrumen kebijakan di sekitar tujuan industri bersama. Strategi ini memprioritaskan industri-industri seperti energi terbarukan, mineral penting, logam ramah lingkungan, baterai, hidrogen, dan manufaktur bersih, serta menggabungkan insentif investasi yang ditargetkan dengan dukungan inovasi, pembiayaan konsesional, pengembangan keterampilan, investasi infrastruktur, reformasi regulasi, dan langkah-langkah untuk memobilisasi modal swasta.

Langkah-langkah spesifik mencakup insentif pajak produksi untuk pengolahan mineral penting, perluasan pembiayaan melalui *Clean Energy Finance Corporation* dan *National Reconstruction Fund*, investasi dalam infrastruktur transmisi melalui *Rewiring the Nation*, dan inisiatif tenaga kerja untuk memperluas pelatihan dan meningkatkan partisipasi perempuan dalam pekerjaan di bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika. Dengan menghubungkan langkah-langkah yang saling melengkapi ini dalam satu kerangka strategis, inisiatif ini berupaya mengurangi ketidakpastian investasi dan mempercepat pengembangan kemampuan industri baru.

Norwegia mengadopsi pendekatan terintegrasi yang serupa. Inisiatif ini mendefinisikan tujuan keseluruhan kebijakan industri sebagai upaya untuk mendorong penciptaan nilai yang berkelanjutan secara sosial, lingkungan, dan ekonomi, sekaligus mendukung transisi menuju ekonomi rendah emisi. Strategi ini mengidentifikasi sembilan bidang industri prioritas: energi angin lepas pantai, baterai, hidrogen, penangkapan dan penyimpanan karbon, industri pengolahan, manufaktur, industri tenaga surya, industri maritim, serta kehutanan dan sektor bio-ekonomi lainnya. Strategi ini juga mengakui bahwa pengembangan bidang-bidang tersebut bergantung pada serangkaian kondisi pendukung yang umum, termasuk energi bersih yang terjangkau, infrastruktur, akses ke modal, penelitian dan inovasi, tenaga kerja terampil, pasar ekspor, dan tata kelola yang efektif.

Langkah-langkah konkret mencakup target setidaknya 30% pengadaan publik untuk memasukkan kriteria ramah lingkungan, perluasan dukungan untuk proyek percontohan dan demonstrasi, penguatan skema pembiayaan dan jaminan ekspor untuk industri ramah lingkungan, investasi dalam infrastruktur penangkapan dan penyimpanan karbon, dan pembentukan Dewan Industri Hijau untuk mengkoordinasikan implementasi di seluruh pemerintah, industri, mitra sosial, dan lembaga penelitian.

Terlepas dari perbedaan konteks nasional dan struktur industri, kedua strategi tersebut mencerminkan pemahaman bersama tentang kebijakan industri hijau. Alih-alih memperkenalkan instrumen kebijakan baru, keduanya mengorganisir alat-alat yang sudah dikenal dalam strategi jangka panjang yang koheren, menandakan komitmen pemerintah yang berkelanjutan.

Sumber: Pemerintah Australia (2024). *A Future Made in Australia*; Kementerian Perdagangan, Industri dan Perikanan Norwegia (2024). *The Green Industrial Initiative. Roadmap 2.0*.

6. Kesimpulan dan implikasi bagi negara berkembang

Risalah kebijakan ini telah mengkaji kebijakan industri hijau sebagai respons terhadap tantangan teknologi, ekonomi, dan kelembagaan yang saling terkait dalam transformasi produksi industri. Kesimpulan utamanya adalah bahwa transisi industri hijau bukan sekedar proses mengadopsi peralatan yang lebih bersih, melainkan melibatkan perubahan dalam teknologi produksi, input energi dan material, infrastruktur, pasar, dan kemampuan produktif. Solusi yang layak secara teknis kemungkinan tidak menarik secara komersial, sementara proyek yang menjanjikan secara ekonomi mungkin tidak dapat dilanjutkan karena infrastruktur, keterampilan, atau lembaga pendukung yang diperlukan tidak tersedia.

Oleh karena itu, kebijakan industri hijau berbeda dari kebijakan industri tradisional bukan karena seperangkat instrumen yang sepenuhnya baru, melainkan karena tuntutan yang diberikan pada desain dan implementasinya. Alat-alat yang sudah dikenal digunakan untuk mengatasi ketidakpastian teknologi yang lebih besar, menciptakan permintaan akan perbaikan lingkungan, mengkoordinasikan investasi di seluruh sistem industri, dan memverifikasi hasil di luar indikator ekonomi konvensional. Akibatnya, unit analisis yang relevan adalah **paket kebijakan,** bukan subsidi, pinjaman, atau regulasi individual.

Bagi negara berkembang, analisis ini menyoroti enam pertimbangan yang saling terkait:

Jalur transisi bergantung pada kebutuhan sektoral dan kemampuan yang ada. Pilar-pilar umum dekarbonisasi industri menyediakan kerangka kerja untuk analisis tetapi bukan program investasi yang seragam. Penerapannya bergantung pada proses produksi, aset yang ada, kondisi energi dan infrastruktur lokal, kematangan teknologi, dan biaya. Oleh karena itu, instrumen atau teknologi yang sama mungkin mengatasi kendala signifikan di satu industri sementara memiliki relevansi terbatas di industri lain. Bagi negara berkembang, hal ini menjadikan pemahaman tentang struktur dan kemampuan industri domestik sangat penting untuk menilai jalur transisi yang layak. Hal ini juga membedakan antara dua tugas paralel: menyebarluaskan solusi yang tersedia secara komersial yang dapat memberikan peningkatan jangka pendek; dan mengembangkan kemampuan dan sistem pendukung yang dibutuhkan untuk perubahan teknologi yang lebih mendalam. Memperlakukan transisi sebagai adopsi teknologi yang sudah matang atau investasi dalam terobosan teknologi mengabaikan sebagian dari tantangan tersebut.

Pengembangan kemampuan domestik merupakan tujuan yang berbeda, bukan hasil otomatis dari dekarbonisasi. Investasi dapat mengurangi emisi sambil tetap bergantung pada peralatan dan keahlian impor. Demikian pula, memaksakan persyaratan kandungan domestik yang ketat sebelum pemasok lokal dapat memenuhinya dapat meningkatkan biaya dan risiko, yang berpotensi mencegah investasi. Oleh karena itu, hubungan antara dekarbonisasi dan pengembangan industri melibatkan masalah pengurutan daripada pilihan sederhana antara teknologi impor dan domestik. Risalah kebijakan ini telah mengidentifikasi kondisi progresif yang berorientasi pada kemampuan sebagai salah satu pendekatan: menghubungkan dukungan dengan pelatihan tenaga kerja, kemitraan penelitian, pengembangan pemasok, kemampuan pemeliharaan, atau lokalisasi bertahap komponen dan layanan tertentu. Pengaturan ini menghubungkan investasi dengan pembelajaran domestik tanpa mengasumsikan bahwa semua kemampuan harus sudah ada. Pengaturan ini juga memperluas makna industrialisasi hijau di luar pembuatan peralatan manufaktur untuk mencakup layanan teknik, teknis, dan industri lainnya yang mendukung penggunaannya.

Penciptaan pasar dan pengembangan infrastruktur merupakan bagian dari investasi industri, bukan kegiatan pendukung yang terpisah. Perluasan kapasitas produksi tidak selalu menciptakan pasar untuk produk rendah emisi, terutama jika pembeli tidak bersedia membayar biaya tambahan. Demikian pula, investasi dalam fasilitas industri mungkin bergantung pada jaringan listrik, pasokan bahan baku, transportasi, atau fasilitas bersama yang harus disediakan oleh organisasi lain. Merancang paket kebijakan yang koheren melibatkan identifikasi

ketergantungan ini dan menyelaraskan komitmen, tanggung jawab, dan jadwal implementasi yang terkait. Pengadaan, standar, dan penetapan pengambilan hasil produksi menangani berbagai aspek permintaan, sementara perencanaan infrastruktur yang terkoordinasi menangani kondisi fisik untuk produksi. Infrastruktur sendiri juga menghadapi risiko iklim yang dapat mengganggu aktivitas industri. Bagi negara berkembang, implikasinya adalah bahwa kelayakan transisi industri yang diusulkan bergantung pada sistem produksi yang lebih luas dan bukan hanya pada teknologi atau posisi keuangan perusahaan tertentu.

Akses terhadap modal hanyalah satu bagian dari tantangan pembiayaan. Beberapa proyek kekurangan pembiayaan yang sesuai karena teknologinya tidak dikenal atau jangka waktu investasinya panjang. Proyek lain menghadapi masalah yang belum terselesaikan terkait persiapan proyek, ketersediaan infrastruktur, atau permintaan di masa depan. Perbedaan ini penting karena pinjaman tambahan saja tidak dapat menyelesaikan setiap hambatan. Risalah kebijakan ini telah mengidentifikasi pembiayaan campuran (yang mengubah cara struktur modal dan risiko) dan pembiayaan transisi (yang memperluas jangkauan kegiatan dekarbonisasi kredibel yang dapat menerima dukungan) sebagai praktik pembiayaan yang relevan. Kedua praktik ini dapat dikombinasikan dengan studi kelayakan, dukungan teknik, dan bantuan teknis. Bagi pemerintah dan lembaga pembiayaan pembangunan, hal ini menjadikan identifikasi risiko tertentu dan kesenjangan kelayakan sebagai bagian penting dari rancangan pembiayaan. Sumber daya publik atau konsesi dapat memungkinkan investasi yang macet, tetapi sumber daya tersebut tidak dapat secara permanen mengkompensasi ketiadaan jalur transisi yang layak atau pasar yang berfungsi.

Kontinuitas kebijakan dan taksonomi yang jelas mendukung kepercayaan investasi dan kredibilitas lingkungan. Perusahaan industri dan investor membutuhkan kejelasan mengenai arah jangka panjang sebelum berkomitmen pada teknologi, fasilitas produksi, dan infrastruktur dengan masa operasi yang panjang. Tujuan yang dapat diprediksi, jadwal implementasi, dan kerangka kerja pendukung dapat memberikan kepercayaan ini, sekaligus memungkinkan instrumen individual untuk berkembang seiring dengan kematangan teknologi dan akumulasi pengalaman implementasi. Taksonomi yang jelas untuk kegiatan ramah lingkungan dan transisi dapat melengkapi prediktabilitas ini, dengan menentukan kegiatan mana yang memenuhi syarat untuk mendapatkan dukungan dan ambang batas lingkungan atau persyaratan transisi yang digunakan untuk penilaiannya. Bagi pemerintah, lembaga keuangan pembangunan, dan aktor pendukung lainnya, klasifikasi ini memberikan dasar untuk mengidentifikasi bukti yang dibutuhkan untuk menilai kelayakan dan membuktikan klaim lingkungan, tetapi taksonomi tidak sepenuhnya dapat menggantikan bukti kinerja. Penerapannya bergantung pada indikator yang terukur, pelaporan yang transparan, dan verifikasi independen, dengan hasil yang diamati dibedakan dari peningkatan yang diharapkan. Bersama-sama, definisi yang jelas dan bukti yang kredibel mendukung para aktor untuk membedakan antara kemajuan lingkungan yang sebenarnya dan klaim yang tidak didukung serta untuk mengurangi risiko ***greenwashing*** **dan** ***transition-washing***.

Implementasi bergantung pada kemampuan kelembagaan dan teknis, serta sumber daya keuangan. Tuntutan koordinasi yang dijelaskan dalam risalah kebijakan ini memerlukan pengetahuan tentang proses industri, kemampuan untuk menilai teknologi yang belum dikenal, dan perencanaan untuk bekerja sama lintas perusahaan, penyedia infrastruktur, organisasi penelitian, dan badan publik. Di tingkat perusahaan, keterbatasan sumber daya teknik dan akses ke keahlian khusus dapat membatasi adopsi, terutama di kalangan UKM. Di tingkat sistem, kurangnya fasilitas pengujian, standar, sertifikasi, dan keterampilan tenaga kerja dapat mencegah teknologi mencapai skala komersial. Strategi tingkat tinggi dapat mengatur aktivitas yang saling bergantung ini dengan menetapkan tujuan, menetapkan tanggung jawab, dan mengurutkan langkah-langkah, namun pelaksanaannya tetap bergantung pada kemampuan organisasi yang terlibat. Oleh karena itu, contoh negara dalam risalah kebijakan ini merupakan ilustrasi yang berguna untuk fungsi dan kombinasi kebijakan, bukan sekedar paket siap pakai

yang dapat ditransfer tanpa perubahan. Pengaturan implementasi suatu negara berkembang perlu dipahami bersamaan dengan ambisi industrinya.

Pertimbangan-pertimbangan ini menunjukkan mengapa pengurangan emisi maupun peningkatan industri domestik tidak dapat diasumsikan secara otomatis mengikuti investasi hijau. Tantangan bagi negara-negara berkembang adalah menghubungkan jalur dekarbonisasi yang kredibel dengan pengembangan kemampuan produktif, sambil mengakui kendala dan pertimbangan yang terlibat. Kebijakan industri hijau menyediakan kerangka kerja untuk meneliti hubungan-hubungan ini: antara industri yang ada dan aktivitas baru, antara dukungan finansial dan non-finansial, dan antara proyek-proyek individual dan sistem yang bergantung padanya. Pada akhirnya, hasilnya bergantung pada bagaimana elemen-elemen ini bekerja bersama, bukan pada keberadaan instrumen tunggal.

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Cambridge Industrial Innovation Policy

OPEN SOCIETY FOUNDATIONS

About us

Cambridge Industrial Innovation Policy (CIIP) is based at the Institute for Manufacturing (IfM), a division of the University of Cambridge's Department of Engineering. CIIP brings together the Centre for Science, Technology & Innovation Policy at the IfM, the Policy Links Unit from IfM Engage, and the Babbage Policy Forum.

17 Charles Babbage Road, Cambridge, CB3 0FS, United Kingdom

ciip.group.cam.ac.uk

