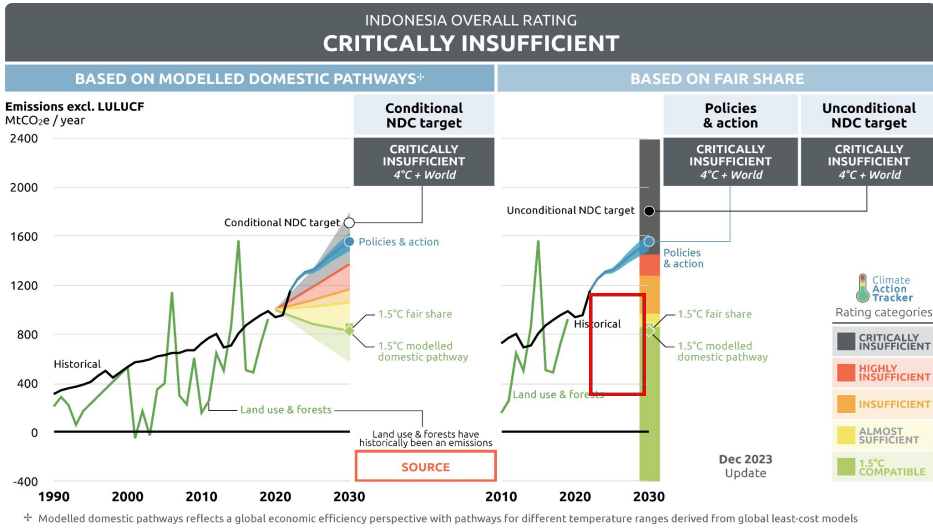




Hidrogen Hijau: Sebuah Pilar untuk Mencapai Net-Zero di Masa Depan

Fabby Tumiwa
Direktur Eksekutif IESR
24 Maret 2025

Climate Action Tracker (2024) menilai aksi iklim Indonesia sebagai “sangat tidak cukup”



Tinjauan NDC Indonesia

Absolute GHG Emission Levels in Year (MtCO ₂ e)		NDC update (2021)	ENDC (2022)	SNDC (draft)		
				CPOS	LCCP_L	LCCP_H
2030	CM1	2,034	1,953	1,781.323 +56.6% above 2019 level		
	CM2	1,787	1,632	1,344.756 +18.2% above 2019 level	1,468.362 +29% above 2019 level	
2035	CM1	N/A	N/A	1,795.133 +57.8% above 2019 level		
	CM2	N/A	N/A	1,265.853 +11.3% above 2019 level	1,399.570 +23.05% above 2019 level	

Target ENDC:

Unconditional
32% below BAU

Conditional
43% below BAU

Target ENDC sudah berada di atas proyeksi kebijakan terkini

Estimasi CAT menunjukkan bahwa Indonesia sangat mungkin mencapai target (di luar sektor kehutanan), walaupun dengan emisi dua kali lipat dari saat ini.

Unconditional Reduction Pathway
→ Tingkat emisi tetap pada tren meningkat (upward trend)

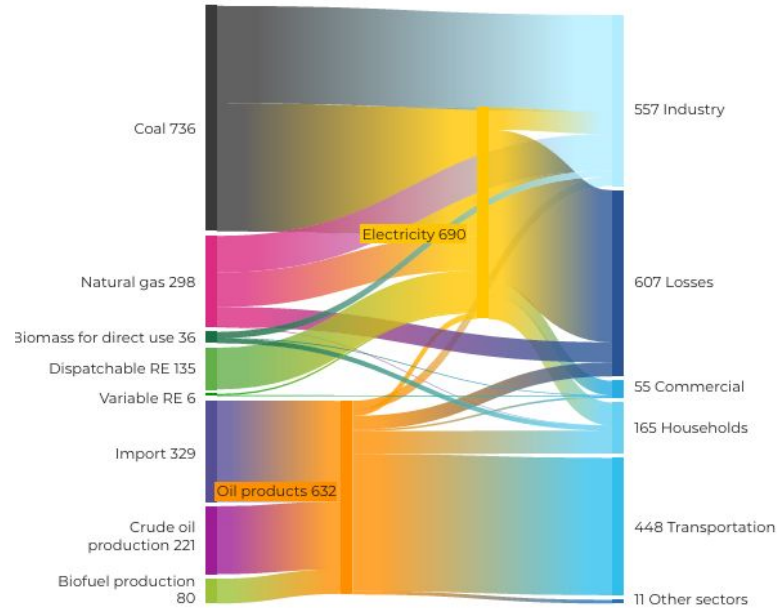
Conditional Reduction Pathway
→ Penurunan signifikan setelah 2035

- Notes:**
- **Ref year 2019 = 1,137.38 MtCO₂e**
 - **CM1:** Counter Measure 1 (unconditional mitigation scenario)
 - **CM2:** Counter Measure 2 (conditional mitigation scenario)
 - **CPOS:** Current Policy Scenario (without additional measures to achieve NZE)
 - **LCCP_L:** Low Carbon Compatible with Paris Agreement and low economic growth scenario (with additional measures to achieve NZE)
 - **LCCP_H:** Low Carbon Compatible with Paris Agreement and high economic growth scenario (with additional measures to achieve NZE)

Ketahanan Energi & Tantangan Dekarbonisasi



Pasokan energi primer, transformasi, dan permintaan energi final domestik di Indonesia pada 2023 (juta BOE)



Sumber: KESDM (2024) dalam IETO (2024)

Progres sektoral menuju Kepatuhan terhadap Kebijakan Energi Nasional

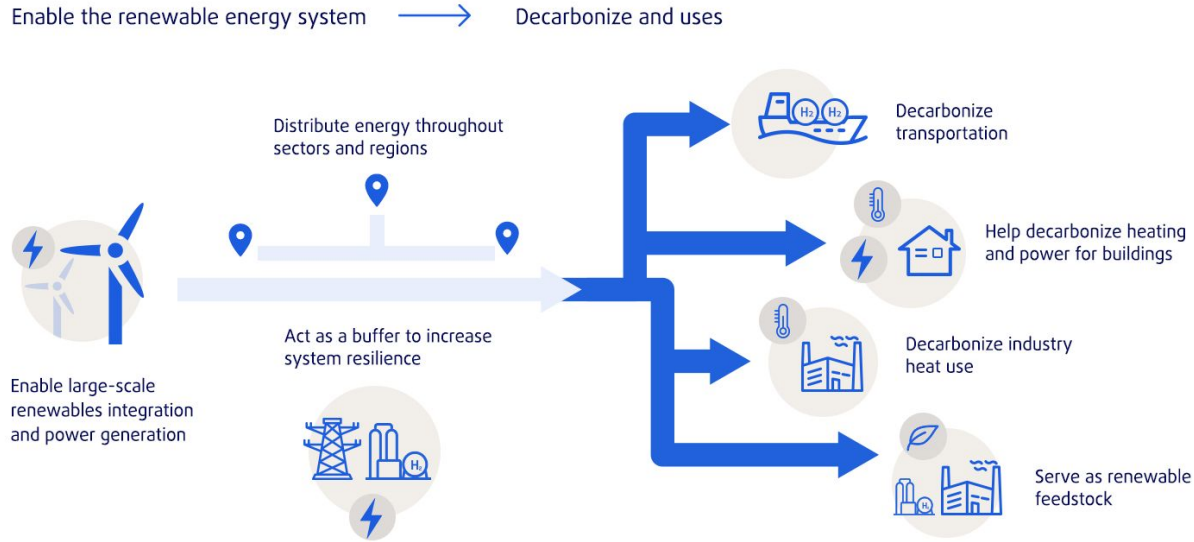
23% porsi energi terbarukan dalam pasokan primer

Sektor	Aspek	Proyeksi 2025	Realisasi 2023
Ketenagalistrikan	%porsi ET	31.8%	18.9%
	%ET Langsung	12.8%	13.5%
Transportasi	%Elektrifikasi	0.3%	0.1%
	%ET Langsung	11.4%	4.5%
Industri	%Elektrifikasi	24.1%	12.7%
	%ET Langsung	1.9%	1.6%
Komersial dan Rumah Tangga	%Elektrifikasi	73.3%	59.8%

Sumber: Analisis IESR berdasarkan Perpres 22/2017 dan KESDM (2024).

- **Pasokan energi primer Indonesia** masih didominasi **90%** sumber energi fosil . Di sektor pembangkitan tenaga listrik, batu bara berkontribusi hingga **57%**.
- Sektor **industri** dan **transportasi** menjadi konsumen utama bahan bakar fosil.
- Pemanfaatan **energi terbarukan (ET)** pada 2023 sebesar **13,1%** dan **15%** pada 2024, masih cukup jauh di bawah target RUEN, yakni **23%** pada 2025.
- Pemanfaatan **hidrogen hijau** dapat mengisi *gap* pencapaian target ET dan penurunan emisi untuk **hard-to-abate sectors**.

Peran Hidrogen dalam Transisi Energi












Sumber: Hydrogen Council

Potensi Hidrogen Hijau Dalam Transisi Energi:

- Hidrogen menyediakan **energi dan bahan baku tanpa emisi** untuk sektor-sektor yang sulit atau tidak efisien dialiri listrik.
- Hidrogen dapat berperan sebagai pembawa energi yang mampu **menyimpan dan mendistribusikan kelebihan listrik dari energi terbarukan**, sehingga mendukung integrasi skala besar dan fleksibilitas sistem energi terbarukan.
- Sebagai pembawa energi yang fleksibel, hidrogen memungkinkan **distribusi energi bersih lintas wilayah dan negara**.



Hydrogen dalam Upaya Dekarbonisasi Sektor *End-User*

	RENEWABLES 	DIRECT ELECTRIFICATION 	ENERGY EFFICIENCY 	GREEN HYDROGEN 
HEATING 	<ul style="list-style-type: none">• Solar water heaters, direct geothermal use, biomass (low-grade heating)	<ul style="list-style-type: none">• Heat pumps	<ul style="list-style-type: none">• Retrofit of buildings• Technological advancement	<ul style="list-style-type: none">• High-grade heating
INDUSTRY 	<ul style="list-style-type: none">• Solar drying, biomass (productive uses)	<ul style="list-style-type: none">• Electric industrial application (e.g. arc furnaces)	<ul style="list-style-type: none">• Use of best available technologies	<ul style="list-style-type: none">• Steelmaking refineries• Chemical industry
LAND TRANSPORT 	<ul style="list-style-type: none">• Biofuels	<ul style="list-style-type: none">• Battery electric vehicles	<ul style="list-style-type: none">• Performance standards• Travel avoidance• Engine design	<ul style="list-style-type: none">• FCEVs
SHIPPING 	<ul style="list-style-type: none">• Biofuels• Wind energy	<ul style="list-style-type: none">• Short-distance shipping	<ul style="list-style-type: none">• Ship design• Operation optimisation• Travel avoidance	<ul style="list-style-type: none">• Green ammonia• Methanol
AVIATION 	<ul style="list-style-type: none">• Biojet fuels	<ul style="list-style-type: none">• Short-distance aviation	<ul style="list-style-type: none">• Plane design• Travel avoidance	<ul style="list-style-type: none">• Hydrogen and synthetic fuels for aviation

Sumber: IRENA, 2020

Hidrogen Hijau: Jalur Produksi Hidrogen yang Paling Bersih



Terminology	Technology	Feedstock / Electricity Source	Lifecycle GHG intensity (kgCO ₂ e/kgH ₂)	Cost 2023 (USD/kgH ₂)	Current Share
Green Hydrogen	Electrolysis	Renewables	0-6,77	\$3,8-\$12	<5%
Pink Hydrogen	Electrolysis	Nuclear	0-6,77	\$3,79-\$7,37*	
Yellow Hydrogen	Electrolysis	Electricity Grid	21-29**	\$6,1-\$8,81	
Blue Hydrogen	Natural gas reforming + CCUS / Gasification + CCUS	Natural gas, Coal	1,9-9***	\$1,8-\$4,7	
Grey Hydrogen	Natural gas reforming	Natural gas	9-19	\$0,98-\$2,93	>95%
Brown Hydrogen	Gasification	Brown coal (lignite)	23-36	\$1,2-\$2	
Black Hydrogen	Gasification	Black coal	23-36	\$1,2-\$2	

*Biaya hidrogen pink tanpa subsidi di AS dan Inggris

**Sangat bergantung pada lokasi dan tingkat bauran listrik

***CCUS dengan tingkat penangkapan emisi lebih dari 85%

Sumber: Analisa IESR dari [IEA, 2024](#); [Arcos et al., 2023](#); [BNEF, 2023](#); [Lazard, 2023](#); [P. Busch et al., 2023](#); [BCG, 2021](#); [GEI, 2021](#)

Teknologi Produksi Hidrogen Hijau



Perbandingan Karakteristik Operasional Berbagai Jenis Elektroliser

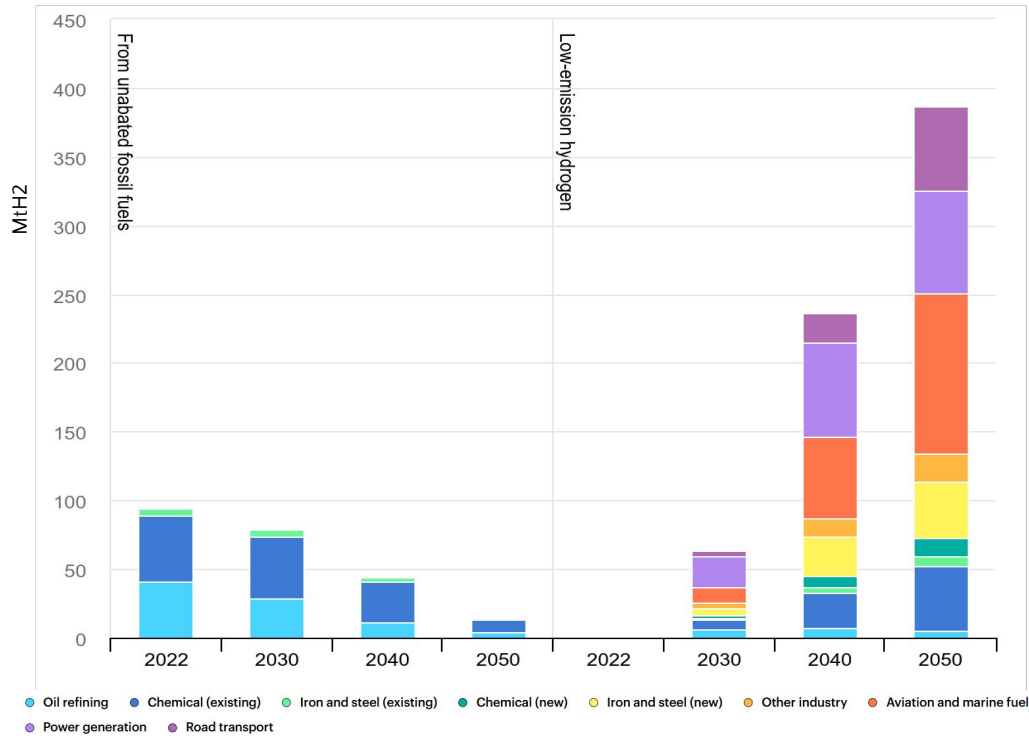
Technology / Description	Alkaline	PEM	SOEC
Development Stage	>1 GW deployed	>100 MW deployed	>1 GW deployed (fuel cell) <10 MW deployed (electrolyser)
TRL	9	9	8
Electrolyte	Liquid: 25 – 40% KOH	Solid: proton exchange membrane (Nafion)	Solid: ceramic – zirconia or ceria based
Operating Temperature (°C)	70 – 90	50 – 80	500 – 1000
Operating Pressure (bar)	Up to 30 bar	Up to 80 bar	0 – 2 bar
Current Density (A/cm²)	0.2-1.0	0.6-2.0	0.3-2.0
System Efficiency, HHV	59-84%	62-82%	~90%
System Energy Consumption (kWh/kg H₂)	50 – 78	50 – 83	38 (with steam import) 48 (without steam import)
Stack Cost (2020 \$/kW)	270 – 450	400 – 870	250 – 2,000
Electrolyzer System Cost with BoP (2020 \$/kW)	800 – 1,500	1,400 – 2,100	917 – 4,000
Stack Lifetime (Full Load Hours)	60,000 – 100,000	50,000 – 90,000	20,000 – 50,000
Manufacturer	Hydrogenics McPhy Sunfire NEL Thyssenkrupp Tianjin Hydrogen E. Teledyne, etc.	AirLiquide SiemensEnergy ITM Power NEL Teledyne PlugPower Elogen, etc.	Bloomenergy Ceres Elcogen Fuelcell Energy Sunfire topsoe

Sumber: [Clean Air Task Force, 2023](#); [IEA, 2023](#); [Nasser, M., et al., 2022](#); [S. Hu et al., 2022](#); [Yodwong, B., et al., 2020](#); [CIGeneraiGUNE, n.p.](#)

Pasar Hidrogen Hijau Global

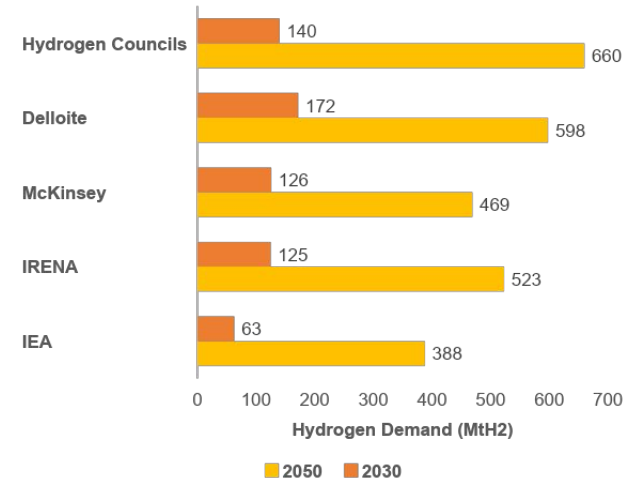


Proyeksi Permintaan Hidrogen per Sektor Pemanfaatan



Sumber: [IEA, 2023](#)

Proyeksi Permintaan Hidrogen Bersih Global

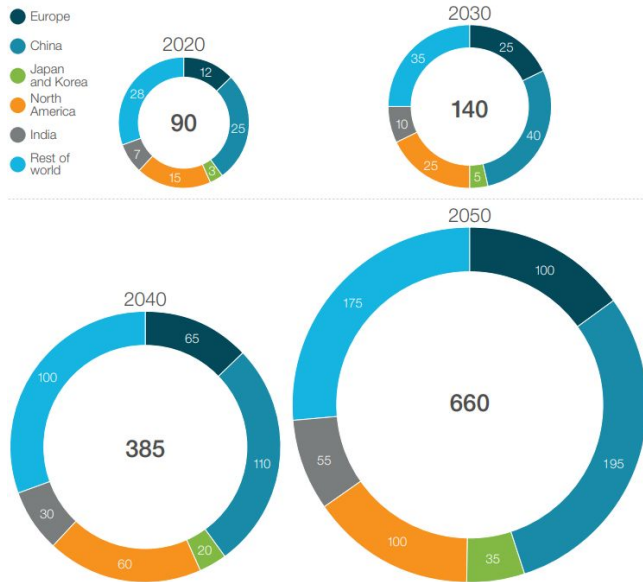


- Penggunaan hidrogen dari bahan bakar fosil tanpa CCUS terus menurun, dan **pada tahun 2050, hidrogen berbasis fosil hampir sepenuhnya dihilangkan.**
- **Sektor industri (kimia, baja, dan industri lainnya) tetap menjadi pengguna utama hidrogen,** namun dengan campuran hidrogen yang lebih bersih.
- Proyeksi menunjukkan bahwa pada tahun 2050, permintaan hidrogen berasal dari sektor yang lebih beragam, termasuk **teknologi baru di industri baja, bahan bakar penerbangan dan laut, pembangkitan listrik, serta transportasi darat.**

Sumber: Deloitte, 2024; IEA, 2023; Hydrogen Councils, 2022; McKinsey, 2024

Pasar Hidrogen Hijau Global

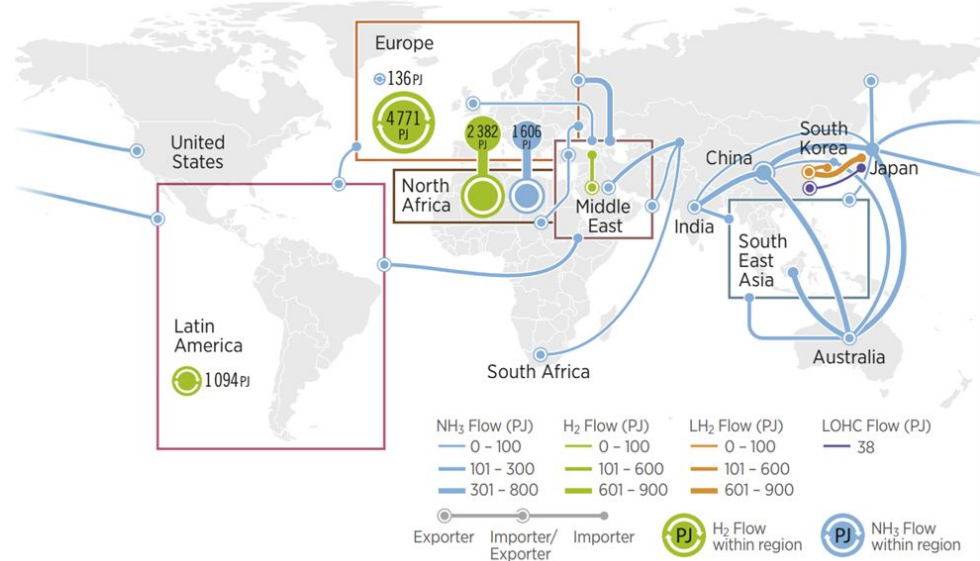
Permintaan Hidrogen Regional menurut Hydrogen Council



Sumber: [Hydrogen Council, 2022](#)

- **China diproyeksikan menjadi pengguna hidrogen terbesar**, dan permintaan hidrogen bersih pada wilayah lainnya akan terus berkembang
- **Diversifikasi kawasan meningkat**, menandakan bahwa hidrogen bersih akan menjadi komoditas global lintas wilayah.

Aliran Perdagangan Hidrogen Global pada Tahun 2050



Sumber: [IRENA, 2025](#)

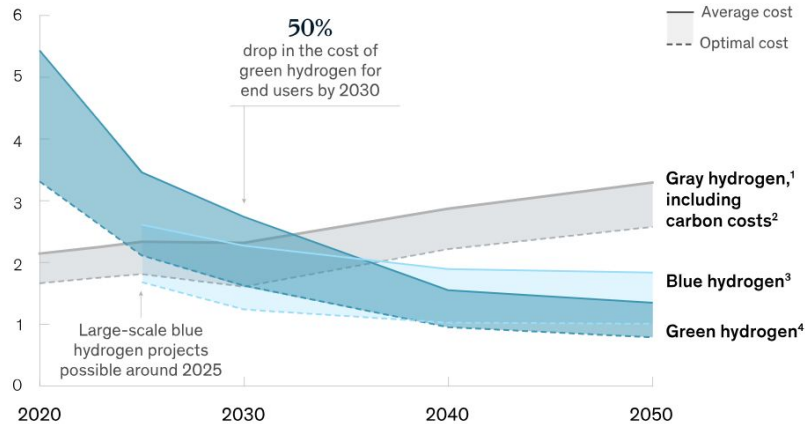
- Pada tahun 2050, **sepertiga dari permintaan hidrogen global (~150 Mt/tahun) diperkirakan berasal dari perdagangan internasional**, sementara dua pertiga sisanya diproduksi dan digunakan secara domestik.
- **Pasar ekspor**: pasar hidrogen di Asia Tenggara diperkirakan akan mencapai **US\$51 miliar pada 2030, US\$79 miliar pada 2040 dan US\$ 141 miliar pada 2050** (Deloitte, 2023)

Faktor Penurunan Biaya Hidrogen Hijau dan Perkiraan Biaya Produksi (LCOH)

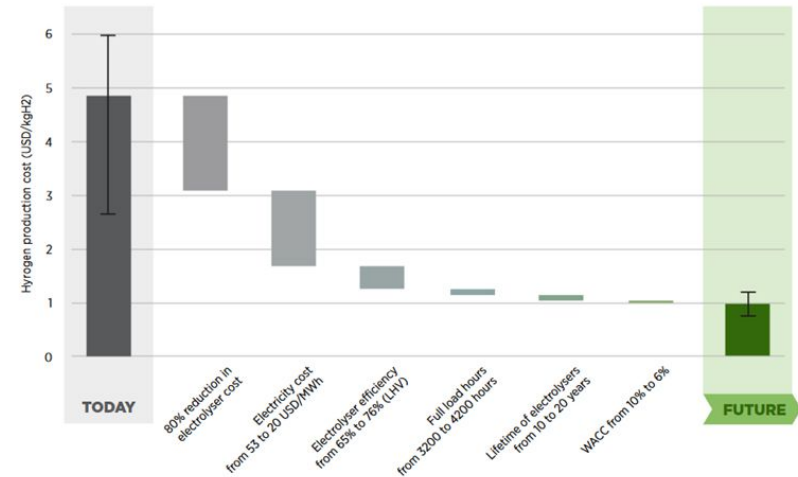


Potensi penurunan biaya produksi hidrogen hijau

Projected global production cost of hydrogen, \$/kilogram



Usaha penurunan biaya produksi hidrogen hijau



Source: [IRENA, 2022](#)

- **Learning rates** untuk fuel cell dan electrolyzer diperkirakan antara **16–21%**, ini lebih rendah dibandingkan tingkat pembelajaran PV sebesar 36% dalam 10 tahun terakhir.
- Dengan tingkat tersebut dan jalur adopsi sesuai target iklim 1,5°C, **biaya elektroliser bisa turun lebih dari 40% pada 2030.**

Kebijakan dalam Pengembangan Ekosistem Hidrogen Hijau



Hambatan Utama

ESDM (2025) menyampaikan tantangan dalam pengembangan hidrogen hijau di Indonesia.

1. **Belum Ada Regulasi Khusus untuk Pengembangan Hidrogen Hijau di Indonesia**
2. **Biaya Produksi Hidrogen Hijau Masih Belum Kompetitif**
3. **Pasokan Hidrogen Masih Didominasi Energi Fosil**
4. **Belum Tersedia Infrastruktur Khusus untuk Hidrogen**

Kebijakan dan hambatan utama dalam pengembangan ekosistem hidrogen hijau di berbagai sektor

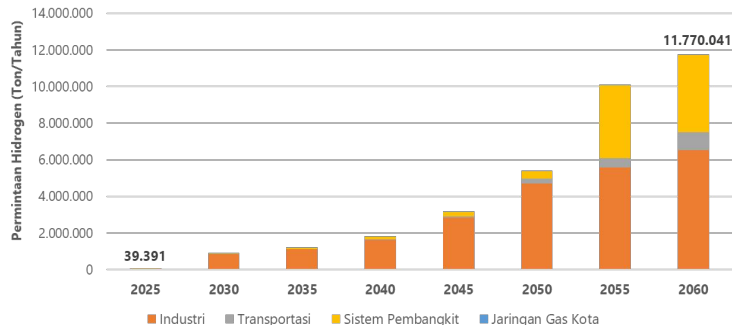
	ELECTROLYSIS	INFRASTRUCTURE	INDUSTRY	AVIATION	SHIPPING
BARRIERS	<ul style="list-style-type: none">- Capital cost- Electricity cost- Lack of hydrogen market- Barriers to power market	<ul style="list-style-type: none">- Limited existing infrastructure- Technical limitations of users- Lack of investment	<ul style="list-style-type: none">- High cost- Lack of demand for green products- Global competition and carbon leakage	<ul style="list-style-type: none">- High cost- Procurement of sustainable CO₂- Policy focus on biofuels	<ul style="list-style-type: none">- High cost- Technical barriers
POLICY OPTIONS	<ul style="list-style-type: none">+ Set capacity targets+ Offer loans+ Introduce feed-in premium+ Allow participation in ancillary markets	<ul style="list-style-type: none">+ Collaborate on global trading of hydrogen+ Identify priorities for conversion+ Align blending targets+ Provide financing	<ul style="list-style-type: none">+ Offer dedicated loans+ Develop public procurement of green products+ Phase out high-emission technologies	<ul style="list-style-type: none">+ Set targets+ Review policy focus+ Expand emissions trading system	<ul style="list-style-type: none">+ Introduce fiscal incentives+ Set targets for zero-emission vessels+ Support infrastructure development

Sumber: IRENA, 2020

Ekosistem Hidrogen Hijau di Indonesia

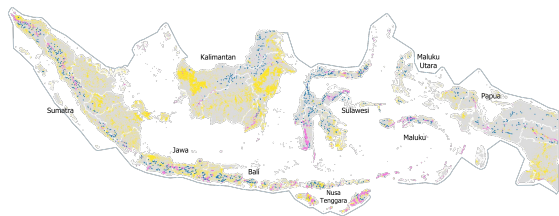
Outlook

Proyeksi Kebutuhan Hidrogen Rendah Karbon di Indonesia



Sumber: ESDM, 2025

Potensi Energi Terbarukan



- IESR mengidentifikasi bahwa Indonesia memiliki potensi energi terbarukan (solar, angin, dan hidro) yang sangat besar, yaitu lebih dari 433 GW secara teknis dan 333 GW secara ekonomi. Namun, hingga tahun 2023, pemanfaatannya baru mencapai sekitar 13,2 GW.
- Potensi energi terbarukan ini dapat dimanfaatkan untuk mendukung produksi hidrogen hijau dan memenuhi kebutuhan hidrogen di masa depan.

Membangun Kapasitas Produksi Hidrogen Hijau

1. Menetapkan target kapasitas elektroliser per tahun untuk memenuhi proyeksi kebutuhan hidrogen.
2. Memfasilitasi adopsi teknologi Alkaline dan PEM (TRL 9) melalui insentif fiskal dan nonfiskal.
3. Dorong transfer teknologi dan kerja sama investasi dengan negara-negara produsen seperti Tiongkok, Eropa, dan India.
4. Melihat potensi SOEC dalam produksi hidrogen hijau di Indonesia.

Keunggulan SOEC dibandingkan jenis elektroliser lainnya:

- Beban siaga (standby load) terendah.
- Efisiensi tinggi karena kinetika reaksi yang cepat dan konduktivitas tinggi pada suhu tinggi.
- Memungkinkan pemanfaatan sumber panas eksternal untuk mencapai efisiensi listrik stack lebih dari 100%.
- Beberapa desain dapat beroperasi secara reversibel sebagai fuel cell maupun elektroliser.
- Studi di PLTP Kamojang, penggunaan panas buangan dari brine bisa menurunkan konsumsi listrik dari 46,9 menjadi 40,4 kWh/kg H₂.

Sumber: Clean Air Task Force, 2023; Reza & Susetno, 2023

Kolaborasi Global dan Arah Strategis Indonesia

TEMPO | Menu | Hari | Minggu | Tempo Plus

Ekonomi | Ekonomi | Sinyal Pasar | Bisnis | Kelestarian

PGE dan Sinopec Star Jalin Kemitraan untuk Pengembangan Energi Panas Bumi

PT Pertamina Geothermal Energy Tbk (PGE) dan Sinopec Star Co, Ltd. resmi menjalin kerja sama dalam pengembangan energi panas bumi.

19 Februari 2025 | 10:52 WIB

ANTARA

HOME | POLITIK | HUKUM | EKONOMI | METRO | SEPAKIB

PLN EPI dan Sembcorp bangun proyek hidrogen hijau terbesar di ASEAN

Rabu, 23 Oktober 2024, 20:04 WIB | waktu baca 3 menit

BREAKING NEWS | Rancangan BlackRock Di BBRI, BMR, BBN, BBTN Jelang Hitai Dividen | Intip Jumlah Div

Pupuk Kujang Uji Coba Produksi Amonia Hijau Turunkan Emisi Karbon

Dalam membuat green ammonia, Pupuk Kujang berkolaborasi dengan PLN Indonesia Power (PLN IP) untuk menyuplai green hydrogen sebagai salah satu bahan baku.

Yanita Petriella - Bisnis.com
Selasa, 4 Februari 2025 | 23:15

Share | f | t | i | l | e

Kompas.com / Money / Energi

PLN EPI Gandeng Pupuk Indonesia dan ACWA Power Bangun Ekosistem Hidrogen Hijau

Kompas.com - 14/09/2024, 18:00 WIB

Yohana Artha Udy Aprilia Na
Tas Bebek

Key Takeaways

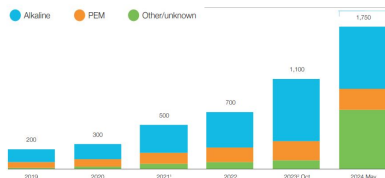


Mengapa Indonesia perlu menaruh kepercayaan pada prospek pengembangan hidrogen hijau?

1. Teknologi produksi hidrogen hijau mencapai tingkat kematangan dan terus mengalami penurunan harga.

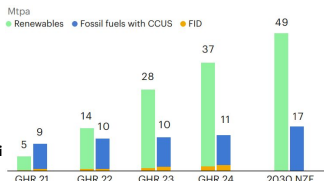
Kapasitas Electrolzyer terinstal (Hydrogen Council, 2024)

**Meningkat
60% dari 2023**



1. Investasi global di sektor hidrogen, khususnya hidrogen hijau, menunjukkan tren peningkatan.

Produksi Hidrogen Rendah Karbon dari announced projects (IEA, 2024)



1. Produksi hidrogen hijau memberikan manfaat ekonomi dan mendukung transisi energi.

Strategi Percepatan Ekosistem Hidrogen Hijau di Indonesia:

1. **Merumuskan strategi hidrogen nasional beserta peta jalan pengembangan hidrogen hijau** sebagai landasan arah kebijakan jangka panjang dalam transisi energi rendah karbon.
2. **Menetapkan prioritas kebijakan yang tepat guna meningkatkan daya saing harga hidrogen hijau**, agar lebih kompetitif dibandingkan sumber energi konvensional.
3. **Mengembangkan sistem tata kelola dan kerangka kebijakan pendukung lintas sektor**, guna menciptakan ekosistem yang kondusif bagi pemanfaatan dan pengembangan hidrogen hijau.
4. **Membangun sistem sertifikasi dan pelacakan asal-usul (*guarantee of origin*) untuk hidrogen hijau**, yang dapat menjamin transparansi, integritas, dan keberterimaan di pasar internasional.
5. **Mendorong kerja sama antarnegara** sebagai bagian dari strategi global untuk mempercepat transformasi sistem energi dan membuka peluang perdagangan energi rendah karbon.
6. **Menguatkan kolaborasi domestik yang sinergis antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga riset**, dalam rangka mendorong inovasi, investasi, dan implementasi teknologi hidrogen secara menyeluruh.

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)