

Nilai Ekonomi Karbon untuk Mendorong Adopsi Hidrogen Hijau di Sektor Industri



Webinar Road to IETD 2025
Menilik Perkembangan Hidrogen Hijau Global
dan Indonesia

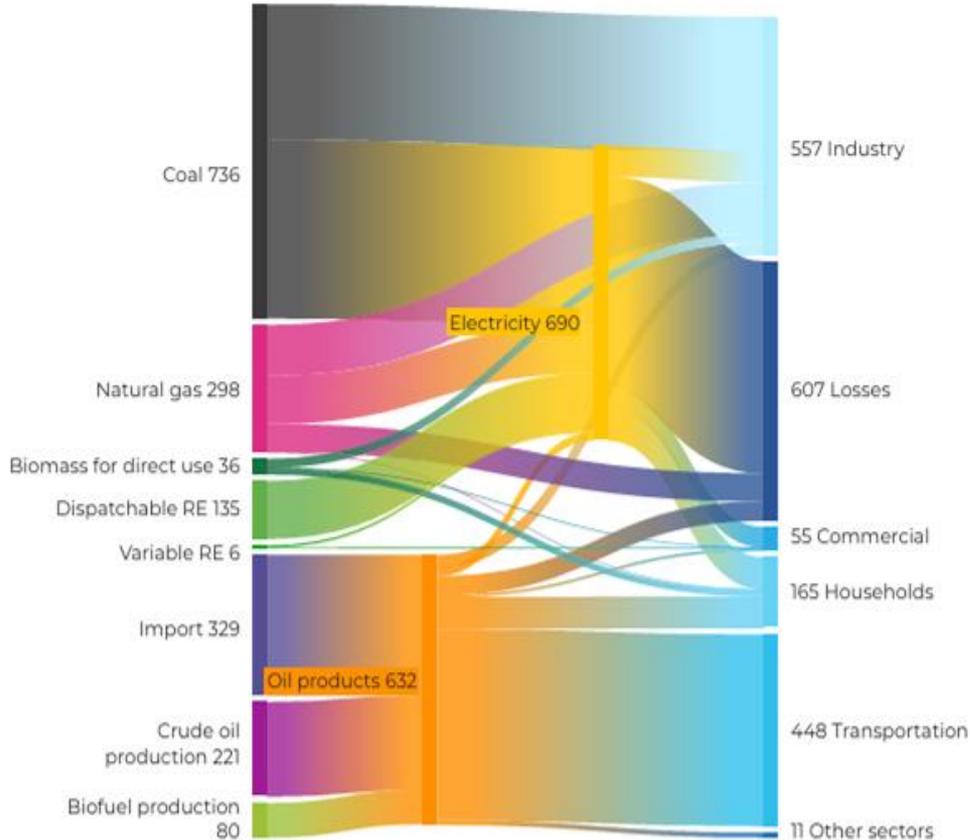
Dr. Juniko Nur Pratama
Industry Decarbonization Program Manager
Institute for Essential Services Reform
12 September 2025



Outline

- I. Status Terkini Neraca Produksi-Konsumsi Energi di Indonesia
- II. Profil Penggunaan Energi dan Emisi dari Sektor Industri
- III. Lanskap Hidrogen Hijau di Dunia dan Indonesia
- IV. Mekanisme dan Perkembangan Nilai Ekonomi Karbon**
- V. Strategi Dekarbonisasi dan Percepatan Penerapan Industri Hijau**
- VI. *Enabler* Transisi Energi Sektor Industri
- VII. Sektor Industri yang Menggunakan Hidrogen Hijau**
- VIII. Tantangan Hidrogen Hijau dalam Sektor Ekonomi dan Industri**
- IX. Rekomendasi Percepatan Adopsi Hidrogen Hijau salah satunya dengan Mekanisme NEK**
- X. Key take aways

Indonesia domestic primary energy supply, transformation, and final energy demand, 2023 (in million BOE)



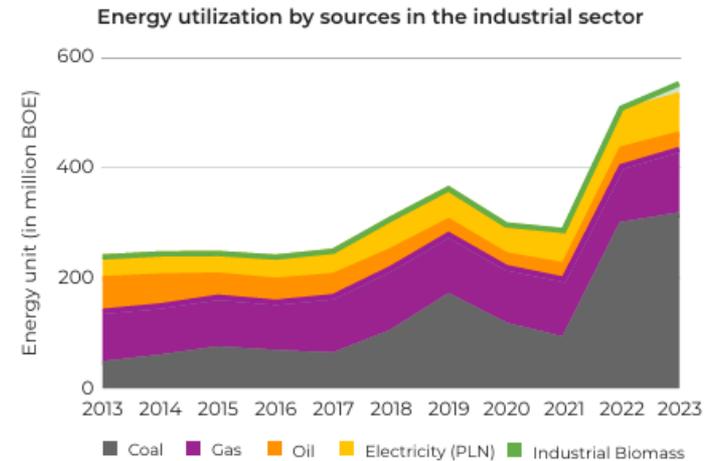
Source: MEMR (2024)

Status Terkini Neraca Produksi - Konsumsi Energi di Indonesia

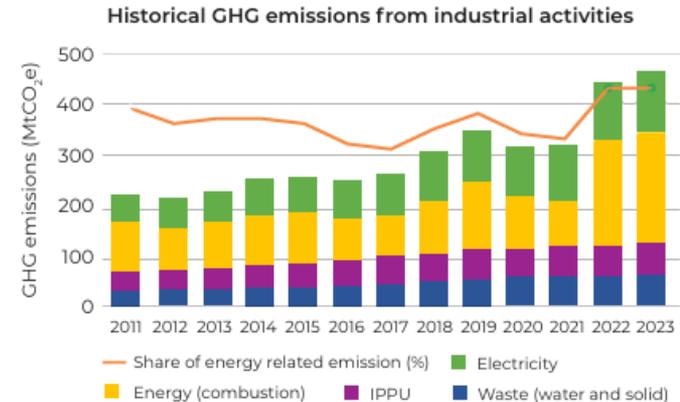
- Di 2023, total penyediaan energi primer mencapai **1.843 MBOE**; hampir **90% di produksi dari sumber tak terbarukan** seperti batu bara, gas alam, dan minyak. *1 MBOE = 0,14 MTOE
- Batu bara digunakan sekitar 736 MBOE baik untuk penggunaan energi langsung, maupun untuk umpan penghasil listrik.
- Sektor industri menjadi kontributor terbesar penggunaan bahan bakar fosil. **Data dari KESDM menunjukkan sektor industri mengonsumsi 317 MBOE batu bara dan 119 MBOE produk gas alam.**

Permintaan energi sektor industri meningkat 9% YoY diikuti oleh profil emisinya. Pemerintah perlu mengkaji ulang kebijakan subsidi bahan bakar fosil

- **Konsumsi energi di sektor industri naik menjadi 556 MBOE di 2023 (bertumbuh 9% YoY)** dikarenakan
 - Sektor industri bertumbuh sebesar 4.6% (MEMR, 2024a; Gol, 2024a).
 - Penggunaan bahan bakar fosil masih tinggi
 - batu bara 56.9%
 - gas alam dan LPG 21.6%
 - minyak 5.1%
- **Peningkatan emisi di sektor industri sebesar 5%**, disebabkan oleh
 - Bauran penggunaan listrik menurun 0.9% dibanding tahun sebelumnya
 - Peningkatan penggunaan batu bara, terutama untuk mendukung program hilirisasi
 - **Batas harga beli DMO batu-bara** masih berlaku dengan jangka waktu yang tidak dibatasi



Note: There are changes in the energy landscape in the industrial sector including update to biomass, gas, and oil data and the elimination of the use of "traditional biomass" in the HEESI published by MEMR in 2024 (MEMR, 2024a).

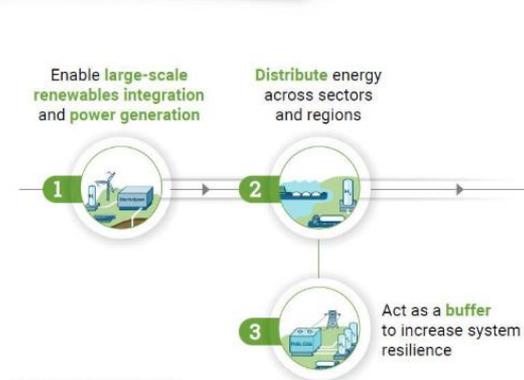


Source: MoEF, (2023); MEMR, (2024a)

Kebutuhan Hidrogen Hijau untuk Industri

The 7 roles of hydrogen in the energy transition

Enable the renewable energy system



Decarbonize end-uses



Sumber: McKinsey & Hydrogen Council, 2017

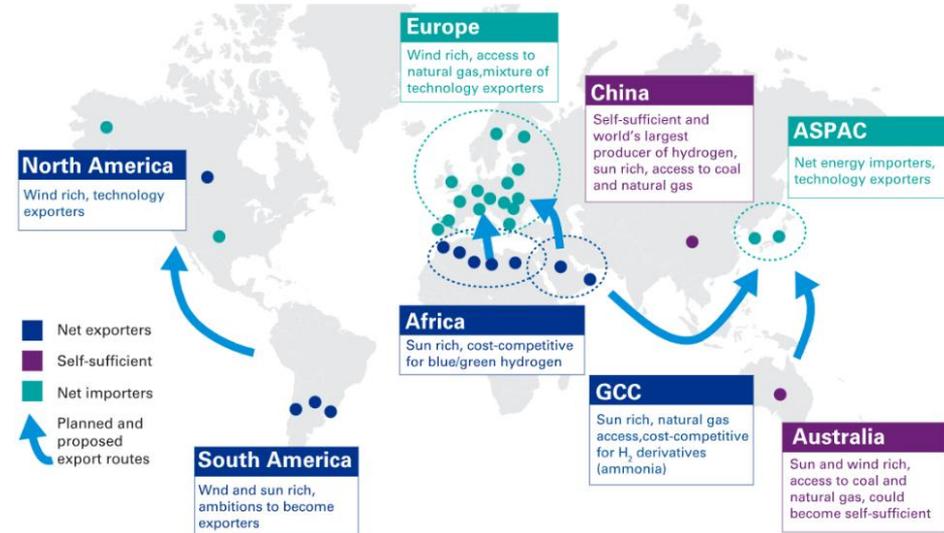
Secara garis besar kebutuhan ini untuk:

1. Mengisi gap teknologi untuk dekarbonisasi
2. Peran strategis dalam transisi energi industri
3. Target dan proyeksi permintaan yang besar
4. Opsi diversifikasi dan keamanan energi industri
5. Membuka peluang ekonomi baru

“Hidrogen hijau bukan sekadar opsi teknologi, tapi kebutuhan strategis untuk masa depan industri Indonesia yang kompetitif, rendah karbon, dan tahan terhadap krisis energi.”

Perkembangan Hidrogen Hijau : Pasar Global

Distribusi Rantai Suplai Hidrogen



Untuk menghubungkan permintaan dan pasokan hidrogen lintas wilayah, dibutuhkan sistem transportasi yang aman dan hemat biaya seperti truk, kereta, dan kapal. Logistik yang efisien menjadi kunci keberhasilan rantai pasok hidrogen.

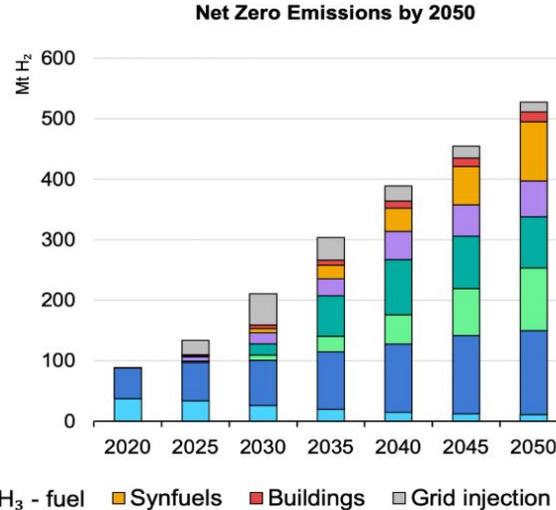
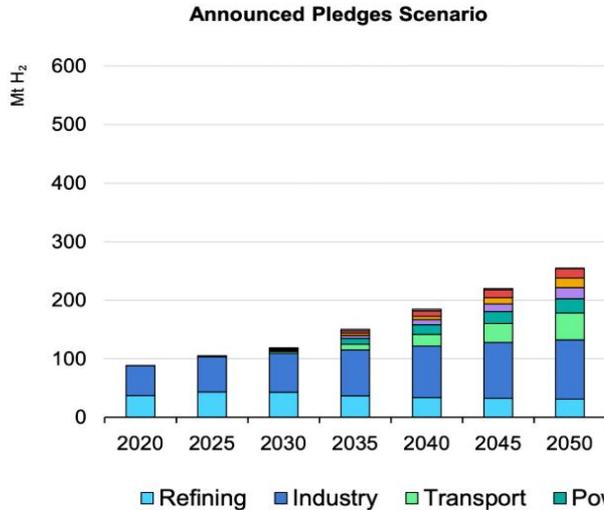
Ekosistem Hidrogen di Dunia



Ekosistem hidrogen internasional sudah berkembang pesat, dan didorong oleh langkah nyata dari pelaku industri, semakin banyak pihak baru yang mulai terlibat untuk melihat bagaimana hidrogen dapat menjawab kebutuhan mereka.

Kebutuhan H₂ Dunia dengan target NZE 2050

Kebutuhan Hidrogen dalam Berbagai Sektor Pada Skenario Announced Pledges dan Net Zero Emission, 2020-2050



IEA berpendapat peningkatan drastis dalam produksi bahan bakar berbasis hidrogen seperti amonia diperlukan pada tahun 2050.

Notes: "NH₃ - fuel" refers to the use of hydrogen to produce ammonia for its use as a fuel. The use of hydrogen to produce ammonia as a feedstock in the chemical subsector is included within industry demand.

IEA. All rights reserved.

Dalam Skenario Emisi Nol Bersih, permintaan hidrogen meningkat dua kali lipat hingga mencapai 530 juta ton H₂ pada tahun 2050, dengan separuhnya berasal dari sektor industri dan transportasi. Bahkan, permintaan industri hampir tiga kali lipat dari sekitar 50 juta ton H₂ pada tahun 2020 menjadi sekitar 140 juta ton H₂ pada tahun 2050.

Perkembangan Hidrogen Hijau : Lanskap Indonesia

Kebijakan dan Regulasi terkait Hidrogen dan EBT

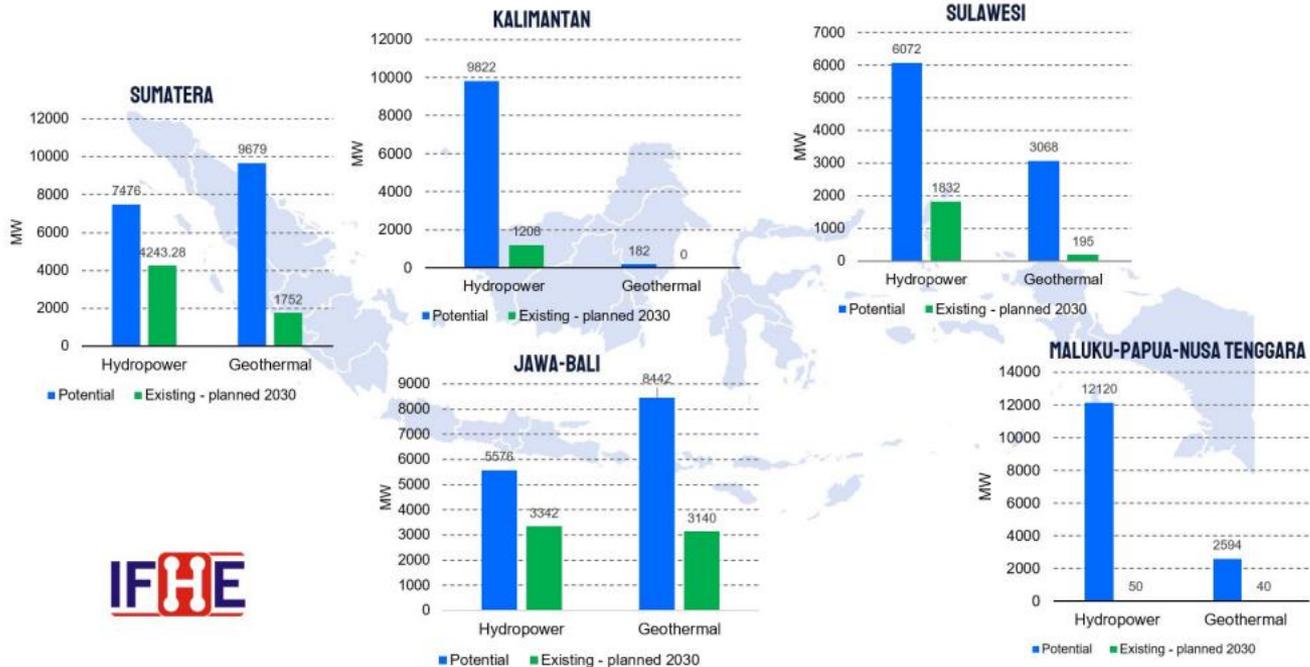
| No. | Regulasi | Deskripsi |
|-----|--|--|
| 1 | Undang-Undang No. 30/2007 | Menekankan pada keamanan energi, pembangunan berkelanjutan, ketahanan energi, dan pelestarian lingkungan. |
| 2 | Peraturan Pemerintah No. 79/2014 | Mendorong pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) dan mengerem penggunaan sumber energi fosil. Dalam kebijakan tersebut ditetapkan target bauran EBT pada 2020 hingga 2050. |
| 3 | Peraturan Pemerintah No. 79/2014 | Menetapkan rencana pengembangan EBT hingga tahun 2050, termasuk rencana aksi umum untuk pengembangan hidrogen, seperti penyusunan kerangka regulasi, pengembangan kapasitas teknologi dan manufaktur, serta penyediaan insentif. |
| 4 | Undang-Undang No. 30/2009 | Mengatur perencanaan dan tata kelola sektor ketenagalistrikan. Undang-undang ini juga mendorong prioritas pengembangan energi baru dan terbarukan. |
| 5 | RUU Energi Baru dan Terbarukan | Mengatur pengembangan EBT, termasuk penetapan harga, insentif, dll. Dalam draf terbaru, hidrogen disebutkan sebagai energi baru. |
| 6 | Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 | Kebijakan energi nasional |
| 7 | Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 2015 | Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015-2035 |
| 8 | Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 | Rencana Umum Energi Nasional |

Mengutip Indonesia Hidrogen Roadmap (IFHE), masih diperlukan kebijakan yang lebih implementatif untuk mendorong percepatan pembentukan ekosistem hidrogen di Indonesia meliputi:

1. Penyusunan kebijakan yang lebih spesifik dan terperinci
2. Mendorong kerjasama internasional dalam pengembangan hidrogen
3. Memberikan insentif fiskal dan pendanaan penelitian
4. Mengembangkan serangkaian aturan dan prosedur yang jelas dan terpadu
5. Mendorong investasi swasta dalam infrastruktur hidrogen

Perkembangan Hidrogen Hijau : Lanskap Indonesia

Potensi Energi Geothermal dan Air di Indonesia



Sumber: Indonesia Hydrogen Roadmap, IFHE

- Produksi hidrogen dapat menjadi solusi untuk mengatasi surplus daya listrik di jaringan, terutama saat permintaan rendah seperti pada malam hari.
- Dengan memanfaatkan kelebihan listrik dari sumber energi terbarukan seperti tenaga air dan panas bumi. Sehingga potensi produksi hidrogen dapat dihitung dan dioptimalkan sesuai pola pasokan dan permintaan.

Perkembangan Hidrogen Hijau : Lanskap Indonesia

Roadmap Aplikasi Hidrogen di Indonesia

Power generation and grid balancing

Immediate next steps (~2025)

Engineering analysis and pilot
Green Hydrogen demo project

Early adoption (2031-2040)

NH₃-coal co-firing
NG replacement to NH₃

Infrastructure building (Initialization of hydrogen economy)

Open market (electricity and H₂)
Ancillary services

Diversification and broad rollout

Concentrated power plant
Distributed power
P2H2P
Power to H₂, H₂ to power

Transportation

Pilot Project
Light demonstration
Hydrogen truck
Material handling / forklifts
Adoption Hydrogen station infrastructure
Light commercial vehicles
Heavy vehicles
Commercial Hydrogen station
Ships
Aircraft
Rail

Industrial Fuel

Small-scale demonstration, green industries
Blue and Green H₂ and NH₃ for Export
Partial Green Ammonia
Partial Green Fertilizer/Ammonia Industries
High-grade industrial heat / steam production
Partial steelmaking
Green Cleochemical, Fertilizer Ammonia Industries
Steelmaking and other heavy industries
Green Fertilizer/Ammonia Industries

Chemical Industrial

Residential and buildings

Portable FC and electrolyzer, FC-based mini grid
Green residential in Nusantara
Gas-grid (local and domestic grids)
Small-scale combined heat and power

Mekanisme dan Perkembangan Nilai Ekonomi Karbon (NEK)



2 SKEMA EKONOMI KARBON

Instrumen perdagangan



Perdagangan emisi

Penghasil karbon besar beli izin emisi dari penghasil karbon rendah



Offset emisi

Entitas yang berhasil turunkan emisi dapat jual kredit karbon

Instrumen non-perdagangan



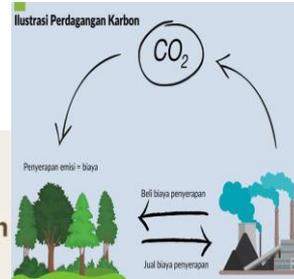
Pajak karbon

Pungutan atas aktivitas/kandungan karbon



Result Based Payment (RBD)

Pembayaran atas hasil penurunan emisi



SEKTOR INDUSTRI SASARAN

Energi, transportasi, pengolahan limbah, proses industri dan penggunaan produk, pertanian, kehutanan

Pajak karbon mulai 1 Juli 2022

- Sektor **PLTU batubara**
- Tarif pajak **Rp30 ribu** per ton CO₂e
- Potensi penerimaan **Rp194 miliar** (2023)
- Tambahan subsidi/ kompensasi listrik **Rp207 miliar**

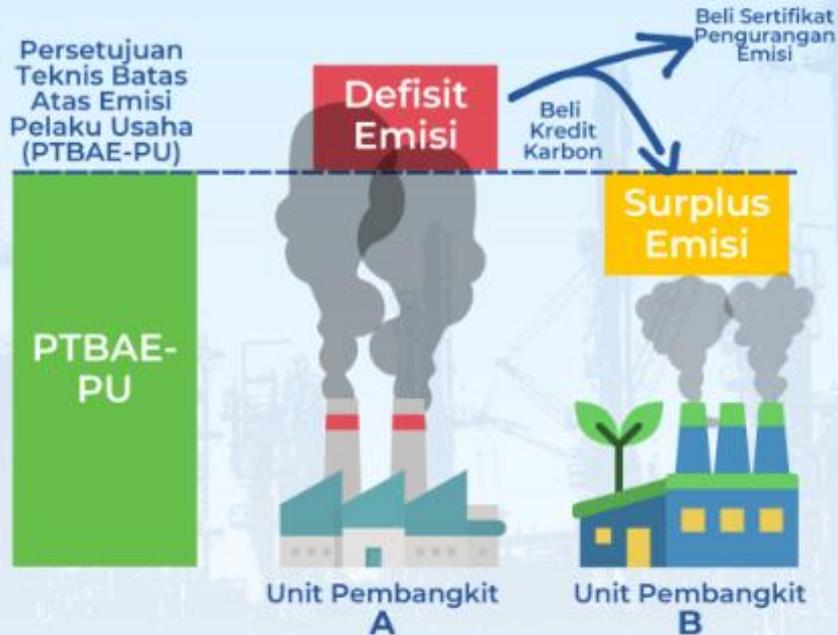
Sumber: Katadata

1. Mekanisme Utama NEK yang Disiapkan Pemerintah:

- **Pajak Karbon:** Telah berlaku sejak 2022 (UU HPP 2021)
 - Saat ini berlaku untuk sektor PLTU → akan diperluas ke industri
- **Perdagangan Karbon (ETS):**
 - Sistem perdagangan emisi berbasis cap-and-trade
 - Perlu diujicobakan dan dikembangkan oleh Kementerian Perindustrian, LH, PLN
- **Nilai Ekonomi Karbon Lainnya:**
 - Skema offset sukarela (VER), potensi integrasi dengan kredit internasional (Article 6 Paris Agreement)

Mekanisme dan Perkembangan Nilai Ekonomi Karbon (NEK)

Teknis Perdagangan Karbon



Sumber: Pagarani ESDM, Peraturan Menteri ESDM No. 18 Tahun 2022 Tata Cara Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Subsektor Pembangkit Tenaga Listrik

2. Kerangka Regulasi Kunci:

- **Perpres 98/2021:** NEK mencakup pajak, perdagangan, offset, dan kontribusi lainnya
- **Permen LHK No. 21/2022:** Menjadi dasar penyelenggaraan perdagangan karbon lintas sektor
- **SE Menperin No. 2/2025:** Mewajibkan pelaporan emisi industri sebagai langkah awal pengintegrasian NEK
- **Roadmap Peta Jalan Dekarbonisasi Industri (Agustus 2025, Kemenperin)**

Mekanisme dan Perkembangan Nilai Ekonomi Karbon (NEK)



3. Perkembangan & Status Saat Ini:

- Pilot ETS untuk sektor ketenagalistrikan sedang berlangsung (35 PLTU) dengan skema Indonesian Economic Value of Carbon (NEK) Trading Scheme. [ICAP](#)
- Penyiapan **MRV (Measurement, Reporting, Verification)** untuk sektor industri
- Belum ada harga karbon yang stabil, tetapi kisaran referensi awal: **IDR 30.000–75.000 per tCO_{2e}**

Pemerintah Indonesia telah meletakkan fondasi penting bagi implementasi NEK melalui kombinasi antara **pajak karbon** dan **perdagangan karbon**. Meskipun masih dalam tahap awal, arah kebijakan ini sejalan dengan tren global dan dapat menjadi dasar kuat untuk mendukung adopsi teknologi rendah karbon seperti **hidrogen hijau**. Tantangan ke depan adalah memastikan keberlanjutan harga karbon, integritas skema MRV, dan perluasan cakupan ke sektor industri manufaktur.



Peta Jalan Dekarbonisasi Sektor Industri*

Mekanisme NEK Sektor Industri

Kebijakan pengurangan emisi

Penerapan Ekonomi Sirkular

Penangkapan & Pemanfaatan Karbon

Standar Industri Hijau

9 Sub Sektor Industri Prioritas

| | | |
|----------------|-------------------|-------------------|
| Semen | Pupuk | Logam |
| Pulp & Kertas | Tekstil | Kimia |
| Keramik & Kaca | Makanan & Minuman | Alat Transportasi |

*Peta Jalan Dekarbonisasi Industri masih proses penyusunan, menunggu revisi Perpres No. 98/2021 sebagai payung hukum pengendalian emisi GRK

Positioning Kebijakan dan Penerapan Teknologi terhadap Dekarbonisasi



Produk kebijakan internasional untuk melindungi pasar mereka

Negara-negara lain memperketat kebijakan perdagangan globalnya, beberapa contohnya:



EU on carbon border adjustment mechanism (CBAM)



US on Liberation Day Tariff

‘Berkelanjutan’ bukan hanya preferensi baru konsumen, tetapi juga investor

68% konsumen bersedia membayar lebih untuk produk yang ramah lingkungan

78% konsumen menyatakan bahwa gaya hidup berkelanjutan penting bagi mereka

57% investor telah menunjukkan peningkatan minat terhadap investasi berkelanjutan

Berbagai pendanaan tersedia untuk dekarbonisasi, meningkatkan kelayakan investasi

Total Climate Finance: 2022, Pendanaan iklim mencapai USD 1,46 triliun, menunjukkan ketahanan dan pertumbuhan di tengah krisis global

Growing Diversity: kini mendukung proyek-proyek di luar energi terbarukan, termasuk solusi berbasis alam, inisiatif yang dipimpin oleh masyarakat, dan model keuangan yang inovatif.

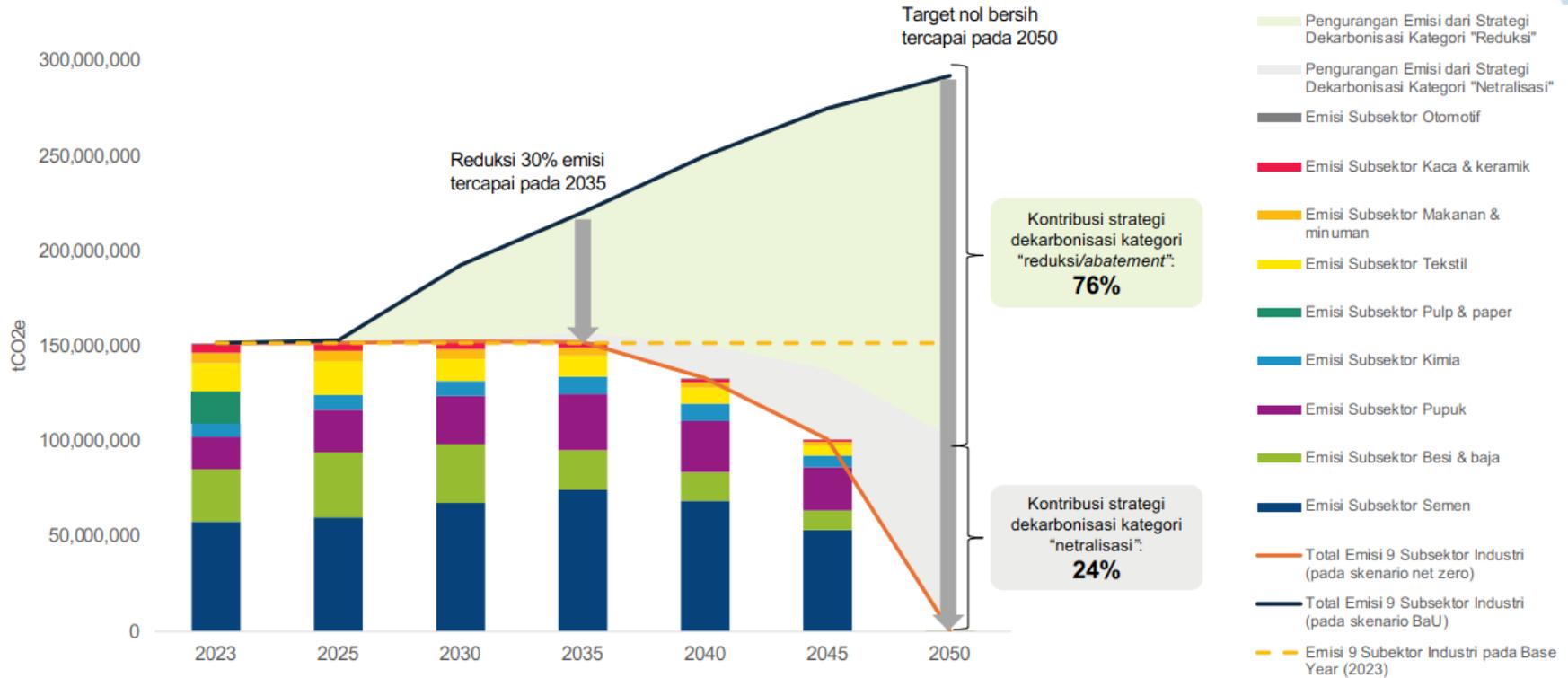
Tiga (3) teknologi dipercaya merupakan **game changer** dalam dekarbonisasi dan transisi energi sektor manufaktur, yaitu:

- 1. Green Ammonia**
- 2. Green Hydrogen,**
- 3. CCU (Carbon Capture and Utilization)**

Investasi dalam penerapan CCS Hub dan produksi ammonia hijau serta hidrogen hijau berbasis Kawasan/Kluster industri akan mendukung transformasi industri dalam memproduksi produk dengan tapak karbon yang rendah sehingga kompetitif dipasar global.

Diperlukan *feasibility study* terkait supply, demand, teknologi, dan kebutuhan investasi

Implementasi Peta Jalan Dekarbonisasi Industri akan berkontribusi pada pengurangan 66.5 juta tCO₂e emisi pada tahun 2035 dan 289.7 juta tCO₂e emisi pada tahun 2050

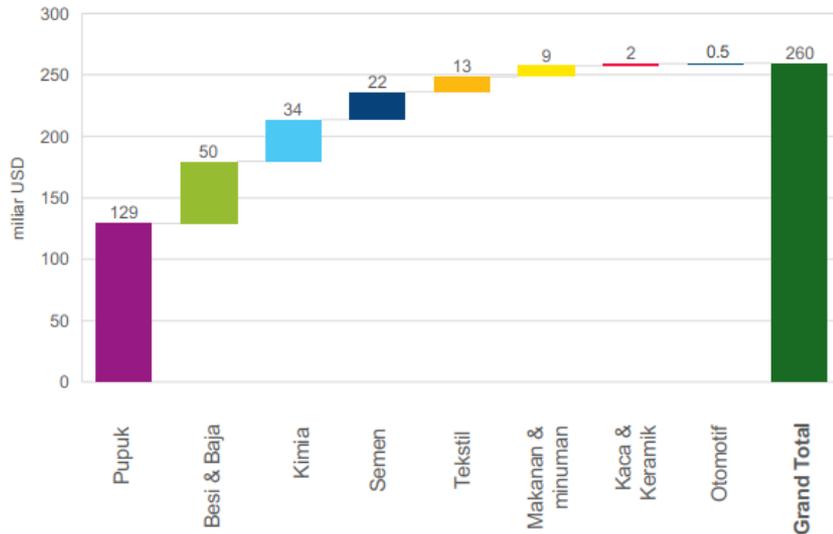


Sumber: Analisis WRI dan IESR (2025). Analisis dapat berubah sewaktu-waktu, hati-hati dalam mengutip.

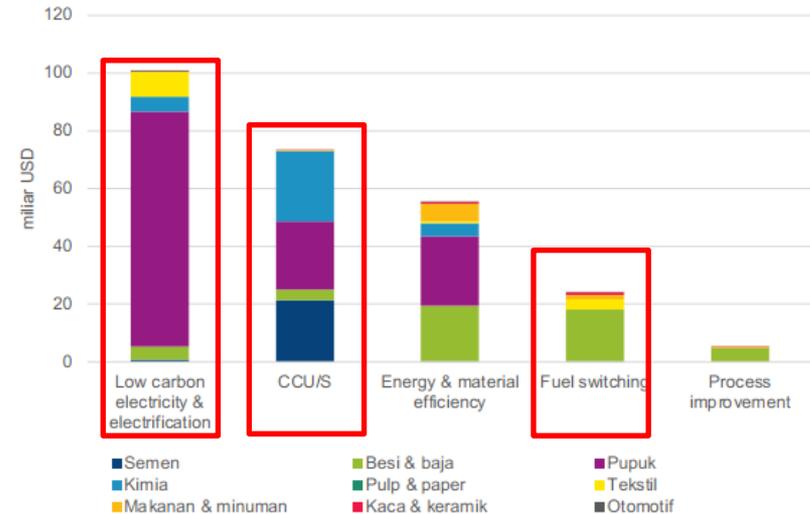
Untuk mengimplementasikan target reduksi emisi tersebut, industri membutuhkan total 260 miliar USD dari tahun 2025-2050



Kebutuhan investasi berdasarkan sektor sampai tahun 2050



Kebutuhan investasi berdasarkan strategi dekarbonisasi



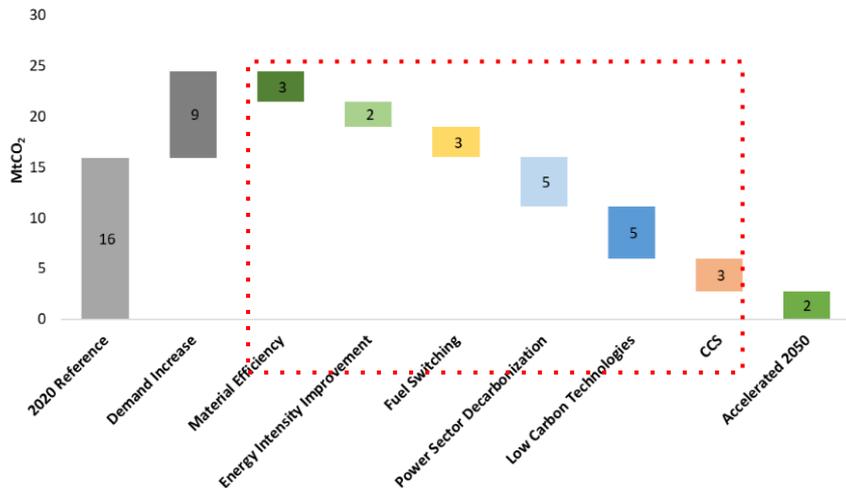
Sumber: Katadata

- Dibutuhkan total 260 miliar USD untuk mendekarbonisasi 9 subsektor industri sampai tahun 2050.
- Subsektor industri yang membutuhkan investasi paling besar adalah industri pupuk, dengan total kebutuhan mencapai 129 miliar USD.
- Strategi dekarbonisasi yang membutuhkan investasi paling besar adalah listrik rendah karbon dan elektrifikasi, mencapai 101 miliar USD. Kebutuhan listrik rendah karbon dan teknologi elektrifikasi paling besar adalah di industri pupuk

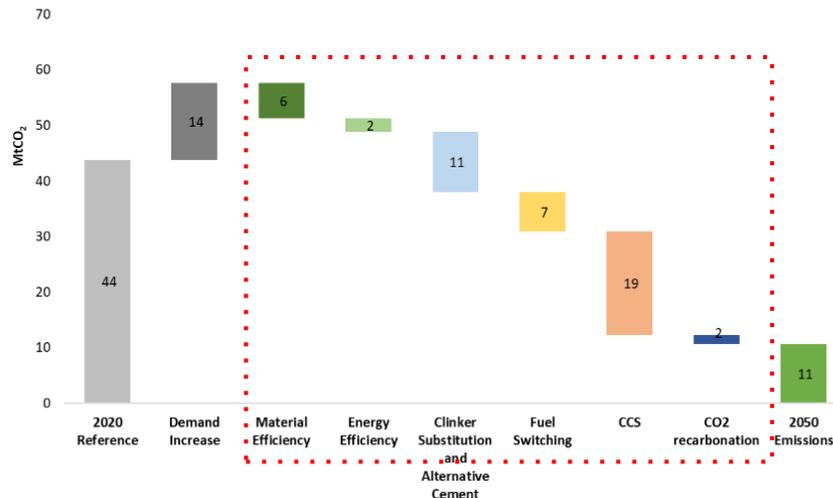


Enabler Dekarbonisasi Sektor Industri

CO₂ Emissions Impacts of Key Decarbonization Options under the Accelerated 2050 Scenario for the Iron and Steel Industry in Indonesia



CO₂ Emissions Impacts of Key Decarbonization Options under the Accelerated 2050 Scenario for the Cement Industry in Indonesia



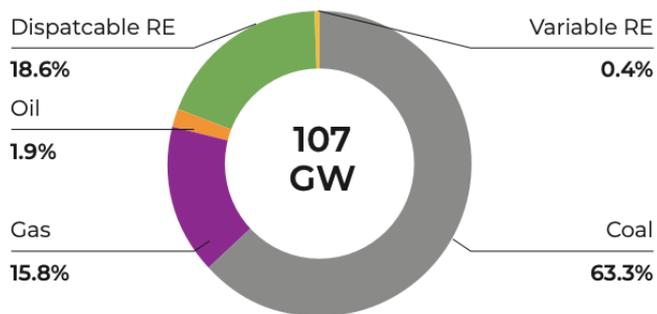
Transisi industri hijau ditopang oleh lima enabler utama:

1. Dekarbonisasi sektor ketenagalistrikan
2. Substitusi bahan bakar industri dan
3. Energi efisiensi
4. Efisiensi sumber daya
5. Penggunaan teknologi ramah lingkungan dan penangkapan karbon



Enabler Dekarbonisasi Sektor Industri

Dekarbonisasi Sektor Ketenagalistrikan



Bauran Energi Terbarukan Ketenagalistrikan 2023

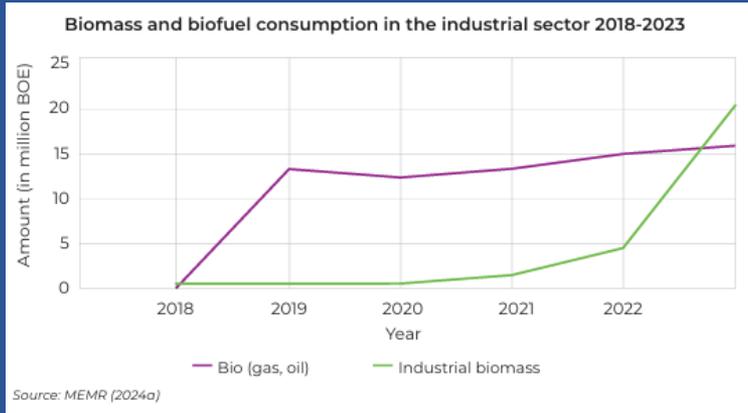
- Target RUPTL 2021–2030 (PLN): 51.6% dari penambahan kapasitas listrik berasal dari energi terbarukan (tenaga surya, air, bioenergi, angin)
 - terdapat 2.5 GW proyek pengembangan EBT terhenti di 2021-2023. Bottleneck: tahap eksplorasi yang mahal (panas bumi), proses PPA dan konstruksi yang lama (air), volume proyek EBT yang terlalu kecil (tidak bankable → bundle clustering)
- Pensiun dini PLTU diamanatkan melalui Perpres No. 112 tahun 2022,
 - Pembangunan PLTU baru dibolehkan hanya untuk proyek yang sudah sampai pada tahap lanjutan dan tidak boleh bertambah
 - Pensiun dini PLTU berumur tua di 2040

Terkini, pemerintah menerbitkan **RUPTL 2025–2034** dengan asumsi pertumbuhan ekonomi 5,2% dan proyeksi peningkatan permintaan listrik dari sektor industri dan rumah tangga. Dokumen ini menghadirkan dua skenario: **RE Base** (realistis) dan **ARED** (percepatan transisi energi), yang sama-sama menargetkan dominasi energi terbarukan, dengan ARED lebih ambisius dalam dekarbonisasi. RUPTL menunjukkan komitmen terhadap transisi energi dan ketahanan pasokan, namun pencapaian target energi terbarukan masih menghadapi tantangan pada aspek **biaya, tarif, dan pendanaan**.

Substitusi Bahan Bakar yang Ramah Lingkungan

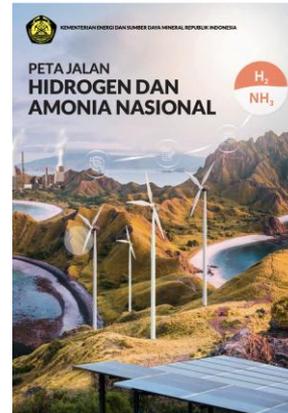


Bioenergi



- Menurut data HEESI 2024, jumlah biofuel yang dikonsumsi sektor industri adalah 6,9% tidak termasuk untuk transportasi dan logistik.
- **Tantangan dalam substitusi biomassa adalah jumlahnya yang tidak seimbang** antara kebutuhan industri dan suplai. Sebagai ilustrasi: 85 Mt/tahun batu bara setara dengan sekitar 500 Mt biomassa.

Hidrogen Hijau dan Amonia



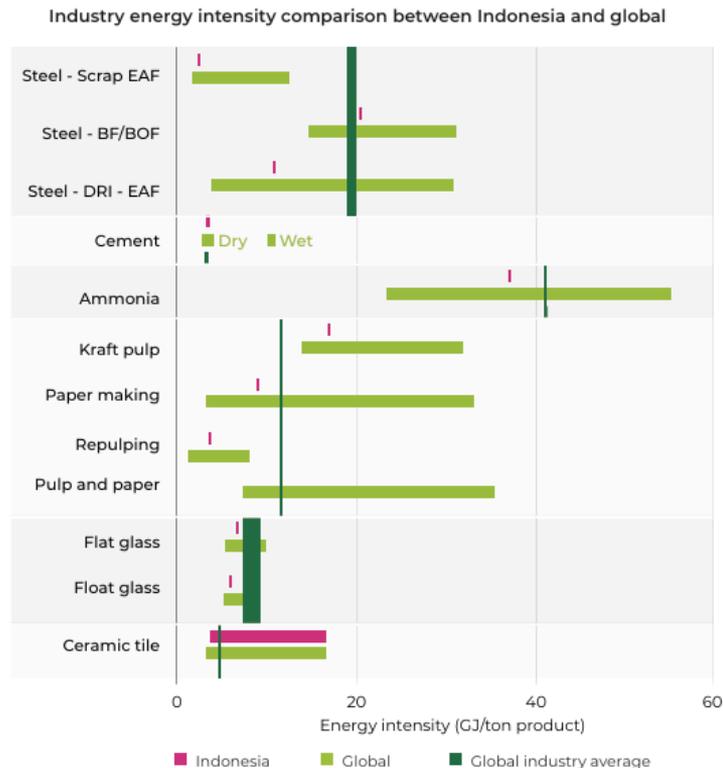
- Hidrogen masuk dalam rencana pengembangan EBT hingga tahun 2050, menurut Peraturan Presiden no 22 tahun 2017
- Teknologi ini dikategorisasikan menjadi bagian dari energi baru dan ketentuan mengenai insentif dan harga ditentukan di RUU EBT
- Pada peta jalan hydrogen dan ammonia, terpetakan permintaan hydrogen akan bertumbuh dari 883,8 ribu ton pada 2030 dan mencapai 11,8 juta ton pada 2060. Sementara permintaan ammonia diperkirakan sebesar 1,3 juta ton pada 2030 dan mencapai 9,6 juta ton pada 2060.

Enabler Dekarbonisasi Sektor Industri

Peningkatan Energi Efisiensi



- Menurut PP 33/2023, **industri diharapkan dapat menghemat 5,28 MTOE pada tahun 2030**. Perkembangannya hingga tahun 2023, hanya 217 dari 450 industri yang telah melaporkan upaya manajemen energinya
- Dari hasil analisis IESR, **beberapa industri di Indonesia telah memiliki intensitas energi yang cukup baik dibanding dengan rerata global**.
- Namun begitu, dalam mencapai emisi nol bersih upaya lebih ambisius dibutuhkan.**
- Menurut IEA, efisiensi energi dan intensitas energi harus meningkat dua kali lipat dalam dekade ini, dari 2% di tahun 2022 menjadi lebih dari 4% setiap tahunnya hingga 2030. Target ini lebih tinggi dari skenario NZE pemerintah (1,8% per tahun).



Source: IESR analysis. Full detail on Appendix F.

Enabler Dekarbonisasi Sektor Industri

Efisiensi Sumber Daya



Upaya Efisiensi Sumber Daya

- Efisiensi energi
- Efisiensi konsumsi air
- Efisiensi penggunaan bahan baku
- Pengelolaan limbah
 - Peraturan Menteri LHK Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3
 - Peraturan Menteri LHK Nomor 19 Tahun 2021 tentang Tata Cara Pengelolaan Limbah Non B3
- Ekonomi sirkular
 - merupakan salah satu indikator di RPJPN untuk menurunkan emisi GRK hingga >90% di 2045
 - Bappenas dengan inisiatif LCDInya menyusun peta jalan ekonomi sirkular
 - Kementerian Komunikasi dan Digital menginisiasi pembahasan terkait manajemen e-waste di Indonesia pada akhir 2024 lalu



Tujuan Utama Resource Efficiency:

- a. Mengurangi limbah dan emisi
- b. Menghemat biaya produksi
- c. Meningkatkan daya saing industri
- d. Mendukung transisi ke ekonomi hijau dan sirkular

Enabler Dekarbonisasi Sektor Industri

Penggunaan Teknologi Ramah Lingkungan dan Penangkapan karbon



Teknologi Ramah Lingkungan untuk Sektor Industri

- Dari hasil kajian IESR, terdapat lebih dari 80 teknologi yang memiliki tingkat kesiapan teknologi tinggi.
- Namun begitu, hanya 13 yang dianggap matang untuk bisa diimplementasikan di Indonesia secara sisi teknologi maupun finansial
- Diperlukan peran pemerintah, utamanya
 - Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi untuk bisa mempercepat pengembangan teknologi
 - Kementerian Keuangan untuk bisa mendorong regulasi untuk meningkatkan bauran portofolio pembiayaan ke teknologi hijau dan rendah karbon
 - Kementerian Ketenagakerjaan untuk bisa menambah skill pekerjaan hijau melalui pelatihan dan capacity building

Teknologi Penangkapan Karbon



Pemerintah Indonesia, melalui Perpres no 14 tahun 2024, telah melihat CCS/US sebagai salah satu teknologi *enabler* untuk dekarbonisasi sektor industri dan energi.

Teknologi Rendah Karbon (*Low Carbon Technology*)



| No. | Sub-sektor | Proses dan Teknologi Strategis | | |
|-----|---------------------|--|---|--|
| | | Proses Terbesar | Strategi Dekarbonisasi | Teknologi Krusial |
| 1 | Semen | Clinker calcination dan cement mill | <ul style="list-style-type: none"> •Pengurangan clinker ratio •Penggunaan bahan bakar alternatif (biomassa, gas bumi, hidrogen) •Penggunaan renewable energy | <ul style="list-style-type: none"> •Pengurangan rasio clinker terhadap semen •Penggantian material clinker •Biomassa untuk rotary kiln •Solar PV dan REC |
| 2 | Pupuk | Steam methane reforming | <ul style="list-style-type: none"> •Fuel change dan process improvement (integrasi dan control) •Retrofit turbin gas dan steam •Peningkatan efisiensi energi dan energy recovery | <ul style="list-style-type: none"> •Sintesis ammonia berbasis hidrogen •CCS dan gasifikasi biomassa •Heat pump, heat exchanger •Teknologi retrofit |
| 3 | Besi dan Baja | Primary steel making | <ul style="list-style-type: none"> •Process improvement yang melibatkan perubahan bahan baku dan daur ulang slab •Elektrifikasi dan penggunaan renewable energy •Peningkatan efisiensi energi | <ul style="list-style-type: none"> •Direct Reduced Iron Furnace •Electric blast furnace dan Electrowinning •Solar PV dan REC |
| 4 | Pulp dan Kertas | Steam untuk pulping dan paper making | <ul style="list-style-type: none"> •Elektrifikasi peralatan termal •Penggunaan bahan bakar alternatif (biomassa, gas bumi, hidrogen) •Peningkatan efisiensi energi dan energy recovery | <ul style="list-style-type: none"> •Electric boiler/biomass boiler •Heat pump, heat exchanger •Pyrolysis process for oil recovery |
| 5 | Kimia | Steam reforming/cracking, MTO, dan gasification | <ul style="list-style-type: none"> •Peningkatan efisiensi energi dan energy recovery •Fuel change dan process improvement | <ul style="list-style-type: none"> •High-efficiency manufacturing technology •Heat pump, heat exchanger •Sintesis metanol berbasis hidrogen •Gasifikasi biomassa |
| 6 | Makanan dan Minuman | Steam & food processing: heating, drying, cooling, mixing, dan cold storage | <ul style="list-style-type: none"> •Elektrifikasi dan penggunaan listrik hijau •Peningkatan efisiensi energi dan energy recovery | <ul style="list-style-type: none"> •Electric boiler/biomass boiler •Solar PV dan REC •High efficiency chiller |
| 7 | Tekstil | Fabric processing: texturizing, dyeing, drying, finishing for fabric production. | <ul style="list-style-type: none"> •Elektrifikasi dan penggunaan listrik hijau •Penggunaan bahan bakar alternatif (biomassa, gas bumi, hidrogen) •Peningkatan efisiensi energi pada alat-alat produksi | <ul style="list-style-type: none"> •Electric boiler/biomass boiler •Electrochemical dyeing •Solar PV dan REC •High-efficiency manufacturing technology |
| 8 | Otomotif | Manufacturing dan assembly | <ul style="list-style-type: none"> •Peningkatan efisiensi energi dan energy recovery •Elektrifikasi dan penggunaan listrik hijau | <ul style="list-style-type: none"> •High-efficiency technology (assembly line) •Heat exchanger •Solar PV dan REC |
| 9 | Kaca dan Keramik | Melting process, coloring dan drying | <ul style="list-style-type: none"> •Peningkatan efisiensi energi dan energy recovery •Elektrifikasi dan penggunaan renewable energy •Process improvement untuk pewarnaan dan raw material | <ul style="list-style-type: none"> •Electric furnace •Heat pump, heat recovery •Pendesainan kiln dan dryer •High-efficiency manufacturing technology |

Sektor Industri yang Paling Siap Menggunakan Hidrogen Hijau



Beberapa sektor industri di Indonesia telah menunjukkan kesiapan teknis dan ekonomi untuk mulai mengadopsi hidrogen hijau. Kesiapan ini dilihat dari **kebutuhan aktual terhadap hidrogen**, potensi substitusi bahan bakar fosil, serta dukungan infrastruktur dan kebijakan. Berikut sektor-sektor prioritas yang dinilai paling siap:

◆ Amonia dan Pupuk

- Menggunakan hidrogen sebagai bahan baku utama melalui reformasi gas alam.
- Proses produksi relatif mudah disubstitusi ke hidrogen hijau.
- Klaster industri pupuk besar sudah ada (Pusri, PIM, Petrokimia Gresik).

◆ Industri Besi dan Baja (DRI–EAF)

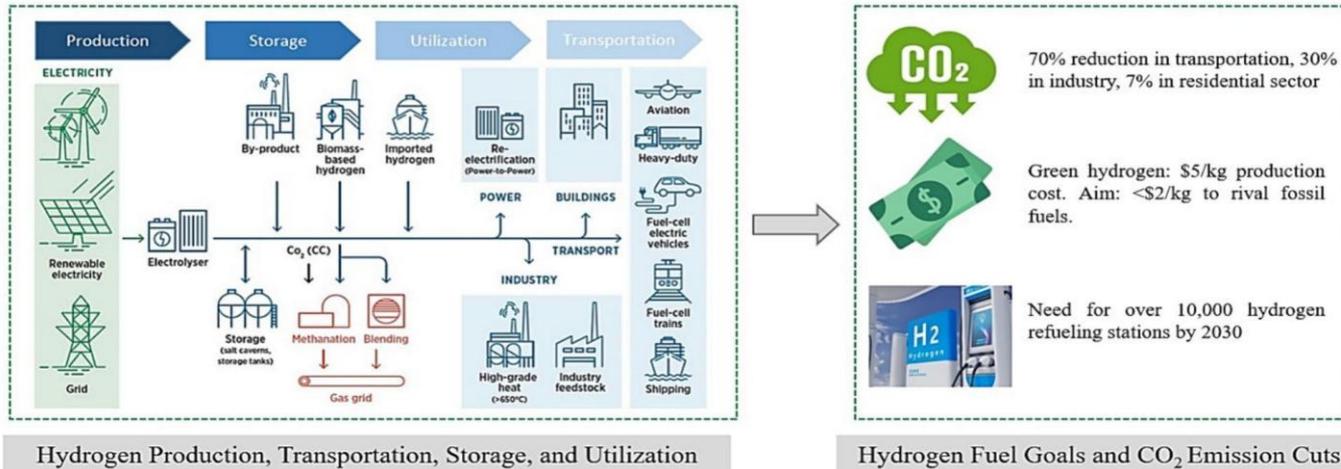
- Hidrogen dapat menggantikan batu bara sebagai agen reduksi dalam DRI.
- Membutuhkan listrik energi terbarukan yang besar dan infrastruktur tambahan.
- Cocok untuk fase adopsi menengah (2030 ke atas).

◆ Kimia dan Metanol

- Membutuhkan hidrogen sebagai feedstock untuk berbagai produk turunan.
- Potensi besar untuk biofuel, bahan bakar sintetis, dan bahan kimia hijau.

Tantangan Hidrogen Hijau dalam Sektor Ekonomi dan Industri

Hydrogen Energy Systems: Technologies, Trends, and Future Prospects



Hydrogen Production, Transportation, Storage, and Utilization

Hydrogen Fuel Goals and CO₂ Emission Cuts

- Hidrogen hijau memiliki potensi besar sebagai solusi dekarbonisasi industri dan energi, namun pengembangannya masih menghadapi berbagai tantangan. Biaya produksinya yang tinggi akibat mahalnya listrik terbarukan dan teknologi elektroliser, ditambah minimnya infrastruktur penyimpanan dan distribusi, membuatnya belum kompetitif dibanding hidrogen fosil.
- Di sisi lain, permintaan masih rendah karena **belum adanya insentif yang kuat atau kepastian pasar**, sementara kebijakan **harga karbon dan standar sertifikasi juga masih berkembang**. Tanpa dukungan regulasi yang jelas dan mekanisme pembiayaan seperti **Contracts for Difference (CCfD)**, sulit bagi produsen untuk mengambil keputusan investasi.
- Dalam situasi ini, diperlukan upaya terpadu dari pemerintah, industri, dan investor untuk menciptakan ekosistem hidrogen hijau yang berkelanjutan dan kompetitif.

Sumber:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173622>

Menjembatani Gap Biaya Hidrogen Hijau melalui Kebijakan Nilai Ekonomi Karbon

Meskipun hidrogen hijau menawarkan solusi dekarbonisasi jangka panjang, saat ini biaya produksinya masih jauh lebih tinggi dibandingkan hidrogen fosil (H_2 abu-abu). Oleh karena itu, dibutuhkan intervensi kebijakan berbasis Nilai Ekonomi Karbon (NEK) untuk menutupi gap biaya tersebut dan menciptakan insentif ekonomi bagi pelaku industri. Beberapa mekanisme NEK yang dapat menjembatani cost gap hidrogen hijau antara lain:

◆ Harga Karbon yang Kredibel & Eskalatif

- Penetapan harga karbon minimum (floor price) yang meningkat secara bertahap akan memberikan sinyal jangka panjang bagi investor.
- Harga karbon ideal berkisar antara **USD 50–100/tCO₂e** agar hidrogen hijau kompetitif di sektor tertentu.

◆ Contracts for Difference (CCfD)

- Pemerintah menjamin selisih harga antara biaya produksi H_2 hijau dan harga referensi H_2 fosil.
- Memberikan kepastian pendapatan dan meningkatkan bankabilitas proyek.

◆ Penggunaan Penerimaan Karbon untuk Subsidi

- Pajak karbon dan hasil lelang ETS dapat digunakan untuk:
 - Bantuan OPEX (misalnya subsidi listrik RE untuk elektroliser)
 - Hibah CAPEX untuk pembangunan infrastruktur hidrogen
 - Pembebasan biaya akses jaringan atau pajak impor peralatan

◆ Mandat Permintaan & Standar Produk

- Penetapan quota blending H₂ hijau untuk amonia, bahan bakar industri, atau baja.
- Sertifikasi produk rendah karbon dapat meningkatkan nilai jual dan daya saing produk dalam negeri (misalnya menghadapi CBAM Uni Eropa).

◆ Penjaminan dan Pengurangan Risiko

- Fasilitas pembiayaan hijau, penjaminan risiko pasar dan teknologi, serta kontrak offtake jangka panjang akan memperkecil risiko investasi.

Dengan kombinasi instrumen ini, kebijakan NEK dapat menjadi fondasi yang kuat untuk mempercepat adopsi hidrogen hijau, sekaligus menjaga daya saing industri dalam proses transisi energi yang adil dan terencana.

Rekomendasi untuk Percepatan Pengembangan H₂ Hijau dengan NEK



- **Kebijakan dan Insentif Fiskal yang Mendukung:**
 - **Subsidi dan Dukungan Anggaran:** Berikan dukungan finansial langsung, seperti subsidi dan anggaran khusus, untuk mempercepat pengembangan produksi hidrogen hijau, misalnya seperti yang dilakukan India dengan Misi Hidrogen Hijau-nya.
 - **Tarif Karbon:** Implementasikan tarif karbon atau mekanisme harga karbon yang mencerminkan biaya sebenarnya dari emisi, sehingga mendorong adopsi hidrogen hijau dibandingkan hidrogen fosil.
- **Pengembangan Infrastruktur Terintegrasi:**
 - **Investasi Infrastruktur Transportasi:** Bangun jaringan pipa dan infrastruktur transportasi lainnya untuk mengangkut hidrogen hijau secara efisien dari titik produksi ke titik konsumsi.
 - **Pabrik Produksi yang Disesuaikan:** Dukung pembangunan pabrik produksi hidrogen hijau yang berlokasi strategis untuk memenuhi permintaan di sektor industri dan transportasi.
- **Standar dan Sertifikasi yang Jelas:**
 - **Standardisasi Hidrogen Hijau:** Tetapkan standar dan sertifikasi yang jelas untuk "hidrogen hijau" agar pasar dapat yakin akan asal-usul dan keberlanjutan produk.
 - **Mekanisme Monitoring dan Tracing:** Kembangkan sistem pelacakan untuk memastikan jejak karbon rendah hidrogen hijau terjaga sepanjang rantai pasok.

Rekomendasi untuk Percepatan Pengembangan H₂ Hijau dengan NEK



- **Inovasi Teknologi dan Riset:**
 - **Penurunan Biaya Produksi:** Dorong riset dan inovasi teknologi yang bertujuan menurunkan biaya produksi hidrogen hijau, sehingga menjadi lebih kompetitif dengan hidrogen fosil.
 - **Penelitian Aplikasi Baru:** Fokuskan riset pada aplikasi hidrogen hijau di berbagai sektor, terutama di sektor industri berat dan transportasi seperti pelayaran dan penerbangan.
- **Pembangunan Pasar Melalui Permintaan:**
 - **Permintaan Sektor Kunci:** Ciptakan dan dukung permintaan yang kuat dari sektor-sektor seperti industri (pupuk, baja), transportasi berat, dan sektor energi.
 - **Peran dalam Dekarbonisasi:** Tekankan peran strategis hidrogen hijau sebagai komponen kunci dalam strategi dekarbonisasi nasional, mendorong kolaborasi antara pemerintah dan industri.
- **Pengembangan Ekosistem dan Pilot Project**
 - Mendorong pembangunan ekosistem hidrogen hijau secara menyeluruh dengan melibatkan berbagai pemangku kepentingan.
 - Melaksanakan proyek percontohan (pilot project) di berbagai sektor pengguna untuk membuktikan kelayakan dan manfaat hidrogen hijau.

Studi Kasus: Dekarbonisasi Industri Baja

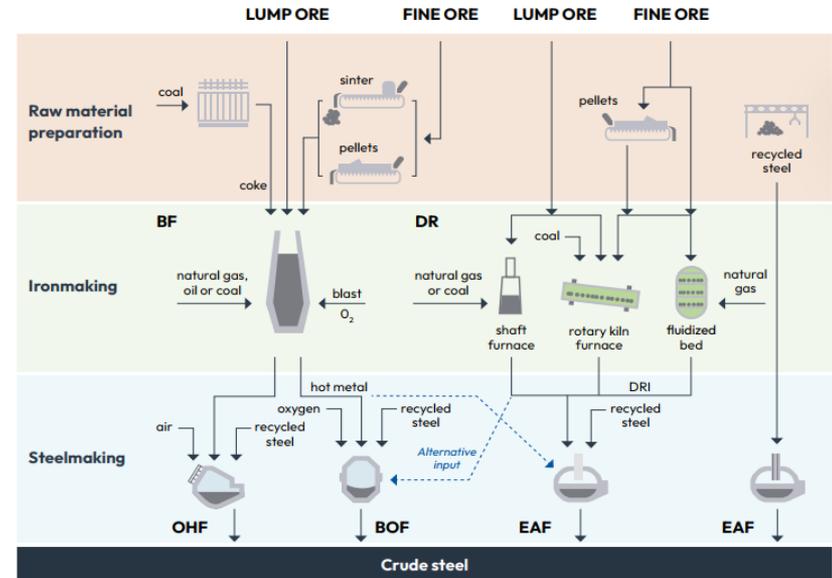


Pilihan Kebijakan dan Teknologi yang mendukung Dekarbonisasi

| Country | Public Procurement Target (2030–2050) | Low-Emission Routes Eligible | Carbon Pricing |
|---------------|---|---|---|
| China | 10% of total public sector steel demand | Shared between H ₂ -DRI-EAF and BF-BOF (CCS) | <ul style="list-style-type: none"> • 2025: \$15/tCO₂ US\$ • 2060: \$218/tCO₂ US\$ |
| India | 10% of total public sector steel demand | Shared between H ₂ -DRI-EAF and BF-BOF (CCS) | <ul style="list-style-type: none"> • 2025: \$/tCO₂ US\$ • 2070: \$287/tCO₂ US\$ |
| United States | 10% of total public sector steel demand | Shared between H ₂ -DRI-EAF, BF-BOF (BB) (biomass-based), and BF-BOF (CCS) | <ul style="list-style-type: none"> • 2025: \$0/tCO₂ US\$ • 2060: \$200/tCO₂ US\$ |
| Japan | 10% of total public sector steel demand | Shared between H ₂ -DRI-EAF and BF-BOF (CCS) | <ul style="list-style-type: none"> • 2025: \$63/tCO₂ US\$ • 2060: \$218/tCO₂ US\$ |

Sumber: (Tabel kiri) Towards near-zeroemissions steel: modelling-based policy insights for major producers, EEIST 2025 (Gambar kanan) "Decarbonizing the Iron and Steel Industry: A Systematic Review of Sociotechnical Systems, Technological Innovations, and Policy Options." Energy Research & Social Science 89 (July): 102565. doi:10.1016/j.erss.2022.102565

Proses *ironmaking* dan *steelmaking* dalam industri besi baja



Beberapa negara telah mengadopsi strategi dekarbonisasi di sektor baja melalui kombinasi kebijakan publik dan pemilihan jalur teknologi rendah emisi. Sebagai contoh, **China, India, Amerika Serikat, dan Jepang** menargetkan minimal **10% permintaan baja dari sektor publik** dipenuhi oleh produksi baja rendah emisi pada 2030–2050.

Setiap negara juga mengintegrasikan **mekanisme harga karbon**, dengan tarif bervariasi mulai dari **\$0 pada 2025 hingga \$287 per ton CO₂ pada 2050**, untuk mendorong adopsi teknologi bersih.



Key Take Aways

- ❖ Hidrogen hijau adalah kunci dekarbonisasi sektor industri berat yang sulit dielektifikasi, seperti amonia, kilang, dan baja.
- ❖ Biaya produksi yang masih tinggi menjadi hambatan utama, namun dapat diatasi dengan intervensi kebijakan ekonomi karbon yang tepat.
- ❖ Nilai Ekonomi Karbon (NEK), seperti pajak karbon, ETS, dan CCfD berperan penting menjembatani kesenjangan biaya dan mendorong adopsi teknologi.
- ❖ Sektor amonia, kilang, dan besi-baja adalah titik awal yang paling siap membentuk pasar domestik hidrogen hijau di Indonesia.
- ❖ Kombinasi regulasi yang progresif, insentif yang adil, dan sinyal harga yang kuat akan mempercepat transisi industri menuju ekonomi rendah karbon berbasis hidrogen hijau.

Thank You

**Accelerating Low Carbon
Energy Transition**

 www.iesr.or.id

 [iesr.id](https://www.facebook.com/iesr.id)

 [iesr.id](https://www.instagram.com/iesr.id)

 [IESR](https://twitter.com/IESR)

 [iesr](https://www.linkedin.com/company/iesr)